UNIVERSITAS
GADJAH MADA
MONITORING PERTUMBUHAN MIKROALGA MENGGUNAKAN SENSOR GIANT MAGNETORESISTANCE (GMR) BERBASIS LAPISAN TIPIS SPIN VALVE DAN SINGLE LAYER
LIA SAPTINI H, Dr. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **ii**
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ..... **iii**
MOTTO DAN PERSEMBAHAN ..... **iv**
PRAKATA ..... **v**
DAFTAR ISI ..... **vii**
DAFTAR GAMBAR ..... **x**
DAFTAR TABEL ..... **xiv**
INTISARI ..... **xv**
ABSTRACT ..... ***xvi***
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 Penelitian 6
1.6 Sistematika Penulisan 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **8**
BAB III LANDASAN TEORI **14**
3.1 Dasar-dasar Kemagnetan 14
3.2 Domain Magnetik 16
3.3 Dinding Domain Magnetik 16
3.4 Histerisis *Loop* 17
3.5 Material Feromagnetik 19
3.6 Material Antiferomagnetik 20
3.7 GMR (*Giant Magnetoresistance*) 21
3.8 Lapisan Tipis *Spin valve* dan *Single Layer* 23
3.9 *Interlayer Exchange Coupling* (IEC) 26
3.10 *Exchange Anisotropy/Bias* 28
3.11 Struktur Kristal dan Mekanisme Sintesis Nanopartikel Fe_3O_4 30
3.12 *Polyethylene Glycole* (PEG) 32
3.13 Mikroalga 33
3.14 Elektromagnetik *Coil* 36
3.15 Helmholtz *Coil* 37
3.16 Jembatan *Wheatstone* 38
3.17 Metode Karakterisasi Material 40
3.17.1 *X-Ray diffractometer* (XRD) 40
3.17.2 *Vibrating Sample Magnetometry* (VSM) 42
3.17.3 *Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy* (FTIR) 43
3.17.4 *Transmission Elektron Microscopy* (TEM) 44

UNIVERSITAS GADJAH MADA
MONITORING PERTUMBUHAN MIKROALGA MENGGUNAKAN SENSOR GIANT MAGNETORESISTANCE (GMR) BERBASIS LAPISAN TIPIS SPIN VALVE DAN SINGLE LAYER
LIA SAPTINI H, Dr. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB IV METODE PENELITIAN 46
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian 46
4.2 Alat dan Bahan Penelitian 46
4.2.1 Alat Penelitian 46
4.2.2 Bahan Penelitian 48
4.3 Prosedur Penelitian 49
4.3.1 Sintesis nanopartikel magnetite (Fe_3O_4) 49
4.3.2 Fungsionalisasi Fe_3O_4 dengan PEG-4000 52
4.3.3 Kultur mikroalga 52
4.3.4 Pengamatan pertumbuhan mikroalga 54
4.3.5 Pengukuran sifat GMR 56
4.3.6 Pengujian Sifat GMR Pada Nanopartikel Magnetik Fe_3O_4 60
4.3.7 Pengujian Sifat GMR pada Nanopartikel Fe_3O_4 yang difungsionalisasi dengan PEG dan Penambahan Mikroalga 62
4.4 Karakterisasi Material dan Teknik Analisis Data 64
4.4.1 Karakterisasi Nanopartikel Fe_3O_4 menggunakan XRD 64
4.4.2 Perhitungan distribusi ukuran butir hasil TEM 66
4.4.3 Pengukuran Tegangan 68
4.4.4 Pengukuran Rasio Tegangan 68
4.4.5 Pengukuran Resistansi 68
4.4.6 Pengukuran Rasio GMR 69
4.4.7 Pengukuran Resistivitas 69
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 70
5.1 Karakterisasi Nanopartikel Magnetik Fe_3O_4 70
5.1.1 Hasil Karakterisasi dengan XRD 70
5.1.2 Hasil Karakterisasi dengan TEM 71
5.1.3 Hasil Karakterisasi dengan VSM 73
5.1.4 Karakterisasi dengan FTIR 74
5.2 Karakterisasi Lapisan Tipis *Spin valve* CoFeB 77
