

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>INTI SARI .....</b>	<b>xviii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I : PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Batasan Masalah .....	6
1.4 Tujuan Penelitian .....	6
1.5 Manfaat Penelitian .....	7
1.6 Sistematika Penulisan .....	7
<b>BAB II : TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>8</b>
2.1 Sintesis Nanopartikel Co-Zn <i>Ferrite</i> .....	8
2.2 Enkapsulasi atau Penambahan Surfaktan Nanopartikel Magnetik dengan Material Lain .....	10
2.3 Aplikasi Hipertermia dengan menggunakan Nanopartikel Magnetik.....	14
<b>BAB III : LANDASAN TEORI .....</b>	<b>16</b>
3.1 Konsep Dasar Kemagnetan .....	16
3.2 Kasifikasi Sifat Kemagnetan Material.....	18
3.2.1 Diamagnetik .....	19
3.2.2 Paramagnetik .....	19
3.2.3 Ferromagnetik .....	20

3.2.4	Antiferromagnetik .....	21
3.2.5	Ferrimagnetik .....	22
3.3	Konsep Domain Magnet dan Kurva Histerisis .....	22
3.4	Sifat Superparamagnetik pada Nanopartikel .....	26
3.5	Magnetik Anisotropi.....	29
3.6	Struktur Kristal Nanopartikel Ferit.....	30
3.7	Bahan untuk enkapsulasi .....	33
3.7.1	<i>Polyethylene Glycol</i> (PEG) .....	35
3.7.2	Silika (SiO <sub>2</sub> ) .....	37
3.8	Metode Kopresipitasi.....	40
3.9	Metode Karakterisasi Material .....	41
3.9.1	X-Ray Diffraction (XRD) .....	41
3.9.2	<i>Transmission Electron Microscopy</i> (TEM) .....	43
3.9.3	<i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	44
3.9.4	<i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM).....	49
3.9.5	Prinsip terapi Hipertermia dengan menggunakan nanopartikel magnetik.....	51
<b>BAB IV</b>	<b>: METODE PENELITIAN .....</b>	<b>53</b>
4.1	Alat dan Bahan .....	53
4.1.1	Alat.....	53
4.1.2	Bahan .....	54
4.2	Prosedur Penelitian .....	54
4.2.1	Sintesis nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	54
4.2.2	Enkapsulasi nanopartikel magnetik Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> menggunakan SiO <sub>2</sub> ( <i>silica</i> ) .....	55
4.2.3	Enkapsulasi nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> menggunakan <i>Polyethylene Glycol</i> (PEG) 4000.....	56
4.3	Karakteristik Material dan Metode Analisis Data .....	60
4.3.1	Karakterisasi sampel nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> menggunakan XRD.....	60
4.3.2	Karakteristik nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	

	menggunakan TEM.....	63
4.3.3	Karakterisasi nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> menggunakan FTIR.....	66
4.3.4	Uji sampel nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> menggunakan VSM.....	68
4.3.5	Uji kenaikan temperatur nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> menggunakan Kalorimeter untuk aplikasi Hipertermia ..	71
<b>BAB V</b>	<b>: HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>73</b>
5.1.	Hasil Sintesis nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	73
5.2.	Karakterisasi nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> yang dienkapsulasi dengan silika.....	74
5.2.1	Hasil Karakterisasi Difraksi Sinar-X .....	74
5.2.2	Hasil Karakterisasi menggunakan <i>Forier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	79
5.2.3	Hasil Karakterisasi menggunakan <i>Transmission Electron Microscope</i> (TEM).....	84
5.2.4	Hasil Karakterisasi menggunakan <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM).....	90
5.3.	Karakterisasi nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> yang dienkapsulasi dengan PEG-4000 .....	97
5.3.1	Hasil Karakterisasi menggunakan <i>X Ray Diffractometer</i> (XRD).....	97
5.3.2	Hasil Karakterisasi menggunakan <i>Forier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR) .....	101
5.3.3	Hasil Karakterisasi menggunakan <i>Transmission Electron Microscope</i> (TEM) .....	105
5.3.4	Hasil Karakterisasi menggunakan <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM).....	108
5.4.	Perbandingan bahan enkapsulasi silika dan PEG-4000 terhadap nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	115
5.4.1	Gugus fungsi .....	115

5.4.2	Sifat kemagnetan.....	116
5.5.	Uji kenaikan suhu nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	117
<b>BAB VI</b>	<b>: PENUTUP .....</b>	<b>121</b>
6.1	Kesimpulan.....	121
6.2	Saran.....	121

