

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PENGESAHAN	iii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xii
INTISARI	xiii
ABSTRACT	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Nanopartikel $Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe_2O_4$	12
3.2 Metode Kopresipitasi	14
3.3 Bahan Enkapsulasi	18
3.3.1 Polyethylene Glycol (PEG)	18
3.3.2 Silika (SiO_2)	19
3.4 Terminologi Magnetik	22
3.5 Klasifikasi Kemagnetan Material	24
3.5.1 Diamagnetik	25
3.5.2 Paramagnetik	25
3.5.3 Ferromagnetik	26
3.5.4 Antiferomagnetik	27
3.5.5 Ferrimagnetik	27
3.6 Konsep Domain dan Kurva Histerisis	28
3.7 Sifat superparamagnetik pada Nanopartikel	31
3.8 Magnetik Anisotropi	33
3.9 Metode Karakterisasi Material	34
3.9.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	34
3.9.2 <i>Transmission Electron Microscopy</i> (TEM)	37
3.9.3 <i>Fourier Transform Infrared Spectrometer</i> (FTIR)	38

3.9.4 <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	42
BAB IV METODE PENELITIAN	44
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian	44
4.2 Alat dan Bahan	45
4.3 Prosedur Penelitian	46
4.3.1 Sintesis nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$	46
4.3.2 Enkapsulasi nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ menggunakan Polyethylene Glycol (PEG)	49
4.3.3 Enkapsulasi nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ menggunakan SiO_2 (silica)	51
4.4 Karakterisasi Material dan Metode Analisis Data	54
4.4.1 Karakterisasi sampel nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ menggunakan XRD	54
4.4.2 Karakterisasi sampel nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ menggunakan TEM	59
4.4.3 Karakterisasi sampel nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ menggunakan FTIR	60
4.4.4 Uji sampel nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ menggunakan VSM	62
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	64
5.1 Hasil Sintesis Nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$	64
5.2 Karakterisasi Nanopartikel Magnetik $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ dan $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ + Silika	64
5.2.1 Karakterisasi menggunakan <i>X-Ray Diffractometer (XRD)</i>	65
5.2.2 Karakterisasi menggunakan <i>Transmission Electron Microscope (TEM)</i>	73
5.2.3 Karakterisasi menggunakan <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	75
5.2.4 Karakterisasi menggunakan <i>Forier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	82
5.3 Karakterisasi Nanopartikel Magnetik $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ dan $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ + PEG-4000	84
5.3.1 Karakterisasi menggunakan <i>X-Ray Diffractometer (XRD)</i>	85
5.3.2 Karakterisasi menggunakan <i>Transmission Electron Microscope (TEM)</i>	89
5.3.3 Karakterisasi menggunakan <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	91
5.3.4 Karakterisasi menggunakan <i>Forier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	97

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	101
6.1 Kesimpulan	101
6.2 Saran	103
DAFTAR PUSTAKA	104
LAMPIRAN	112

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Konfigurasi kation nanopartikel spinel ferrite (Mathew dan Juang, 2007)	12
Gambar 3.2	Sub ruang: (a) tetrahedral dan (b) oktahedral nanopartikel $Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe_2O_4$	14
Gambar 3.3	Sketsa enkapsulasi nanopartikel magnetik dengan tipe yang berbeda: (A) material inorganik; (b) molekul organik; (c) ke dalam nanosphere, (d) ke dalam nanocapsule (Reddy dkk, 2012). ..	16
Gambar 3.4	Stabilitas nanopartikel magnetik (a) elektrostatik dan (b) sterik (Shen dkk, 2004)	17
Gambar 3.5	Skematik kemungkinan interaksi antara PEG dan nanopartikel magnetik	18
Gambar 3.6	Morfologi SEM dari PEG-4000 (Corrigan dkk, 2012)	19
Gambar 3.7	Ilustrasi dari mekanisme sederhana untuk formasi lapisan silika pada permukaan partikel magnetite (Fe_3O_4) (Setyawan dkk., 2012).....	20
Gambar 3.8	Morfologi SEM dari silika (Ui, 2009).....	20
Gambar 3.9	Arah domain magnetik pada material diamagnetik sebelum dan sesudah diberi medan magnet eksternal	25
Gambar 3.10	Arah domain magnetik pada material paramagnetik sebelum dan sesudah diberi medan magnet eksternal	26
Gambar 3.11	Arah momen magnetik dalam material ferromagnetik parallel terhadap yang lain tanpa adanya pengaruh medan magnet luar (Callister, 2007).....	26
Gambar 3.12	Arah domain magnetik pada antiferromagnetik	27
Gambar 3.13	Susunan dari momen magnetik dalam kisi material ferrimagnetik (Spaldin, 2003)	28
Gambar 3.14	(a) skema dari domain dalam material ferromagnetik atau ferrimagnetik, panah menunjukkan momen magnetik. Magnetik momen memiliki arah yang sama di suatu domain, arah di masing-masing domain berbeda, (b) Perubahan orientasi dipol magnetik dalam dinding domain (Callister, 2007).....	29
Gambar 3.15	Kurva B versus H untuk material ferromagnetik atau ferrimagnetik yang awalnya tanpa medan magnet luar. Konfigurasi domain selama terjadinya tahapan pergeseran dinding domain (Callister, 2007).....	30
Gambar 3.16	Hysteresis loop pada material ferro/ferrimagnetik (Coey, 2009) ...	31
Gambar 3.17	Respon terhadap medan magnet luar pada partikel magnetik: (a) Partikel magnetik dibawah T_B dan (b) diatas T_B (Xu, 2004)	32