5.2.1 Karakterisasi Sifat Kemagnetan Dengan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) 77
5.3 Pengukuran Tegangan Keluaran, Magnetoresistansi, dan Resistivitas Lapisan Tipis *Spin valve* 78
5.4 Deteksi nanopartikel dengan variasi Fe_3O_4 81
5.4.1 Elektromagnetik *Coil* 81
5.4.2 Helmholtz *coil* 85
5.5 Deteksi Fe_3O_4/PEG-*labelled* Mikroalga 90
5.5.1 Elektromagnetik *Coil* 90
5.5.2 Helmholtz *Coil* 96
5.5.3 Sensitivitas lapisan tipis *spin valve* dengan medan magnet elektromagnetik *coil* dan Helmholtz *coil* 101
5.6 Deteksi Fe_3O_4/PEG-labelled Mikroalga dengan lapisan tipis *single layer* 102
5.6.1 Pengukuran densitas sel dan absorbansi mikroalga 102
5.6.2 Pendeteksian mikroalga dengan variasi umur/durasi hari kultur 103

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
MONITORING PERTUMBUHAN MIKROALGA MENGGUNAKAN SENSOR GIANT MAGNETORESISTANCE (GMR) BERBASIS LAPISAN TIPIS SPIN VALVE DAN SINGLE LAYER
LIA SAPTINI H, Dr. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 108
6.1 Kesimpulan 108
6.2 Saran 108
DAFTAR PUSTAKA 109

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
MONITORING PERTUMBUHAN MIKROALGA MENGGUNAKAN SENSOR GIANT MAGNETORESISTANCE (GMR) BERBASIS LAPISAN TIPIS SPIN VALVE DAN SINGLE LAYER
LIA SAPTINI H, Dr. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 (a) momen magnet $dm = Ids$ karena arus loop (b) momen magnetik $m = Ids$, I sebagai penjumlahan momen magnet dari banyak arus loop kecil 14
Gambar 3. 2 Torka yang bekerja pada magnet batang ketika diberi medan magnet luar 15
Gambar 3. 3 (a) Dinding Domain 180° dan (b) dinding domain 90°..... 17
Gambar 3.4 Rotasi magnetisasi dalam (a) dinding *Bloch* dan (b) dinding *Neel* .. 17
Gambar 3.5 Kurva histerisis *loop* untuk material ferromagnetik ketika diberi medan magnet luar 18
Gambar 3.6 Proses magnetisasi dalam ferromagnetik 20
Gambar 3.7 Susunan ion-ion magnetik didalam kisi antiferromagnetik..... 21
Gambar 3.8 Skema illustrasi spin dalam lapisan tipis (a) tanpa medan magnet (B) (b) dengan medan magnet 22
Gambar 3.9 Struktur lapisan tipis *spin valve* 24
Gambar 3.10 Ilustrasi magnetisasi pada lapisan tipis *single layer*..... 26
Gambar 3.11 Sistem lapisan ferromagnetik terkopling yang dipisahkan oleh lapisan nonmagnetik 27
Gambar 3.12 *Interface* antar lapisan ferromagnetik dengan antiferromagnetik (a) *interface ideal* (b) *interface* kasar 28
Gambar 3.13 Pergeseran histerisis *loop* dalam ferromagnetik 29
Gambar 3.14 (a) Medan magnetisasi saturasi diberikan untuk menyearahkan ferromagnetik diatas suhu T_N (b) setelah sistem didinginkan (c) pembalikan medan yang besar pada ferromagnetik..... 30
Gambar 3.15 Struktur Fe_3O_4 (atom hijau merupakan atom Fe^{2+} dan Fe^{3+} pada posisi oktahedral, atom coklat merupakan atom Fe^{3+} posisi tetrahedral 31
Gambar 3.16 Fase-fase pertumbuhan mikroalga didalam kultur (garis bersambung) dan konsentrasi nutrisi (garis putus-putus): (1) *lag phase*; (2) *exponential phase*; (3) *linear phase*; (4) *declining phase*; (5) *stationary phase*; (6) *death phase*..... 34
