

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iii
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>INTISARI</b> .....	xiv
<b>ABSTRACT</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Batasan Masalah .....	5
1.4 Tujuan Penelitian .....	6
1.5 Manfaat Penelitian .....	6
1.6 Sistematika Penulisan .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	8
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b> .....	12
3.1 Karakteristik Kemagnetan Material .....	12
3.2 Klasifikasi Material Magnetik .....	13
3.2.1 Diamagnetik .....	14
3.2.2 Paramagnetik .....	14
3.2.3 Feromagnetik .....	15
3.2.4 Antiferomagnetik .....	17
3.2.5 Ferimagnetik .....	18
3.3 Sifat Superparamagnetik pada Nanopartikel .....	19
3.4 Domain Magnet dan Kurva Histerisis .....	21
3.5 Struktur Spinel Ferit dan Nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	24
3.6 Celah Energi .....	25
3.7 <i>Annealing</i> .....	27
3.8 Metode Kopresipitasi .....	28
3.9 Metode Karakterisasi Material .....	29
3.9.1 <i>X-Ray Diffractometer (XRD)</i> .....	29
3.9.2 <i>Transmission Electron Microscope (TEM)</i> .....	30
3.9.3 <i>Fourier Transform-Infra Red (FT-IR) Spectrophotometer</i> .....	31

3.9.4	<i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i> .....	34
3.9.5	<i>UV-Visible Diffuse Reflectance (UV-Vis DR) Spectrophotometer</i> .....	35
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b> .....		38
4.1	Tempat Penelitian .....	38
4.2	Bahan dan Alat Penelitian .....	38
4.3	Prosedur Penelitian .....	40
4.4	Karakterisasi Material dan Teknik Analisa Data.....	45
4.4.1	Karakterisasi Nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Menggunakan XRD .....	45
4.4.2	Karakterisasi Nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Menggunakan TEM .....	48
4.4.3	Karakterisasi Nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Menggunakan FTIR .....	50
4.4.4	Karakterisasi Nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Menggunakan VSM .....	51
4.4.5	Karakterisasi Nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Menggunakan UV-Vis DR.....	53
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....		55
5.1	Hasil Sintesis Nanopartikel Magnetik Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	55
5.2	Hasil Karakterisasi Struktur Kristal Nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	56
5.3	Hasil Karakterisasi Morfologi Nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	66
5.4	Hasil Karakterisasi Vibrasi Gugus Fungsi Nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	69
5.5	Hasil Karakterisasi Sifat Kemagnetan Nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ..	72
5.5.1	Pengaruh Variasi Suhu <i>Annealing</i> Terhadap Nilai Magnetisasi Maksimum Spesifik dan Magnetisasi Remanen Spesifik Sampel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	72
5.5.2	Pengaruh Variasi Suhu <i>Annealing</i> Terhadap Nilai Koersivitas Sampel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	77
5.5.3	Pengaruh Variasi Waktu <i>Annealing</i> Terhadap Nilai Magnetisasi Maksimum Spesifik, Magnetisasi Remanen Spesifik dan koersivitas Sampel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	79
5.5	Hasil Karakterisasi Celah Energi Nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	82
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....		86
6.1	Kesimpulan.....	86
6.2	Saran .....	87



UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

**Pengaruh Suhu Annealing Terhadap Mikrostruktural, Sifat Kemagnetan dan Celah Energi Nanopartikel**

**Ni<sub>0,5</sub>Zn<sub>0,5</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yang Disintesis dengan Metode Kopersipitasi**

SRI HANDIKA PRATIWI, Dr. Edi Suharyadi, M.Eng

Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	88
<b>LAMPIRAN</b> .....	96