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN-LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Ilustrasi (a) momen magnetik spin dan (b) momen magnetik orbital elektron .....	16
Gambar 3.2	Arah domain magnetik pada material diamagnetik sebelum dan sesudah diberi medan magnet eksternal .....	19
Gambar 3.3	Arah domain magnetik pada material paramagnetik sebelum dan sesudah diberi medan magnet eksternal .....	20
Gambar 3.4	Arah momen magnetik dalam material ferromagnetik.....	20
Gambar 3.5	Hubungan antara magnetisasi dengan temperatur curie pada material ferromagnetik .....	21
Gambar 3.6	Arah domain magnetik pada antiferromagnetik.....	21
Gambar 3.7	Susunan dari momen magnetik dalam kisi material ferrimagnetik .....	22
Gambar 3.8	(a) Skema dari domain dalam material ferromagnetik atau ferrimagnetik, (b) Perubahan orientasi dipol magnetik dalam dinding domain.....	23
Gambar 3.9	Kurva $M$ versus $H$ untuk material ferromagnetik atau ferrimagnetik yang awalnya tanpa medan magnet luar. Konfigurasi domain selama terjadinya tahapan pergeseran dinding domain.....	24
Gambar 3.10	<i>Hysteresis loop</i> material ferromagnetik.....	25
Gambar 3.11	Ilustrasi hubungan ukuran material terhadap nilai <i>koersivitas</i> untuk domain tunggal dan multidomain .....	26
Gambar 3.12	Transisi energi dari nanopartikel magnetik dengan arah spin berbeda pada ferromagnetik dan paramagnetik.....	27
Gambar 3.13	Respon terhadap medan magnet luar pada partikel magnetik : (a) Partikel manetik dibawah $T_B$ dan (b) diatas $T_B$ .....	28
Gambar 3.14	Magnetisasi tidak semestinya parallel dengan medan kecuali $H$ berada pada <i>easy direction</i> .....	30
Gambar 3.15	konfigurasi kation nanopartikel spinel <i>ferrite</i> .....	31

Gambar 3.16	Sub ruang tetrahedral [A] dan oktahedral [B] nanopartikel ferit .....	33
Gambar 3.17	Sketsa enkapsulasi nanopartikel magnetik dengan tipe yang berbeda: (a) material anorganik; (b) molekul organik; (c) ke dalam <i>nanosphere</i> , (d) ke dalam <i>nanocapsule</i> .....	33
Gambar 3.18	Stabilisasi nanopartikel magnetik (a) elektrostatik dan (b) sterik .....	35
Gambar 3.19	Skematik kemungkinan interaksi antara PEG dan nanopartikel magnetik .....	36
Gambar 3.20	Morfologi SEM dari PEG-4000 .....	37
Gambar 3.21	Ilustrasi dari mekanisme sederhana untuk formasi lapisan silika pada permukaan partikel magnetite (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ).....	38
Gambar 3.22	Morfologi SEM dari silika .....	39
Gambar 3.23	Ilustrasi difraksi pada bidang kristal sampel .....	42
Gambar 3.24	Diagram TEM dan lintasan optik .....	44
Gambar 3.25	Diagram skematik vibrasi dua atom.....	45
Gambar 3.26	Diagram skematik spektrometer infra merah .....	45
Gambar 3.27	Jenis-jenis vibrasi kisi .....	46
Gambar 3.28	Ilustrasi 4 jenis vibrasi bengkokan yang terdiri dari (a) guntingan, (b) goyangan, (c) kibasan, dan (d) pelintiran .....	47
Gambar 3.29	Skema VSM .....	49
Gambar 4.1	Diagram alir penelitian nanopartikel yang dienkapsulasi Silika.....	58
Gambar 4.2	Diagram alir penelitian nanopartikel yang dienkapsulasi PEG - 4000 .....	59
Gambar 4.3	Perangkat XRD Shimadzu-XD .....	60
Gambar 4.4	Ilustrasi pola XRD.....	61
Gambar 4.5	Ilustrasi perhitungan FWHM dari puncak difraksi .....	61
Gambar 4.6	Perangkat TEM Jeol Jem-1400 .....	64
Gambar 4.7	Ilustrasi gambar karakterisasi TEM .....	64
Gambar 4.8	Geometri difraksi elektron .....	65

Gambar 4.9	Perangkat IR Spektrometer .....	67
Gambar 4.10	Ilustrasi spektroskopi IR untuk sampel Zn-Ni ferit pada interval bilangan gelombang 400 – 4000 cm <sup>-1</sup> .....	67
Gambar 4.11	Perangkat VSM Riken Denshi Co Ltd .....	68
Gambar 4.12	Ilustrasi kurva histerisis <i>magnetic loop</i> pada Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	69
Gambar 4.13	Ilustrasi grafik untuk menentukan nilai koersivitas $H_c$ sampel.....	70
Gambar 4.14	Skematik kalorimeter .....	71
Gambar 4.15	Perangkat kalorimeter .....	71
Gambar 4.16	Grafik hubungan antara waktu dengan perubahan temperatur.....	72
Gambar 5.1	Mekanisme enkapsulasi silika pada nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	73
Gambar 5.2	mekanisme enkapsulasi PEG-4000 pada nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	74
Gambar 5.3	Spektrum XRD dari nanopartikel: (S0) CZF, (S2) CZF + 10% silika (S5) CZF + 30% silika dan (S6) CZF + 50% silika .....	74
Gambar 5.4	(a) kisi kristal yang sempurna; (b) kisi kristal akibat strain seragam ( <i>uniform strain</i> ); (c) kisi kristal akibat strain tidak seragam.....	77
Gambar 5.5	Spektrum FTIR (S0) CZF, Silika, (S2) CZF + 10% Silika, (S5) CZF + 30% Silika dan (S6) CZF + 50% Silika.....	79
Gambar 5.6	Ilustrasi ikatan antar atom yang dihubungkan dengan sebuah pegas.....	79
Gambar 5.7	Ilustrasi ikatan antar atom dengan munculnya atom baru.....	80
Gambar 5.8	Bentuk morfologi nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	84
Gambar 5.9	Distribusi ukuran butir nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	85
Gambar 5.10	Ilustrasi metode pengukuran ukuran butir sampel nanopartikel oleh TEM dan XRD .....	86
Gambar 5.11	Citra SAED sampel nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	87

