UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Green Synthesis Nanokomposit Fe3O4/SiO2, Karakterisasi dan Aplikasinya Sebagai Label Magnetik Pada Magnetoresistance Sensors
Muhammad Rizki, Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

TESIS i
HALAMAN PERSETUJUAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
MOTO DAN PERSEMBAHAN iv
PRAKATA v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR TABEL xiii
INTISARI xiv
ABSTRACT xv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Batasan Masalah 5
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 5
1.6 Sistematika Penulisan 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 8
2.1 Kajian GMR pada MNPs 8
2.2 Kajian TMR pada MNPs 11
2.3 Sintesis Nanokomposit Fe_3O_4 dan Fe_3O_4/SiO_2 13
BAB III LANDASAN TEORI 18
3.1 Konsep Dasar Kemagnetan Material 18
3.2 Domain Magnetik 19
3.3 Histerisis Magnetik 20
3.4 Material Magnetik 21
3.5 *Giant Magnetoresistance* (GMR) 24
3.5.1 Fenomena GMR 24

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Green Synthesis Nanokomposit Fe3O4/SiO2, Karakterisasi dan Aplikasinya Sebagai Label Magnetik Pada Magnetoresistance Sensors
Muhammad Rizki, Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.5.2 Prinsip Kerja GMR 26
3.6 *Tunneling Magnetoresistance* (TMR) 27
3.6.1 Fenomena Terobosan (*Tunneling*) dalam Mekanika Kuantum 27
3.6.2 Prinsip Kerja TMR 30
3.7 Kumparan Helmholtz 35
3.8 *Green Synthesis* Fe_3O_4 37
3.9 *Silicon Dioxide* (SiO_2) 40
3.10 *Green Synthesis* Fe_3O_4/SiO_2 41
3.11 Karakterisasi Material 43
3.11.1 *X-Ray Diffraction* (XRD) 43
3.11.2 *Transmission Electron Microscopy* (TEM) 45
3.11.3 *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) 46
3.11.4 *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) 48
3.11.5 *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) 50
BAB IV METODE PENELITIAN 52
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian 52
4.2 Alat Penelitian 52
4.2.1 Sintesis Nanokomposit Fe_3O_4/SiO_2 52
4.2.2 Pengukuran Magnetoresistansi dan *Output Voltage* 53
4.3 Bahan Penelitian 54
4.4 Prosedur Penelitian 54
4.4.1 Sintesis Nanokomposit 56
4.4.1.1 Pembuatan larutan MO 56
4.4.1.2 Sintesis MNPs Fe_3O_4 56
4.4.1.3 Sintesis Nanokomposit Fe_3O_4/SiO_2 57
4.4.2 Desain Alat Pengujian 59
4.4.3 Pengujian Sifat Sensor *Magnetoresistance* 60
4.4.3.1 Kalibrasi Medan Magnet Eksternal 60
4.4.3.2 Penentuan Medan Bias 61
4.4.3.3 Pengujian NPM Label 62

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Green Synthesis Nanokomposit Fe3O4/SiO2, Karakterisasi dan Aplikasinya Sebagai Label Magnetik Pada Magnetoresistance Sensors
Muhammad Rizki, Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.5 Karekterisasi Material dan Analisis Data 62
4.5.1 Karakterisasi XRD 62
4.5.2 Karakterisasi TEM 64
4.5.3 Karakterisasi SEM-EDX 66
4.5.4 Karakterisasi FTIR 68
4.5.5 Karakterisasi VSM 70
4.5.6 Analisis Sinyal Sensor 71
4.5.7 Analisis Sensitivitas, Linieritas, dan LOD 72
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 75
5.1 Mekanisme pembentukan *Green-Synthesized* Nanokomposit Fe_3O_4/SiO_2 75
5.2 Karakterisasi Nanopartikel Fe_3O_4 dan Nanokomposit Fe_3O_4/SiO_2 76
5.2.1 Analisa struktur kristal dan ukuran kristalit 76
5.2.2 Analisa Morfologi dan Ukuran Partikel 78
5.2.3 Analisa Morfologi Permukaan dan komposisi 82
5.2.4 Analisa Gugus Fungsi 84
5.2.5 Analisa Sifat Kemagnetan 86
5.3 Kinerja Sensor dalam Mendeteksi Label Magnetik 87
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 101
6.1 Kesimpulan 101
6.2 Saran 102
DAFTAR PUSTAKA 103

