

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR SIMBOL DAN KONSTANTA .....</b>	<b>xvi</b>
<b>INTISARI .....</b>	<b>xviii</b>
<b><i>ABSTRACT</i> .....</b>	<b>xix</b>
 <b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	6
 <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
 <b>III. LANDASAN TEORI</b>	
3.1 Terminologi Kemagnetan .....	14
3.2 Domain Magnetik .....	16
3.3 Domain <i>Wall</i> Magnetik .....	17
3.4 Material Ferromagnetik .....	18
3.5 Lapisan Tipis Multilayer Magnetik .....	19
3.6 Resistansi Listrik dan Magnetoresistansi .....	21
3.7 <i>Giant Magnetoresistance</i> (GMR) .....	21
3.8 <i>Interlayer Coupling Exchange</i> (IEC) .....	22

3.9 Struktur <i>Bandgap</i> Co/Cu .....	25
3.10 Model Konduksi Dua Arus Mott .....	28
3.11 Pengukuran Resistivitas dari Lapisan Tipis .....	30
3.12 Nanopartikel Magnetik dan Sifat Superparamagnetik .....	36
3.13 Struktur Kristal dan Mekanisme Sintesis Nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	39
3.14 DC <i>Magnetron Sputtering</i> .....	39
3.15 Metode Karakterisasi Material .....	37
3.15.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	37
3.15.2 <i>X-Ray Reflectometry</i> (XRR) .....	39
3.15.3 <i>Vibrating Sampel Magnetometer</i> (VSM) .....	43
<b>IV. METODE PENELITIAN</b>	
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	44
4.2 Bahan Penelitian .....	44
4.3 Alat Penelitian .....	45
4.3.1 Sintesis Nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	45
4.3.2 Pengukuran Magnetoresistansi .....	45
4.4 Skema Rangkaian Alat Penelitian .....	46
4.5 Prosedur Penelitian .....	48
4.5.1 Pengukuran Magnetoresistansi .....	48
4.5.2 Sintesis Nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	51
4.5.3 Deteksi Nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	52
4.6 Diagram Alir Penelitian .....	53
4.7 Analisis Data .....	56
4.7.1 Perhitungan Konstanta Kisi .....	56
4.7.2 Perhitungan Indeks Miller .....	57
4.7.3 Estimasi Ukuran Partikel .....	57
4.7.4 Perhitungan Fasa lain yang muncul .....	58
4.7.5 Perhitungan Distribusi Ukuran Partikel TEM .....	58
4.7.6 Pengukuran Resistansi .....	60
4.7.7 Pengukuran Rasio GMR .....	61
<b>V. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
5.1 Karakterisasi Lapisan Tipis Co/Cu Multilayer .....	62
5.1.1 Karakterisasi Ketebalan Lapisan Tipis dengan <i>Low Angle X-Ray Diffractometer</i> (XRD) .....	62
5.1.2 Karakterisasi Struktur Kristal dengan <i>X-Ray Diffractometer</i> (XRD) .....	65
5.1.3 Karakterisasi Sifat Kemagnetan Lapisan Tipis dengan <i>Vibrating Sampel Magnetometer</i> (VSM) .....	67
5.1.4 Pengukuran Magnetoresistansi dengan metode <i>Four Point Probe System</i> (FPS) .....	71
5.2 Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	80
5.2.1 Hasil Sintesis Nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	80
5.2.2 Hasil Karakterisasi dan Analisis Data <i>X-Ray Diffractometer</i> (XRD), <i>Transmission Electron Microscopy</i>	

(TEM) dan <i>Vibrating Sampel Magnetometer</i> (VSM) dari Nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	81
5.3 Deteksi Nanopartikel Superparamagnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	87
<b>VI. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
6.1 Kesimpulan .....	91
6.2 Saran .....	92
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	93
<b>LAMPIRAN</b> .....	99