Gambar 5.12	Bentuk morfologi nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> yang dienkapsulasi dengan silika 50% .....	88
Gambar 5.13	Distribusi ukuran butir nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> yang dienkapsulasi dengan silika 50% .....	88
Gambar 5.14	Citra SAED sampel nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> yang dienkapsulasi dengan silika 50% .....	89
Gambar 5.15	Kurva histerisis nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	90
Gambar 5.16	Kurva Histerisis nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> yang dienkapsulasi silika dengan konsentrasi: (S1) 5%, (S2) 10%, (S3) 15%, (S4) 20%, (S5) 30% dan (S6) 50% .....	91
Gambar 5.17	Hubungan koersivitas magnetik dan ukuran partikel	92
Gambar 5.18	Pengaruh ukuran kristalit terhadap koersivitas nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum dan setelah dienkapsulasi dengan silika .....	93
Gambar 5.19	Spektrum XRD dari nanopartikel: (P0) CZF, (P1) CZF + 0,5 g PEG; (P3) CZF + 1,5 g PEG dan (P6) CZF + 3,0 g PEG .....	98
Gambar 5.20	Spektrum FTIR (P0) CZF, PEG-4000, (P1) CZF + 0,5 gram PEG, (P3) CZF + 1,5 gram PEG dan (P6) CZF + 3 gram PEG .....	102
Gambar 5.21	Bentuk morfologi nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> yang dienkapsulasi PEG 1,5 gram .....	106
Gambar 5.22	Distribusi ukuran butir nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> yang dienkapsulasi dengan PEG 1,5 gram .....	107
Gambar 5.23	Citra SAED sampel nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> yang dienkapsulasi dengan PEG 1,5 gram .....	108
Gambar 5.24	Kurva Histiresis nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	109
Gambar 5.25	Kurva Histerisis nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> yang dienkapsulasi PEG-4000 dengan massa: (P1) 0,5 g; (P2) 1,0 g; (P3) 1,5 g; (P4) 2,0 g; (P5) 2,5 g dan (P6) 3,0 g .....	110
Gambar 5.26	Pengaruh ukuran kristalit terhadap koersivitas nanopartikel	

$\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  sebelum dan setelah dienkapsulasi dengan silika ..... 111

Gambar 5.27 Hubungan antara perubahan temperatur dengan waktu ..... 118

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Komposisi PEG dan sifatnya.....	36
Tabel 3.2	Tabel gugus fungsi molekul .....	48
Tabel 4.1	Identitas sampel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> dengan variasi konsentrasi silika .....	56
Tabel 4.2	Identitas sampel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> dengan variasi massa PEG-4000 .....	57
Tabel 5.1	Parameter fisis hasil analisis XRD nanopartikel CoZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + Silika .....	75
Tabel 5.2	Hasil identifikasi gugus fungsi nanopartikel (A) Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , (B) Silika (C) Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + 10% silika, (D) Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + 30% silika dan (E) Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + 50% silika .....	81
Tabel 5.3	Nilai koersivitas nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum dan setelah dienkapsulasi dengan silika.....	92
Tabel 5.4	Nilai magnetisasi spesifik, magnetisasi remanen dan rasio remanen nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum dan setelah dienkapsulasi dengan silika.....	95
Tabel 5.5	Nilai magnetik anisotropi nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum dan setelah dienkapsulasi dengan silika.....	97
Tabel 5.6	Parameter fisis hasil analisis XRD .....	99
Tabel 5.7	Hasil identifikasi gugus fungsi nanopartikel (A) CZF, (B) PEG-4000, (C) CZF + 0,5 gram PEG, (D) CZF + 1,5 gram PEG dan (E) CZF + 3 gram PEG .....	103
Tabel 5.8	Nilai koersivitas nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum dan setelah dienkapsulasi dengan PEG-4000.....	111
Tabel 5.9	Nilai magnetisasi spesifik nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum dan setelah dienkapsulasi dengan PEG-4000 .....	113
Tabel 5.10	Nilai magnetik anisotropi nanopartikel Co <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum dan setelah dienkapsulasi dengan silika.....	115

Tabel 5.11	Hasil uji kenaikan suhu nanopartikel $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ yang dienkapsulasi dengan PEG-4000 dengan variasi medan magnet eksternal .....	118
------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----