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Green Synthesis Nanokomposit Fe3O4/SiO2, Karakterisasi dan Aplikasinya Sebagai Label Magnetik Pada Magnetoresistance Sensors
Muhammad Rizki, Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Skema rotasi magnetisasi di dinding *Neel* dan dinding *Bloch* 19
Gambar 3.2. Kurva histerisis bahan ferromagnetik 20
Gambar 3.3 Orientasi magnetik oleh medan..... 22
Gambar 3.4 Arah *spin* ferromagnetik, anti-ferromagnetik, dan ferimagnetik 23
Gambar3.5 Kurva histerisis material feromagnetik, paramagnetik, dan superparamagnetic 24
Gambar 3.6 Fenomena GMR 25
Gambar 3.7 Ilustrasi *spin* dalam lapisan tipis 26
Gambar 3.8 Skema terobosan kuantum yang dialami elektron dengan penghalang potensial 28
Gambar 3.9 Elektron menerobos melalui lapisan tipis penghalang 31
Gambar 3.10 Ilustrasi bias dalam *tunnel barrier* dan hubungan I-V Simmon.....32
Gambar 3.11 Ilustrasi magnetisasi M_1 dan M_2 pada dua lapisan tipis feromagnetik dalam MTJ 33
Gambar 3.12 Diagram skematik TMR.....34
Gambar 3.13 Struktur dan medan magnet induksi dari kumparan Helmholtz.....35
Gambar 3.14 Struktur kristal Fe_3O_4 38
Gambar 3.15 Mekanisme pembentukan MNPs Fe_3O_4.....39
Gambar 3.16 Illustrasi mekanisme pembentukan nanokomposit Fe_3O_4/SiO_2.....42
Gambar 3.17 Mekanisme pembentukan Fe_3O_4/partikel nano mesopori (MSN) melalui metode *Green-synthesis* menggunakan ekstrak MO 43
Gambar 3.18 Difraksi *X-ray* pada bidang 44
Gambar 3.19 Diagram skema komponen inti mikroskop TEM.....46
Gambar 3.20 Diagram skema komponen inti mikroskop SEM 47
Gambar 3.21 Skema alat FTIR 49
Gambar 3.22 Skema pengukuran kurva histerisis menggunakan VSM.....50
Gambar 4.1 Diagram alir penelitian.....55
Gambar 4.2 Skematik pembuatan larutan ekstrak MO 56

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Green Synthesis Nanokomposit Fe3O4/SiO2, Karakterisasi dan Aplikasinya Sebagai Label Magnetik Pada Magnetoresistance Sensors
Muhammad Rizki, Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 4.3 Skematik sintesis MNPs Fe_3O_4 57
Gambar 4.4 Skematik sintesis MNPs Fe_3O_4/SiO_2 58
Gambar 4.5 fotograf dan skematik susunan internal *single chip* NVE (a) GMR (b) TMR (c) *double chip* GMR (d) skematik *setup* eksperimen, dan *setup* pengukuran untuk (e) *single chip* (f) *double chip*.....59
Gambar 4.6. Grafik untuk menentukan medan bias.....61
Gambar 4.7 Skema pendeteksian NPM label dengan magnetoresistance senso.62
Gambar 4.8 Difraktogram XRD Fe_3O_4 dan $Fe_3O_4@SiO_2$ 63
Gambar 4.9 Citra TEM (a) Fe_3O_4 dan (b-d)$Fe_3O_4@SiO_2$.....65
Gambar 4.10 Contoh hasil karakterisasi SEM-EDX dari sampel $Fe_3O_4@SiO_2$, $Fe_3O_4@SiO_2$/APTES, dan $Fe_3O_4@SiO_2$/APTES–Au.....67
Gambar 4.11Contoh hasil karakterisasi FTIR dari sampel $Fe_3O_4@SiO_2$ dan $Fe_3O_4@SiO_2$.....69
Gambar 4.12 Contoh hasil karakterisasi VSM dari sampel Fe_3O_4/SiO_2 70
Gambar 4.13 Contoh hasil analisis sinyal *magnetoresistance* sensor.....72
Gambar 5.1 Mekanisme pembentukan Fe_3O_4/SiO_2 dengan *green synthesis* menggunakan ekstrak MO.....76
Gambar 5.2 Pola XRD sampel (a) Fe_3O_4 dan Fe_3O_4/SiO_2 dengan variasi konsentrasi (b) 5% (c) 7,5% (d) 10% 77
Gambar 5.3 Cincin difraksi dan citra morfologi (a) Fe_3O_4 dan Fe_3O_4/SiO_2 (b) 5% (c) 10% 79
Gambar 5.4 Distribusi ukuran partikel (a) Fe_3O_4 dan Fe_3O_4/SiO_2 (b) 5% (c)10 ..80
Gambar 5.5 Morfologi, mapping unsur dan spektrum EDX dari (a) Fe_3O_4, (b) Fe_3O_4/SiO_2 (5%), dan (c) Fe_3O_4/SiO_2 (10%).....82
Gambar 5.6 Spektrum FTIR dari (a) Fe_3O_4 dan Fe_3O_4/SiO_2 (b) 5%, (c) 7,5% (d) 10%.....84
Gambar 5.7 Kurva histerisis dari (a) Fe_3O_4 dan Fe_3O_4/SiO_2 dengan variasi konsentrasi (b) 5%, (c) 7,5%, (d) 10%.....86
Gambar 5.8 Grafik ketergantungan rata-rata tegangan keluaran $V_{P\text{-}avg}$ terhadap medan magnet untuk *bare chip* sensor GMR 88
Gambar 5.9 Grafik ketergantungan rata-rata tegangan keluaran $V_{P\text{-}avg}$ terhadap