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1. Hasil pengujian gejala magnetoresistansi pada lapisan tipis Fe/Cr multilayer pada suhu 4,2 K oleh tim Fert dari Prancis.....	7
Gambar 2.2. Hasil pengujian gejala magnetoresistansi pada lapisan tipis Fe/Cr/Fe pada suhu kamar yang dilakukan oleh tim Gunberg dari Jerman.....	8
Gambar 2.3. Grafik hubungan %MR dengan ketebalan Cu pada lapisan tipis multilayer Si(111) /Ru(5nm) /[(Co(1,1nm) /Cu( $d_{\text{Cu}}$ )]16/Ru(1,5nm), (a) pengukuran GMR pada suhu 4,2 K dan (b) pada suhu 295 K.....	9
Gambar 3.1. (a) Gerakan elektron berputar mengelilingi inti .....	14
Gambar 3.2. Interaksi domain dengan medan magnet luar .....	16
Gambar 3.3. Struktur <i>Bloch wall</i> .....	17
Gambar 3.4. Struktur <i>Nell wall</i> .....	17
Gambar 3.5. Konfigurasi momen magnetik material ferromagnetik tanpa adanya medan magnet eksternal .....	18
Gambar 3.6. Skematik multilayer magnetik dengan A adalah lapisan ferromagnetik, B adalah lapisan non magnetik, d dan d' masing-masing menunjukkan ketebalan dari lapisan .....	20
Gambar 3.7. Jarak antar atom yang paling berdekatan dan struktu kekisi untuk konfigurasi 3d, 4d dan 5d untuk logam transisi, tanda bulat, petak, dan hexagonal dibawah gambar menunjukkan struktur Kristal logam yaitu masing-masing FCC, BCC dan HCP .....	20
Gambar 3.8. Struktu GMR, (a) <i>sandwich</i> (b) <i>spin valve (sandwich pinned)</i> (c) multilayer .....	22
Gambar 3.9. Skema kopling antiferromagnetik pada lapisan tipis bilayer yang dipisahkan oleh lapisan tipis non magnetik. Ketebalan lapisan tipis magnetik masing-masing $L_A$ dan $L_B$ dan ketebalan lapisan non magnetik $t$ . (a) dan (b)	

menggambarkan kasus <i>in plane</i> ( $\vec{K}_u = K_x, 0, 0$ ) dan <i>perpendicular</i> ( $\vec{K}_u = 0, 0, K_z$ ) tanpa adanya medan magnet eksternal, (c) adanya medan magnet eksternal $\vec{H}$ yang cukup besar mengakibatkan arah magnetisasi menjadi saling paralel.....	23
Gambar 3.10. Skema arah orientasi magnetisasi pada dua lapisan ferromagnetik yang dipisahkan oleh lapisan pemisah non magnetik .....	24
Gambar 3.11. Energi <i>exchange coupling</i> sebagai fungsi ketebalan lapisan pemisah ( <i>space layer</i> ) Cu pada sistem Co/Cu multilayer....	25
Gambar 3.12. Struktur <i>bandgap</i> pada <i>interface</i> Co/Cu/Co multilayer magnetik dengan arah magnetisasi yang antiparalel .....	26
Gambar 3.13. Skema ilustrasi proses hamburan yang terjadi pada lapisan tipis, (a) orientasi paralel pada saat $H > 0$ dan (b) orientasi anti paralel pada saat $H = 0$ , dalam kasus ini diasumsikan pengukuran MR pada multilayer magnetik menggunakan konfigurasi <i>current in plane</i> (CIP) .....	27
Gambar 3.14. Skema diagram yang menggambarkan model Mott, (a) kondisi paralel dan (b) kondisi anti paralel .....	29
Gambar 3.15. Skema rangkaian pengukuran resistansi lapisan tipis menggunakan <i>four point probe system</i> .....	30
Gambar 3.16. Diagram energi partikel magnetik (a) partikel domain tunggal dan (b) partikel banyak domain .....	32
Gambar 3.16. Ilustrasi relaksasi momen magnetik .....	33
Gambar 3.17. Struktur Kristal Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (atom biru merupakan atom Fe <sup>3+</sup> dalam posisi tetrahedral, atom merah berada dalam posisi oktahedral, 50 % Fe <sup>2+</sup> dan 50% Fe <sup>3+</sup> , dan atom putih merupakan atom oksigen).....	35
Gambar 3.18. Sistem DC <i>sputtering</i> .....	36
Gambar 3.19. Sistem DC <i>magnetron sputtering</i> .....	37
Gambar 3.20. Skema bagian-bagian dari difraksi sinar-X. Slit berguna sebagai pembatas agar sinar-X yang ke sampel dan detektor lebih terarah .....	38