Gambar 3.18	Diagram energi dari nanopartikel magnetik dengan arah spin berbeda pada ferromagnetik dan paramagnetic (Xu, 2004)	33
Gambar 3.19	Magnetisasi tidak semestinya parallel dengan medan kecuali H berada pada <i>easy direction</i> (Coey, 2009)	34
Gambar 3.20	Skema X-Ray Difraktometer (Wesda dkk, 2011)	35
Gambar 3.21	Ilustrasi difraksi pada bidang kristal sampel (Suryanarayana dan Norton, 1998)	36
Gambar 3.22	Diagram TEM dan lintasan optik (Leng, 2008)	37
Gambar 3.23	Diagram skematik spectrometer infamerah (Pavia dkk, 2009)	39
Gambar 3.24	Ilustrasi vibrasi (a) regangan simetri dan (b) regangan asimetri (Pavia dkk, 2009)	
Gambar 3.25	Ilustrasi 4 jenis viibrasi bengkokan yang terdiri dari (a) guntingan, (b) goyangan, (c) kibasan, dan (d) pelintiran (Pavia dkk, 2009).....	41
Gambar 3.26	Skema VSM (Panchal, 2011)	42
Gambar 4.1	Proses pembuatan nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$	47
Gambar 4.2	Proses pengendapan presipitant.....	49
Gambar 4.3	Proses enkapsulasi nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ menggunakan PEG-4000	50
Gambar 4.4	Proses enkapsulasi nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ menggunakan silika	51
Gambar 4.5	Diagram alir penelitian nanopartikel yang dienkapsulasi PEG-4000.....	52
Gambar 4.6	Diagram alir penelitian nanopartikel yang dienkapsulasi silika.....	53
Gambar 4.7	Perangkat XRD Shimadzu-XD (Lab.kimia FMIPA UGM).....	54
Gambar 4.8	Ilustrasi pola difraksi nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ (Deraz.N.M, 2014).....	55
Gambar 4.9	Diagram difraksi untuk nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$	55
Gambar 4.10	Ilustrasi perhitungan FWHM dari puncak difraksi	57
Gambar 4.11	Perangkat TEM Jeol Jem-1400	59
Gambar 4.12	Ilustrasi (a) contoh gambar hasil pngujian TEM, (b) contoh pola difraksi TEM	59
Gambar 4.13	Perangkat IR spektrofotometer shimadzu Prestige-21	60
Gambar 4.14	Ilustrasi spektrofotometer IR untuk sampel Zn-Ni ferrit pada interval bilangan gelombang $400-4000\text{ cm}^{-1}$ (Shahraki dkk, 2012).....	61
Gambar 4.15	Perangkat VSM Rilen Denshi Co Ltd	62
Gambar 4.16	Ilustrasi kurva histerisis mangetic loop pada $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$	63
Gambar 4.17	Ilustrasi grafik untuk menentukan nilai koersivitas H_c sampel	63

Gambar 5.1	(a) proses pengendapan sampel saat sintesis, (b) hasil serbuk nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$	64
Gambar 5.2	Mekanisme proses enkapsulasi nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ dengan silika	64
Gambar 5.3	Pola XRD nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ (a) nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$, (b) nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ + 10% silika, dan (c) nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ + 50% silika	65
Gambar 5.4	Pola XRD dari puncak 311 pada nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ sebelum dan sesudah dienkapsulasi menggunakan silika	66
Gambar 5.5	(a) pengaruh strain kisi pada pola dan posisi puncak difraksi (Cullity, 1956), (b) Variasi pola difraksi saat strain tidak seragam (Noyan dan Cohen, 1987)	69
Gambar 5.6	Morfologi nanopartikel (a) sebelum dienkapsulasi, dan (b) setelah dienkapsulasi silika 10%	73
Gambar 5.7	(a) Distribusi ukuran butir nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$, (b) distribusi ukuran butir nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ yang dienkapsulasi dengan silika 10%	74
Gambar 5.8	Ilustrasi metode pengukuran ukuran butir sampel nanopartikel oleh TEM	75
Gambar 5.9	Hysteresis loop pengujian VSM nilai magnetisasi nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$	76
Gambar 5.10	Hysteresis loop pengujian VSM nilai magnetisasi nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ yang dienkapsulasi dengan silika (a) 5%, (b) 10%, (c) 15%, (d) 20%, (e) 30% dan (f) 50%	77
Gambar 5.11	Grafik magnetisasi remanen spesifik (●) dan magnetisasi maksimum spesifik pada $H = 15$ kOe (▲) sampel nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ dan $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ yang dienkapsulasi dengan silika	78
Gambar 5.12	Nilai koersivitas nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ dan $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ yang dienkapsulasi dengan silika	79
Gambar 5.13	Hubungan koersivitas magnetik dan ukuran partikel (Zhao,2007)	80
Gambar 5.14	Hasil spektrum FTIR (a) ZNF + 10% silika, (c) ZNF + 50% silika, dan (d) silika	82
Gambar 5.15	Enkapsulasi PEG-4000 pada nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$	85
Gambar 5.16	Pola XRD nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ (a) nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$, (b) nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ + 1 gram PEG, dan (c) nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ + 3 gram PEG	85
Gambar 5.17	Pola XRD dari puncak 311 pada nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ sebelum dan sesudah dienkapsulasi menggunakan PEG-4000	86