Gambar 3.17 Perkembangan jenis-jenis elektromagnetik *coil*..... 36
Gambar 3.18 Struktur Helmholtz *coil* yang tersusun oleh dua kumparan yang identik 37
Gambar 3.19 Rangkaian jembatan *wheatstone* dengan pemberian arus yang konstan 39
Gambar 3.20 Skema bagian dari *X-ray diffractometer* dengan pengukuran arah yang berbeda-beda 41
Gambar 3.21 Skema difraksi sinar-X oleh atom-atom kristal 42

MONITORING PERTUMBUHAN MIKROALGA MENGGUNAKAN SENSOR GIANT MAGNETORESISTANCE (GMR) BERBASIS LAPISAN TIPIS SPIN VALVE DAN SINGLE LAYER
LIA SAPTINI H, Dr. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 3.22 (a) Skema alat VSM 43
Gambar 4.1 Diagram alir sintesis Fe_3O_4.....51
Gambar 4.2 Diagram alir kultur mikroalga..... 53
Gambar 4.3 Bagian-bagian dari *haemocytometer* 54
Gambar 4.4 Alat pengukuran absorbansi mikroalga menggunakan Genesys 10 *Uv-Vis Spectrophotometer* tipe *test tube holder* 55
Gambar 4.5 Struktur GMR lapisan tipis *spin valve* 56
Gambar 4.6 Struktur GMR lapisan tipis *single layer*..... 56
Gambar 4.7 Skema rangkaian kalibrasi medan luar..... 58
Gambar 4.8 Desain model rangkaian menggunakan medan Helmholtz *coil* untuk pengukuran magnetoresistansi sensor GMR 59
Gambar 4.9 Diagram alir deteksi magnetik nanopartikel Fe_3O_4 menggunakan sensor GMR 61
Gambar 4.10 Diagram alir deteksi mikroalga dengan menggunakan sensor GMR 63
Gambar 4.11 Contih hasil XRD dari sampel Fe_3O_4 64
Gambar 4.12 (a) Contoh morfologi butir nanopartikel (b) Distribusi ukuran butir nanopartikel..... 66
Gambar 4.13 Contoh pola cincin difraksi TEM dari sampel Fe_3O_4..... 67
Gambar 5.1 Spektrum XRD (a) Fe_3O_4 (b) Fe_3O_4/PEG 70
Gambar 5.2 Karakterisasi TEM Fe_3O_4 (a) morfologi (b) distribusi ukuran butir . 71
Gambar 5.3 Hasil karakterisasi TEM Fe_3O_4/PEG (a) morfologi (b) distribusi ukuran butir..... 72
Gambar 5.4 Cincin difraksi dengan menggunakan TEM (a) Fe_3O_4 (b) Fe_3O_4/PEG..... 73
Gambar 5.5 Histeresis loop dari nanopartikel (a) Fe_3O_4, (b) Fe_3O_4/PEG..... 73
Gambar 5.6 Spektrum FTIR dari sampel nanopartikel Fe_3O_4, PEG, Fe_3O_4/PEG, dan Fe_3O_4/PEG/Mikroalga 74
Gambar 5.7 Ilustrasi pelapisan Fe_3O_4 oleh PEG..... 75
Gambar 5.8 Ilustrasi proses labeling mikroalga oleh Fe_3O_4/PEG 76
Gambar 5.9 Histeresis loop lapisan tipis *spin valve*..... 77
Gambar 5.10 Grafik tegangan keluaran lapisan tipis *spin valve*..... 79
Gambar 5.11 Grafik resistansi lapisan tipis *spin valve* 79
Gambar 5.12 Grafik pengukuran MR lapisan tipis *spin valve*..... 80
Gambar 5.13 Grafik resistivitas lapisan tipis *spin valve*..... 81
Gambar 5.14 Grafik tegangan keluaran lapisan tipis *spin valve* yang dilapisi Fe_3O_4 dengan variasi konsentrasi terhadap medan magnet luar.... 82
Gambar 5.15 Grafik perubahan tegangan keluaran lapisan tipis *spin valve* dengan variasi konsentrasi Fe_3O_4 sebagai fungsi medan magnet ekternal 82