Gambar 3.21. Skema difraksi sinar-X oleh atom-atom kristal.....	39
Gambar 3.22. Pemantulan gelombang oleh permukaan dan substrat pada lapisan tipis .....	40
Gambar 3.23. Contoh hasil karakterisasi XRR lapisan tipis Co/Cu multilayer.....	41
Gambar 3.24. <i>Vibrating sample magnetometer</i> (a) desain alat dan (b) prinsip kerja .....	43
Gambar 4.1. Skema rangkaian alat pengujian sifat GMR .....	49
Gambar 4.2. Skema rangkaian kalibrasi medan eksternal.....	50
Gambar 4.3. Skema rangkaian pengujian konektivitas probe dari <i>four point probe system</i> .....	50
Gambar 4.4. Struktur GMR lapisan tipis [Co <sub>(1,5)</sub> /Cu <sub>(x)</sub> ] <sub>20</sub> multilayer .....	47
Gambar 4.5. Diagram alir pengukuran magnetoresistansi lapisan tipis....	51
Gambar 4.6. Diagram alir sintesis nanopartikel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	52
Gambar 4.7. Diagram alir deteksi nanopartikel dengan menggunakan sensor GMR.....	53
Gambar 4.8. Contoh grafik hasil XRD (disipi grafik hasil <i>fitting</i> puncak utama) .....	54
Gambar 4.9. Contoh grafik hasil <i>fitting</i> pada puncak tertinggi .....	56
Gambar 4.10. (a) Contoh butir nanopartikel hasil TEM (b) Ilustrasi grafik hubungan dengan ukuran butir yang terukur dengan frekuensi kemunculannya .....	57
Gambar 4.11. Contoh cincin pola difraksi TEM .....	57
Gambar 5.1. Pola gabungan spektrum <i>low angle</i> -XRD pada lapisan tipis [Co(1,5nm)/Cu(x)] <sub>20</sub> multilayer (x = 0,8, 0,9, 1,0 nm).....	63
Gambar 5.2. Pola spektrum XRD dari lapisan tipis [Co(1,5nm)/Cu(x)] <sub>20</sub> multilayer (x = 0,8, 0,9, 1,0 nm) .....	65

