

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Peneliti	6
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Pengaruh Konsentrasi Mn dan Ni Terhadap Mikrostruktur dan Sifat Kemagnetan Nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$	8
2.2 Pengaruh Suhu <i>Annealing</i> Terhadap Mikrostruktur dan Sifat Kemagnetan Nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$	11
2.3 Aplikasi Hyperthermia Dengan Menggunakan Nanopartikel Magnetik .	13
BAB III LANDASAN TEORI.....	15
3.1 Konsep Dasar Kemagnetan.....	15
3.2 Klasifikasi Sifat Kemagnetan Material	18
3.2.1 Diamagnetik.....	18
3.2.2 Paramagnetik	19
3.2.3 Magnetik kolektif.....	19
3.3 Domain Magnet dan Kurva Histerisis.....	22
3.4 Sifat Superparamagnetik Pada Nanopartikel	26
3.5 Magnetik Anisotropi	28
3.6 Struktur Kristal Nanopartikel <i>Ferrite</i>	29
3.7 <i>Annealing</i>	35
3.8 Metode Kopresipitasi	37
3.9 Metode Karakterisasi Material.....	38
3.9.1 <i>X-Ray Diffractometer (XRD)</i>	38
3.9.2 <i>Transmission Elektron Microscopy (TEM)</i>	40
3.9.3 <i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	42
3.9.4 <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	45

3.9.5 Metode <i>Hyperthermia</i>	47
BAB IV METODE PENELITIAN	50
4.1 Alat dan Bahan Penelitian.....	50
4.2 Prosedur penelitian.....	52
4.3 Karakterisasi Material dan Teknik Analisa Data.....	55
4.4 Uji <i>Hyperthermia</i>	65
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	67
5.1 Hasil sintesis nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$	67
5.2 Analisis Struktur Kristal	67
5.2.1 Pengaruh konsentrasi Ni terhadap ukuran kristalit, parameter kisi, kerapatan sinar X dan rapat dislokasi nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$	69
5.2.2 Hasil perhitungan teoritik struktur kristal nanopartikel Mn_{1-x} $Ni_xFe_2O_4$ terhadap perubahan konsentrasi Ni	73
5.2.3 Pengaruh suhu <i>annealing</i> terhadap ukuran kristalit, parameter kisi, kerapatan sinar X dan rapat dislokasi nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$.	79
5.3 Hasil dan analisis TEM nanopartikel $Mn_{0,8}Ni_{0,2}Fe_2O_4$	85
5.3.1 Mikrostruktur dan morfologi nanopartikel $Mn_{0,8}Ni_{0,2}Fe_2O_4$ tanpa <i>annealing</i>	85
5.3.2 Mikrostruktur dan morfologi nanopartikel $Mn_{0,8}Ni_{0,2}Fe_2O_4$ <i>annealing</i> 800 °C	87
5.4 Hasil dan Analisa FTIR Nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$	89
5.5 Analisis sifat kemagnetan	92
5.5.1 Sifat kemagnetan nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$	92
5.5.2 Sifat kemagnetan nanopartikel $Mn_{0,8}Ni_{0,2}Fe_2O_4$ pasca <i>annealing</i> ..	99
5.6 Uji laju absorpsi spesifik nanopartikel $MnNiFe_2O_4$	103
BAB VI PENUTUP	107
6.1 Kesimpulan	107
6.2 Saran.....	108
DAFTAR PUSTAKA	109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hasil XRD Mn _x Ni _{1-x} Fe ₂ O ₄ (x= 0,5; 0,6; 0,7) <i>annealing</i> 800°C.....	9
Gambar 2.2 Hasil VSM pada suhu ruangan Mn _x Ni _{1-x} Fe ₂ O ₄ (x= 0,5; 0,6; 0,7) <i>annealing</i> 800°C.	10
Gambar 3.1 Ilustrasi (a) momen magnetik orbital (b) momen magnetik spin	15
Gambar 3.2 Arah dipol magnet pada material diamagnetik sebelum dan sesudah diberi pengaruh medan magnet luar.....	18
Gambar 3.3 Arah dipol magnet pada material paramagnetik sebelum dan sesudah diberi pengaruh medan magnet luar.....	19
Gambar 3.4 arah momen magnet pada material ferromagnetik.....	20
Gambar 3.5 Susunan momen magnetik dalam kisi material ferrimagnetik	21
Gambar 3.6 Arah momen magnetik pada material antiferromagnetik.....	22
Gambar 3.7 skema respon momen magnet pada dua domain dalam sampel yang dipisahkan oleh dinding domain (a) sepanjang sumbu +X dan -X dan (b) sepanjang sumbu +Y dan -Y	23
Gambar 3.8 Histeresis loop material ferromagnetik	24
Gambar 3.9 Ilustrasi hubungan ukuran material terhadap nilai koersivitas untuk domain tunggal dan multidomain	26
Gambar 3.10 Transisi pada nanopartikel magnetik dari ferromagnetik ke superparamagnetik (a) diagram energy nanopartikel magnetic dengan arah spin yang berlawanan, ferromagnetik (partikel besar) dan superparamagnetik (partikel kecil) (b,c) ukuran nanopartikel dan coercivitas kurva histeresis dari ferromagnetik ke superparamagnetik	27
Gambar 3.11 Respon terhadap medan magnet luar pada partikel magnetik : (a) Partikel magnetik di bawah TB dan (b) di atas TB.....	28
Gambar 3.12 Magnetisasi tidak semestinya parallel dengan medan kecuali \vec{H} berada pada easy direction.	28
Gambar 3.13 Struktur nanopartikel Spinel <i>ferrite</i>	30
Gambar 3.14 Sub ruang tetrahedral [A] dan oktahedral [B] nanopartikel <i>ferrite</i>	32
Gambar 3.15 Sudut ikatan ion dalam kristal nanopartikel (Mohammed dkk., 2012 ..	35
Gambar 3.16 deskripsi dua dimensi difraksi sinar X dari dua bidang Kristal yang paralel dipisahkan oleh jarak d.	39
Gambar 3.17 Diagram TEM dan lintasan optik	41
Gambar 3.18 Diagram skematik spektrometer infra merah	43
Gambar 3.19 Diagram optik Michelson interferometer dalam FTIR	43
Gambar 3.20 Skema VSM	46
Gambar 3.21 Skema relaksasi neel dan relaksasi brown	49