Gambar 5.16 Grafik rasio MR lapisan tipis *spin valve* dengan variasi konsentrasi Fe_3O_4 82
Gambar 5.17 Grafik rasio MR lapisan tipis *spin valve* dengan variasi konsentrasi Fe_3O_4 83
Gambar 5.18 Grafik resistivitas lapisan tipis *spin valve* sebagai fungsi medan magnet luar dengan variasi konsentrasi Fe_3O_4 83

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
MONITORING PERTUMBUHAN MIKROALGA MENGGUNAKAN SENSOR GIANT MAGNETORESISTANCE (GMR) BERBASIS LAPISAN TIPIS SPIN VALVE DAN SINGLE LAYER
LIA SAPTINI H, Dr. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.19 Grafik perubahan resistivitas lapisan tipis *spin valve* sebagai fungsi variasi konsentrasi Fe_3O_4 84
Gambar 5.20 Ilustrasi medan magnet yang dihasilkan oleh elektromagnetik *coil* 85
Gambar 5.21 Ilustrasi MNPs Fe_3O_4 pada medan magnet yang tidak homogen.... 85
Gambar 5.22 Grafik tegangan keluaran lapisan tipis spin valve sebagai fungsi medan magnet luar dengan variasi konsentrasi Fe_3O_4 85
Gambar 5.23 Grafik perubahan tegangan keluaran lapisan tipis *spin valve* terhadap variasi konsentrasi Fe_3O_4 86
Gambar 5.24 Grafik ratio MR lapisan tipis *spin valve* terhadap variasi konsentrasi Fe_3O_4 86
Gambar 5.25 Grafik ratio MR lapisan tipis *spin valve* terhadap variasi konsentrasi Fe_3O_4 87
Gambar 5.26 Grafik resistivitas lapisan tipis *spin valve* terhadap medan magnet 88
Gambar 5.27 Grafik perubahan resistivitas lapisan tipis *spin valve* terhadap variasi konsentrasi Fe_3O_4 88
Gambar 5.28 Ilustrasi medan magnet yang dihasilkan oleh Helmholtz *coil*..... 89
Gambar 5.29 Ilustrasi MNPs Fe_3O_4 pada medan magnet yang homogen..... 90
Gambar 5.30 Grafik densitas sel mikroalga terhadap waktu pertumbuhan mikroalga 91
Gambar 5.31 Grafik absorbansi mikroalga dengan variasi waktu pertumbuhan terhadap panjang gelombang 91
Gambar 5.32 Grafik densitas sel dan absorbansi mikroalga pada panjang gelombang 685 nm terhadap waktu pertumbuhan mikroalga 92
Gambar 5.33 Grafik tegangan keluaran lapisan *spin valve* sebagai fungsi medan magnet ekternal dengan variasi waktu pertumbuhan mikroalga 92
Gambar 5.34 Grafik (a) perubahan tegangan keluaran lapisan *spin valve* terhadap variasi waktu pertumbuhan mikroalga, (b)densitas sel mikroalga 93
Gambar 5.35 Grafik magnetoresistansi lapisan tipis *spin valve* sebagai fungsi medan magnet luar dengan variasi waktu pertumbuhan mikroalga 94
Gambar 5.36 Grafik perubahan magnetoresistansi lapisan tipis *spin valve* terhadap variasi waktu pertumbuhan mikroalga..... 94
Gambar 5.37 Grafik pengukuran resistivitas lapisan *spin valve* terhadap medan magnet luar dengan variasi waktu pertumbuhan mikroalga..... 95
Gambar 5.38 Grafik pengukuran perubahan resistivitas lapisan *spin valve* terhadap variasi waktu pertumbuhan mikroalga..... 95
Gambar 5.39 Grafik densitas sel terhadap perubahan variasi waktu pertumbuhan mikroalga 96
Gambar 5.40 Grafik densitas sel terhadap perubahan variasi waktu pertumbuhan mikroalga 96