Gambar 5.18	Morfologi nanopartikel (a) sebelum dienkapsulasi, dan (b) setelah dienkapsulasi PEG 3 gram	89
Gambar 5.19	(a) Distribusi ukuran butir nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$, (b) distribusi ukuran butir nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ yang dienkapsulasi dengan 3 gram PEG-4000	90
Gambar 5.20	<i>Hysteresis loop</i> pengujian VSM nilai magnetisasi nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$	92
Gambar 5.21	<i>Hysteresis loop</i> pengujian VSM nilai magnetisasi nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ yang dienkapsulasi dengan PEG (a) 0,5 g, (b) 1 g, (c) 1,5 g, (d) 2 g, (e) 2,5 g dan (f) 3 g.....	93
Gambar 5.22	Grafik magnetisasi remanen spesifik (●) dan magnetisasi maksimum spesifik pada $H = 15$ kOe (▲) sampel nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ dan $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ yang dienkapsulasi dengan PEG-4000	94
Gambar 5.23	Nilai koersivitas nanopartikel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ dan $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ yang dienkapsulasi dengan PEG-4000.....	95
Gambar 5.24	Hasil spektrum FTIR (a) ZNF + 1 gram PEG, (c) ZNF + 3 gram PEG dan (d) PEG-4000	97

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Perbandingan sifat material nanopartikel $ZnFe_2O_4$ dan $NiFe_2O_4$ (Vijaya dkk, 2016; Mendonca dkk, 2013; Sivakumar dkk, 2013; Berchmans dkk, 2005)	2
Tabel 3.1	Komposisi PEG dan sifatnya (Setiadi, 2013)	19
Tabel 3.2	Tabel gugus fungsi molekul (Pavia dkk, 2009; Waldron, 1955)	41
Tabel 4.1	Matrik waktu penelitian	44
Tabel 4.2	Identitas sampel $Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe_2O_4$ dengan variasi konsentrasi PEG-4000	50
Tabel 4.3	Identitas sampel $Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe_2O_4$ dengan variasi konsentrasi silika ..	51
Tabel 4.4	Indeks miller dan jarak antar bidang pada struktur kristal bahan $ZnNiFe_3O_4$ (aplikasi diamond- <u>1100112 NZF.cif</u>)	56
Tabel 5.1	Nilai strain pada nanopartikel $Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe_2O_4$ sebelum dan sesudah dienkapsulasi dengan silika	68
Tabel 5.2	Perbandingan densitas X-Ray, ukuran kriticalit dan parameter kisi pada nanopartikel $Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe_2O_4$ sebelum dan sesudah dienkapsulasi dengan silika	69
Tabel 5.3	Radius ionik parameter kisi dalam struktur $Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe_2O_4$	72
Tabel 5.4	Magnetik anisotropi nanopartikel $Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe_2O_4$ sebelum dan setelah dienkapsulasi menggunakan silika	81
Tabel 5.5	Gugus fungsi dan bilangan gelombang FTIR nanopartikel $Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe_2O_4$, silika dan nanopartikel $Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe_2O_4$ + silika ..	83
Tabel 5.6	nilai <i>strain</i> pada nanopartikel $Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe_2O_4$ sebelum dan sesudah dienkapsulasi dengan PEG-4000.	87
Tabel 5.7	Perbandingan densitas X-Ray, ukuran kistalit dan parameter kisi dari nanopartikel $Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe_2O_4$ dan nanopartikel $Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe_2O_4$ yang dienkapsulasi dengan PEG-4000	88
Tabel 5.8	Magnetik anisotropi nanopartikel $Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe_2O_4$ sebelum dan setelah dienkapsulasi menggunakan PEG-4000	96
Tabel 5.9	Gugus fungsi dan bilangan gelombang FTIR nanopartikel $Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe_2O_4$, PEG-4000 dan nanopartikel $Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe_2O_4$ + PEG-4000	98