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Arah domain magnetik pada material diamagnetik (a) sebelum dan (b) sesudah diberi medan magnet eksternal .....	14
Gambar 3.2	Arah domain magnetik pada material paramagnetik (a) sebelum dan (b) sesudah diberi medan magnet eksternal .....	15
Gambar 3.3	Arah domain magnetik pada material feromagnetik.....	16
Gambar 3.4	Momen magnetik spin antiparalel pada material mangan oksida (MnO).....	17
Gambar 3.5	Skema konfigurasi momen magnetik spin ion Fe <sup>2+</sup> dan ion Fe <sup>3+</sup> dalam Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	18
Gambar 3.6	Diagram transisi nanopartikel magnetik dari feromagnetik ke superparamagnetik .....	20
Gambar 3.7	Ilustrasi respon partikel magnetik terhadap medan magnet: (a) Partikel magnetik pada suhu di bawah $T_B$ dan (b) Partikel magnetik pada suhu di atas $T_B$ .....	21
Gambar 3.8	Ilustrasi domain magnet .....	22
Gambar 3.9	Ilustrasi kurva histerisis dari material magnetik.....	22
Gambar 3.10	Kurva $B$ versus $H$ untuk material feromagnetik dan ferimagnetik. Konfigurasi domain selama beberapa tahapan ..	24
Gambar 3.11	Konfigurasi struktur kubik spinel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	25
Gambar 3.12	Ilustrasi transisi langsung elektron dari pita valensi (VB) ke pita konduksi (CB).....	26
Gambar 3.13	<i>Furnace</i> : (a) <i>Furnace</i> secara keseluruhan (b) Bagian pengontrol <i>furnace</i> .....	28
Gambar 3.14	Ilustrasi difraksi Bragg pada bidang kristal.....	29
Gambar 3.15	Skema <i>Transmission Electron Microscope</i> .....	31
Gambar 3.16	Skema instrumen FTIR .....	33
Gambar 3.17	Vibrasi <i>stretching</i> dan <i>bending</i> .....	33
Gambar 3.18	Diagram skematik instrumen VSM .....	34
Gambar 3.19	Diagram lintasan berkas laser pada cakram .....	35
Gambar 3.20	Arah hamburan berkas laser dari sampel .....	36
Gambar 4.1	Diagram alir penelitian.....	44
Gambar 4.2	Ilustrasi pola difraksi nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	45
Gambar 4.3	Ilustrasi penentuan FWHM dari puncak difraksi.....	46
Gambar 4.4	Ilustrasi (a) morfologi dan (b) distribusi ukuran butir nanopartikel .....	48
Gambar 4.5	Pola cincin difraksi nanopartikel .....	49
Gambar 4.6	Geometri difraksi elektron.....	49

Gambar 4.7	Ilustrasi profil serapan spektrum IR nanopartikel .....	50
Gambar 4.8	Ilustrasi kurva histerisis ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> . Inset kanan bawah menunjukkan penentuan koersivitas dari titik pusat kurva histerisis.....	50 52
Gambar 4.9	Ilustrasi kurva spektrum absorpsi nanopartikel ZnO pada panjang gelombang 300-600 nm .....	53
Gambar 4.10	Ilustrasi grafik untuk menentukan nilai celah energi.....	54
Gambar 5.1	(a) Proses pengendapan sampel saat sintesis dan, (b) serbuk nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> setelah di-furnace .....	55
Gambar 5.2	Pola XRD nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> dengan variasi suhu annealing: (a) <i>as-prepared sample</i> atau AP (T <sub>0</sub> ), (b) 200 °C (T <sub>1</sub> ), (c) 400 °C (T <sub>2</sub> ), (d) 600 °C (T <sub>3</sub> ), (e) 800 °C (T <sub>4</sub> ) dan, (f) 1000 °C (T <sub>5</sub> ). <i>Inset</i> menunjukkan pergeseran puncak difraksi (311) .....	56
Gambar 5.3	Proses densifikasi dan koarsening pada butir nanopartikel.....	57
Gambar 5.4	Perubahan nilai densitas nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> terhadap variasi suhu annealing .....	62
Gambar 5.5	Perubahan ukuran kristalit nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> terhadap variasi suhu annealing .....	62
Gambar 5.6	Gerakan batas butir nanopartikel (a) permukaan cekung bergerak menuju pusat butir, (b) permukaan cembung bergerak menjauhi pusat.....	63
Gambar 5.7	Proses koalesensi pada butir-butir nanopartikel .....	64
Gambar 5.8	Perubahan nilai strain nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> terhadap variasi suhu annealing .....	64
Gambar 5.9	Pengaruh strain terhadap puncak difraksi (a) tanpa strain tidak terjadi pergeseran, (b) strain seragam terjadi pergeseran (c) strain tidak seragam terjadi pelebaran puncak .....	66
Gambar 5.10	Mikrograf TEM sampel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum di-annealing .....	66
Gambar 5.11	Citra TEM sampel nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> yang telah di-annealing : (a) 600 °C dan (b) 1000 °C.....	67
Gambar 5.12	Distribusi ukuran butir nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> yang telah di-annealing suhu 600 °C .....	68
Gambar 5.13	Gambar SAED nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> : (a) sebelum di-annealing dan (b) annealing suhu 600 °C.....	69
Gambar 5.14	Spektrum IR nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> dengan variasi suhu annealing: (a) <i>as-prepared sample</i> atau AP (T <sub>0</sub> ), (b) 200 °C (T <sub>1</sub> ), (c) 400 °C (T <sub>2</sub> ), (d) 600 °C (T <sub>3</sub> ), (e) 800 °C	