Gambar 5.41 Grafik absorbansi pada panjang gelombang 680 nm dan densitas sel mikroalga terhadap variasi waktu pertumbuhan mikroalga..... 97

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
MONITORING PERTUMBUHAN MIKROALGA MENGGUNAKAN SENSOR GIANT MAGNETORESISTANCE (GMR) BERBASIS LAPISAN TIPIS SPIN VALVE DAN SINGLE LAYER
LIA SAPTINI H, Dr. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.42 Grafik tegangan keluaran lapisan tipis *spin valve* dengan variasi waktu pertumbuhan..... 98
Gambar 5.43 Grafik (a) perubahan tegangan keluaran lapisan tipis *spin valve* terhadap variasi waktu pertumbuhan mikroalga 98
Gambar 5.44 Grafik ratio persentase magnetoresistansi lapisan tipis *spin valve* dengan variasi waktu pertumbuhan..... 99
Gambar 5.45 Grafik ratio magnetoresistansi lapisan tipis *spin valve* terhadap variasi waktu pertumbuhan mikroalga..... 99
Gambar 5.46 Grafik resistivitas lapisan tipis *spin valve* terhadap variasi waktu pertumbuhan mikroalga 100
Gambar 5.47 Grafik perubahan resistivitas lapisan tipis *spin valve* terhadap variasi waktu pertumbuhan mikroalga 100
Gambar 5.48 Grafik sensitivitas lapisan tipis *spin valve* (perubahan tegangan keluaran terhadap densitas sel mikroalga) dengan elektromagnetik *coil* 101
Gambar 5.49 Grafik sensitivitas lapisan tipis *spin valve* (perubahan tegangan keluaran terhadap densitas sel mikroalga) dengan Helmholtz *coil* 101
Gambar 5.50 Grafik densitas sel terhadap variasi waktu pertumbuhan mikroalga..... 102
Gambar 5.51 Grafik absorbansi sel terhadap panjang gelombang..... 103
Gambar 5.52 Grafik absorbansi dan densitas sel mikroalga terhadap variasi waktu pertumbuhan..... 103
Gambar 5.53 Grafik tegangan keluaran lapisan tipis *single layer* sebagai fungsi medan magnet luar 104
Gambar 5.54 Grafik (a) perubahan tegangan keluaran lapisan tipis *single layer* terhadap waktu pertumbuhan mikroalga, (b) densitas sel mikroalga 104
Gambar 5.55 Grafik magnetoresistansi lapisan tipis *single layer* dengan variasi waktu pertumbuhan mikroalga terhadap medan magnet luar..... 105
Gambar 5.56 Grafik ratio magnetoresistansi lapisan tipis *single layer* terhadap variasi waktu pertumbuhan mikroalga..... 105
Gambar 5.57 Grafik resistivitas lapisan tipis *single layer* pada variasi waktu pertumbuhan mikroalga terhadap medan magnet luar..... 106
Gambar 5.58 Grafik perubahan tegangan keluaran lapisan tipis *single layer* terhadap waktu pertumbuhan mikroalga 107

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
MONITORING PERTUMBUHAN MIKROALGA MENGGUNAKAN SENSOR GIANT MAGNETORESISTANCE (GMR) BERBASIS LAPISAN TIPIS SPIN VALVE DAN SINGLE LAYER
LIA SAPTINI H, Dr. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Komposisi medium BBM 49
Tabel 4.2 Konsentrasi Fe_3O_4 dengan menggunakan medan magnet yang berbeda..... 60
Tabel 5.1 Estimasi parameter kisi dan ukuran kristalit sampel Fe_3O_4 dan Fe_3O_4/PEG……...…..71
Tabel 5. 2 Hasil analisis spektrum FTIR sampel 75