Gambar 4.1 Diagram alir penelitian.....	54
Gambar 4.2 Perangkat XRD Shimadzu-XD (Lab. Kimia FMIPA UGM).....	55
Gambar 4.3 Ilustrasi Pola XRD	56
Gambar 4.4 Ilustrasi perhitungan FWHM dari puncak difraksi	56
Gambar 4.5 Perangkat TEM Joel Jem-1400	59
Gambar 4.6 Ilustrasi karakterisasi TEM Hasil morfologi dan pola cincin difraksi pada nanopartikel $MnNiFe_2O_4$	60
Gambar 4.7 Proses terbentuknya cincin difraksi.....	61
Gambar 4.8 Perangkat IR Spektrometer (Beijing Beifen-Ruili Analytical Instrument (Group) Co., Ltd.).....	62
Gambar 4.9 Contoh hasil FTIR $MnNiFe_2O_4$	62
Gambar 4.10 Perangkat VSM Riken Denshi Co Ltd (Department of Quantum Engineering, Nagoya University, Japan).	63
Gambar 4.11 Ilustrasi kurva histerisis sampel nanopartikel $MnNiFe_2O_4$	64
Gambar 4.12 Perangkat kalorimetrik	66
Gambar 4.13 Kurva kalibrasi pengukuran suhu	66
Gambar 5.1 Serbuk nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$	67
Gambar 5.2 Pola XRD nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$ dengan variasi konsentrasi Ni..	68
Gambar 5.3 Hubungan antara strain, ukuran kristalit dengan konsentrasi Ni nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$	70
Gambar 5.4 Pengaruh konsentrasi Ni terhadap parameter kisi.....	72
Gambar 5.5 Pengaruh Konsentrasi Ni terhadap jari-jari rata ionik pada sub ruang kisi tetrahedral (A) dan oktahedral (B)	75
Gambar 5.6 Pengaruh Konsentrasi Ni terhadap Panjang ikatan ion dalam kisi kristal	76
Gambar 5.7 Pengaruh Konsentrasi Ni terhadap Panjang Hoping	77
Gambar 5.8 (a) Pola XRD nanopartikel $Mn_{0,8}Ni_{0,2}Fe_2O_4$ variasi suhu <i>annealing</i> (b) perbesaran pola XRD.....	80
Gambar 5.9 Gerakan batas butir (a) menuju (b) menjauhi pusat	82
Gambar 5.10 proses koalesensi pada butir-butir nanopartikel	83
Gambar 5.11 Densifikasi pada buti nanopartikel.....	83
Gambar 5.12 Pengaruh suhu <i>annealing</i> terhadap parameter kisi pada nanopartikel $Mn_{0,8}Ni_{0,2}Fe_2O_4$	84
Gambar 5.13 Bentuk morfologi nanopartikel $Mn_{0,8}Ni_{0,2}Fe_2O_4$ tanpa <i>annealing</i>	86
Gambar 5.14 Citra SAED sampel nanopartikel $Mn_{0,8}Ni_{0,2}Fe_2O_4$ tanpa <i>annealing</i>	86
Gambar 5.15 Bentuk morfologi nanopartikel $Mn_{0,8}Ni_{0,2}Fe_2O_4$ <i>annealing</i> 800 °C.....	88
Gambar 5.16 Distribusi ukuran butir nanopartikel $Mn_{0,8}Ni_{0,2}Fe_2O_4$ <i>annealing</i> 800 °C	88
Gambar 5.17 Citra SAED sampel nanopartikel $Mn_{0,8}Ni_{0,2}Fe_2O_4$ <i>annealing</i> 800 °C ..	89