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Green Synthesis Nanokomposit Fe3O4/SiO2, Karakterisasi dan Aplikasinya Sebagai Label Magnetik Pada Magnetoresistance Sensors
Muhammad Rizki, Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

medan magnet untuk *bare chip* sensor TMR.....89
Gambar 5.10 Grafik ketergantungan rata-rata tegangan keluaran $V_{P\text{-}avg}$ terhadap medan magnet untuk *bare chip* sensor GMR *double chip* 90
Gambar 5.11 Pengujian etanol tanpa penambahan nanopartikel pada sensor 92
Gambar 5.12 Uji repeatabilitas *chip* sensor GMR pada berbagai konsentrasi label magnetik; (a) Fe_3O_4, (b) Fe_3O_4/SiO_2 (5%) (c) Fe_3O_4/SiO_2 (7.5%) and (d) Fe_3O_4/SiO_2 (10%).....93
Gambar 5.13 Uji repeatabilitas *chip* sensor TMR pada berbagai konsentrasi label magnetik; (a) Fe_3O_4, (b) Fe_3O_4/SiO_2 (5%) (c) Fe_3O_4/SiO_2 (7.5%) and (d) Fe_3O_4/SiO_2 (10%).....94
Gambar 5.14 Uji repeatabilitas *chip* sensor TMR pada berbagai konsentrasi label magnetik; (a) Fe_3O_4, (b) Fe_3O_4/SiO_2 (5%).....95
Gambar 5.15 Ketergantungan sinyal sensor GMR pada konsentrasi label 97
Gambar 5.16 Ketergantungan sinyal sensor TMR pada konsentrasi label 97
Gambar 5.17 Ketergantungan sinyal sensor GMR *double chip* pada konsentrasi label magnetik (a) Fe_3O_4 and (b) Fe_3O_4/SiO_2 (5%).....98
Gambar 5.18 Ilustrasi (a) deteksi label magnetik menggunakan *chip* sensor GMR dan TMR serta (b) ketergantungan perubahan resistansi sensor terhadap *stray field* label magnetic.....100

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Green Synthesis Nanokomposit Fe3O4/SiO2, Karakterisasi dan Aplikasinya Sebagai Label Magnetik Pada
Magnetoresistance Sensors**
Muhammad Rizki, Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perbandingan rasio nanokomposit Fe_3O_4/SiO_2 58
Tabel 5.1 Ukuran kristal dan parameter kisi Fe_3O_4 dan Fe_3O_4/SiO_2 78
Tabel 5.2 Hasil analisis gugus fungsi sampel Fe_3O_4 dan Fe_3O_4/SiO_2 85
Tabel 5.3 Sifat magnetik dari Fe_3O_4 dan Fe_3O_4/SiO_2 dengan variasi konsentrasi .87
Tabel 5.4 Perbandingan nilai H_B pada sensor magnetoresistance 90
Tabel 5.5 Sensitivitas, LOD, R^2 dari Fe_3O_4 dan nanokomposit Fe_3O_4/SiO_2 98