Gambar 5.3.	Histeresis loop magnetik lapisan tipis $[\text{Co}(1,5\text{nm})/\text{Cu}(x)]_{20}$ multilayer ( $x = 0,8, 0,9, 1,0, 1,1$ dan $1,2 \text{ nm}$ ).....	68
Gambar 5.4.	Grafik nilai magnetisasi dan koersivitas lapisan tipis Co/Cu multilayer sebagai fungsi ketebalan lapisan Cu.....	70
Gambar 5.5.	Desain dan perangkat alat pengukuran MR.....	71
Gambar 5.6.	Hasil pengukuran resistivitas lapisan tipis $[\text{Co}(1,5\text{nm})/\text{Cu}(x)]_{20}$ multilayer ( $x = 0,8, 0,9, 1,0, 1,1$ dan $1,2 \text{ nm}$ ).....	72
Gambar 5.7.	Hasil pengukuran %MR lapisan tipis $[\text{Co}(1,5\text{nm})/\text{Cu}(x)]_{20}$ multilayer ( $x = 0,8, 0,9, 1,0, 1,1$ dan $1,2 \text{ nm}$ ).....	73
Gambar 5.8.	8 Proses hamburan elektron pada lapisan ferromagnetik (a) magnetisasi saling paralel (b) magnetisasi saling anti paralel .....	74
Gambar 5.9.	Grafik hasil pengukuran %MR sebagai fungsi ketebalan lapisan Cu pada lapisan tipis Co/Cu multilayer .....	75
Gambar 5.10.	Grafik hubungan ketebalan lapisan Cu dengan konstanta <i>interlayer exchange coupling</i> ( $J_1$ ) dan %MR .....	77
Gambar 5.11.	Grafik hubungan nilai %MR dan ketebalan lapisan Cu pada lapisan tipis $\text{Si}/\text{Fe}(45\text{\AA})/[\text{Co}(10\text{\AA})/\text{Cu}(t_{\text{Cu}})]_N$ (Parkin dkk., 1991).....	78
Gambar 5.12.	Grafik hubungan ketebalan lapisan Cu dengan %MR dan magnetisasi saturasi ( $M_s$ ) .....	79
Gambar 5.13.	Nanopartikel yang dihasilkan dari proses sintesis dengan metode kopresipitasi (a) nanopartikel dalam medium cair di sekitar medan magnet, (b) nanopartikel fasa padat, dan (c) serbuk nanopartikel dalam pengaruh medan magnet (proses sintesis nanopartikel dilakukan di Laboratorium Fisika Material dan Elektronika Jurusan Fisika Universitas Gadjah Mada) .....	80
Gambar 5.14.	Pola spektrum XRD dari sampel nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	81
Gambar 5.15.	Plot keluaran penghalusan sampel $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Data pengamatan ditunjukkan warna hitam, hasil perhitungan warna merah, selisih antara data pengamatan dan hasil	

perhitungan hijau dan titik nilai hkl ditunjukkan warna biru .....	83
Gambar 5.16. Hasil karakterisasi TEM $\text{Fe}_3\text{O}_4$ (a) morfologi (b) pola cincin difraksi .....	84
Gambar 5.17. Distribusi ukuran diameter nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$ hasil pengukuran TEM.....	85
Gambar 5.18. Histeresis loop magnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4$ hasil karakterisasi VSM.....	88
Gambar 5.19. Hasil pengukuran resistansi lapisan ( $R_s$ ) pada lapisan tipis $[\text{Co}_{(1.5)}/\text{Cu}_{(x)}]_{20}$ multilayer ( $x= 1,0$ nm) yang dilapisi $\text{Fe}_3\text{O}_4$ dengan variasi konsentrasi (0,1 mg/ml, 1 mg/ml, 10 mg/ml, 100 mg/ml) .....	88
Gambar 5.20. Grafik perubahan resistansi ( $\Delta R_s$ ) sensor GMR $[\text{Co}_{(1.5)}/\text{Cu}_{(x)}]_{20}$ multilayer ( $x= 1,0$ nm) dengan variasi konsentrasi nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	88
Gambar 5.21. Hasil pengukuran resistansi lapisan ( $R_s$ ) pada lapisan tipis $[\text{Co}_{(1.5)}/\text{Cu}_{(x)}]_{20}$ multilayer ( $x= 0,9$ nm) yang dilapisi $\text{Fe}_3\text{O}_4$ dengan variasi konsentrasi (0,1 mg/ml, 1 mg/ml, 10 mg/ml, 100 mg/ml) .....	89
Gambar 5.22. Grafik perubahan resistansi ( $\Delta R_s$ ) sensor GMR $[\text{Co}_{(1.5)}/\text{Cu}_{(x)}]_{20}$ multilayer ( $x=0,9$ nm) dengan variasi konsentrasi nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	89
Gambar 5.23. Ilustrasi deteksi nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$ menggunakan sensor GMR $\text{Co}/\text{Cu}$ multilayer dengan adanya induksi magnetik ..	91
Gambar 5.24. Ilustrasi deteksi nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$ menggunakan sensor GMR $\text{Co}/\text{Cu}$ multilayer dengan adanya <i>exchange coupling</i> ..	92



## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 1.1. Perbandingan karakteristik beberapa sensor medan .....	2
Tabel 2.1. Penelitian sifat GMR pada lapisan tipis multilayer Co/Cu .....	10
Tabel 3.1. Karakteristik beberapa bahan ferromagnetik .....	19
Tabel 3.2. Estimasi radius kritis $r_c$ single domain untuk beberapa material.....	34
Tabel 4.1. Parameter <i>four point probe system</i> yang digunakan .....	46
Tabel 4.2. Parameter alat yang digunakan .....	46
Tabel 5.1. Hasil perhitungan ketebalan lapisan tipis[Co(1,5nm)/Cu(x)] <sub>20</sub> multilayer (x= 0,8 nm 0,9 nm, dan 1,0 nm) .....	63
Tabel 5.2. Hasil analisis data <i>large</i> XRD berupa parameter kisi, ukuran butir Kristal dan ketinggian puncak utama .....	66
Tabel 5.3. Nilai magnetisasi saturasi ( $M_s$ ), magnetisasi remanen ( $M_r$ ) dan medan koersivitas ( $H_c$ ) hasil analisis histeresis loop magnetik lapisan tipis Co/Cu multilayer .....	69
Tabel 5.4. Nilai perhitungan konstanta <i>exchange coupling interlayer</i> ( $J_1$ ) pada lapisan tipis [Co(1,5nm)/Cu(x)] <sub>20</sub> multilayer.....	76
Tabel 5.5. Estimasi ukuran butir, parameter kisi dan fasa pengotor sampel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	82
Tabel 5.6. Konsentrasi nanopartikel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	87

## DAFTAR SIMBOL DAN KONSTANTA

$\chi$	Suseptibilitas
$M$	Magnetisasi
$H$	Medan magnet eksternal
$B$	Induksi magnet
$\mu_0$	Permeabilitas dalam vakum
$\mu$	Permeabilitas dalam medium
$\mu_r$	Permeabilitas relatif
$\mu_B$	Magneton Bohr
$q$	Muatan elektron
$m_e$	Massa elektron
$M_s$	Magnetisasi saturasi
$M_r$	Magnetisasi residu
$H_c$	Medan koersivitas
$H_s$	Medan saturasi
$\tau$	Waktu relaksasi
$\tau_0$	Waktu awal
$U$	Energi <i>barrier</i>
$k_B$	Konstanta Boltzman
$V$	Volume partikel
$T$	Suhu
$T_B$	Suhu <i>blocking</i>
$\tau_m$	Waktu pengukuran
$a$	Tetapan kekisi
$t$	Waktu
$\theta$	Sudut difraksi
$d$	Jarak antar bidang kristal
$\lambda$	Panjang gelombang sinar-x dan elektron
$B$	Lebar garis pada <i>full width hight maximum</i> (FWHM)

$T_c$	Suhu kritis
$R(H)$	Resistansi pada saat medan magnet eksternal sebesar $H$
$R(0)$	Resistansi tanpa adanya medan magnet eksternal
$J_1$	Konstanta <i>exchange coupling interlayer</i>
$t_{FM}$	Ketebalan lapisan ferromagnetik
$R_P$	Resistansi pada saat arah magnetisasi dalam lapisan tipis saling paralel
$R_{AP}$	Resistansi pada saat arah magnetisasi dalam lapisan tipis saling anti paralel
$\rho$	Resistivitas lapisan tipis
$t$	Ukuran butir kristalin menggunakan persamaan Scherrer
$K$	Faktor koreksi geometri metode empat titik
$m$	Momen dipol magnetik
$E_i$	Energi <i>exchange coupling interlayer</i>
$K_u$	Konstanta anisotropi uniaksial
$L$	<i>Length of camera</i> pada instrumen TEM
$A$	Konstanta <i>exchange stiffness</i>
$K_1$	Konstanta anisotropi magnetokristalin
$\langle K \rangle$	Konstanta anisotropi efektif
$R$	Jarak cincin difraksi dari pusat lingkaran
$r_c$	Radius kritis nanopartikel bersifat superparamagnetik
$D$	Diameter partikel