Gambar 5.18 (a) Spektrum FTIR nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$ (b) Perbesaran spektrum pada bilangan gelombang 400-1000 cm^{-1}	90
Gambar 5.19 Kurva histerisis nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$ ($x= 0,2-0,8$).....	93
Gambar 5.20 Hubungan antara konsentrasi Ni terhadap ukuran kristalit dan koersivitas	95
Gambar 5.21 Hubungan antara ukuran partikel dengan koersivitas	95
Gambar 5.22 Pengaruh konsentrasi Ni terhadap M_s	97
Gambar 5.23 Distribusi kation dan arah momen magnet pada ruang subkisi.....	98
Gambar 5.24 Kurva histerisis nanopartikel $Mn_{0,8}Ni_{0,2}Fe_2O_4$ annealing 0-1000 $^{\circ}C$..	100
Gambar 5.25 Pengaruh suhu annealing terhadap H_c	101
Gambar 5.26 Pengaruh suhu annealing terhadap M_s	102
Gambar 5.27 Kenaikan suhu pada nanopartikel $MnNiFe_2O_4$ dibawah pengaruh medan magnet AC	104

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Model dasar vibrasi molekul.....	44
Tabel 4.1 Variasi massa prekursor $MnCl_2 \cdot H_2O$ dan $NiCl_2 \cdot 6H_2O$	53
Tabel 4.2 Data standar gugus fungsi nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$	63
Tabel 5.1 Sudut 2θ nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$ pada bidang (311)	69
Tabel 5.2 Ukuran kristalit dan strain nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$	69
Tabel 5.3 Parameter kisi kristal nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$	71
Tabel 5.4 Distribusi Kation (teoritik) nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$	74
Tabel 5.5 Pengaruh Konsentrasi Ni terhadap jari-jari rata-rata kation, Panjang ikatan ion dan Panjang hopping	74
Tabel 5.6 Parameter posisi oksigen dan jarak interatom dalam kisi kristal nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$	77
Tabel 5.7 Jarak antar kation dengan kation (M-M) dan jarak antar kation dengan anion (M-O) dalam kristal nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$	78
Tabel 5.8 Sudut antar ikatan ion dalam nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$	79
Tabel 5.9 Sudut bidang kristal (311) nanopartikel $Mn_{0,8}Ni_{0,2}Fe_2O_4$ variasi suhu <i>annealing</i>	81
Tabel 5.10 ukuran kristalit dan parameter kisi kristal nanopartikel $Mn_{0,8}Ni_{0,2}Fe_2O_4$ dengan variasi suhu <i>annealing</i>	81
Tabel 5.11 Gugus fungsi nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$ tanpa <i>annealing</i> dan $Mn_{0,8}Ni_{0,2}Fe_2O_4$ <i>annealing</i> 800 °C.....	90
Tabel 5.12 Parameter sifat magnetik nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$ (x= 0,2-0,8).....	94
Tabel 5.13 Magnetisasi total pada nanopartikel $Mn_{1-x}Ni_xFe_2O_4$ dengan variasi konsentrasi Ni.....	97
Tabel 5.14 Nilai parameter kemagnetan nanopartikel $Mn_{0,8}Ni_{0,2}Fe_2O_4$ <i>annealing</i> 0-1000 °C	99
Tabel 5.15 Parameter sifat magnetic dan SAR pada nanopartikel $MnNiFe_2O_4$	103