	(T4) dan, (f) 1000 °C (T5). <i>Inset</i> menunjukkan pergeseran puncak serapan dari vibrasi ikatan M <sub>ok</sub> -O dan M <sub>tet</sub> -O ..... 70	70
Gambar 5.15	Kurva histeresis nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> variasi suhu <i>annealing</i> : (a) AP (T0), (b) 200 °C (T1), (c) 400 °C (T2), (d) 600 °C (T3), (e) 800 °C (T4) dan, (f) 1000 °C (T5). <i>Inset</i> kanan bawah adalah perbesaran dari daerah pusat kurva histeresis..... 73	73
Gambar 5.16	Perubahan nilai koersivitas ( <i>H<sub>c</sub></i> ) terhadap ukuran kristalit Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum dan setelah di- <i>annealing</i> ..... 78	78
Gambar 5.17	Ilustrasi hubungan koersivitas ( <i>H<sub>c</sub></i> ) dan ukuran kristalit ..... 78	78
Gambar 5.18	Kurva histeresis nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> yang di- <i>annealing</i> suhu 600 °C dengan variasi waktu <i>annealing</i> : (a) 2 jam (T3), (b) 4 jam (A1) dan, (c) 6 jam (A2). <i>Inset</i> kanan bawah adalah perbesaran dari daerah pusat kurva histeresis .... 80	80
Gambar 5.19	Spektrum celah energi nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> variasi suhu <i>annealing</i> : (a) AP (T0), (b) 200 °C (T1), (c) 400 °C (T2), (d) 600 °C (T3), (e) 800 °C (T4) dan, (f) 1000 °C (T5).. 83	83

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Rancangan variasi suhu <i>annealing</i> nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	41
Tabel 4.2	Referensi gugus fungsi Ni-ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	51
Tabel 5.1	Rasio fasa yang terbentuk berdasarkan hasil sintesis dan perlakuan <i>annealing</i> nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	58
Tabel 5.2	Parameter struktur kristal nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> dengan variasi suhu <i>annealing</i> .....	60
Tabel 5.3	Hasil identifikasi gugus fungsi nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> dengan variasi suhu <i>annealing</i> .....	71
Tabel 5.4	Nilai magnetisasi maksimum spesifik dan remanen spesifik terhadap struktur kristal yang terbentuk pada sampel nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> dengan variasi suhu <i>annealing</i> .....	74
Tabel 5.5	Nilai ukuran kristalit, koersivitas, konstanta anisotropi dan momen magnetik sampel nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> dengan variasi suhu <i>annealing</i> .....	77
Tabel 5.6	Parameter magnetik nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> yang di-annealing suhu 600 °C dengan variasi waktu <i>annealing</i> .....	81
Tabel 5.7	Nilai celah energi nanopartikel Ni <sub>0,5</sub> Zn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum dan setelah di- <i>annealing</i> .....	83