UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengembangan Alat Deteksi Gelatin Berbasis Platform GMR Dengan Menggunakan Fe3O4@Asam Oleat / Glutaraldehyde Sebagai Pelabel
Helendra, Prof. Dr. Harsojo, SU., M.Sc ; Prof. Dr.Eng. Edi Suharyadi, S.Si., M.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **ii**
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ..... **iii**
PRAKATA ..... **iv**
DAFTAR ISI ..... **vi**
DAFTAR GAMBAR ..... **ix**
DAFTAR TABEL ..... **xi**
DAFTAR SINGKATAN ..... **xii**
INTISARI ..... **xiii**
ABSTRACT ..... **xiv**
BAB 1. PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 7
1.3 Hipotesis Penelitian 7
1.4 Tujuan Penelitian 8
1.5 Batasan Masalah 8
1.6 Kebaruan Penelitian 9
1.7 Penelitian Terkait 9
1.8 Sistematika Penelitian 10
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA **12**
2.1 *Magnetite* (Fe_3O_4) 12
2.2 Asam Oleat (*Oleic Acid*) $C_{18}H_{34}O_2$ 14
2.3 Metode sintesis 16
2.4 Sensor GMR 19
2.5 NPM sebagai pelabel pada sensor GMR 20
2.6 Mekanisme interaksi antara nanopartikel dan biomolekul gelatin 21
2.7 Gelatin dan deteksinya 24
BAB III. DASAR TEORI **26**
3.1 Moment Magnet dan Magnetisasi 26
3.1.1 Momen magnet 26

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengembangan Alat Deteksi Gelatin Berbasis Platform GMR Dengan Menggunakan Fe3O4@Asam Oleat / Glutaraldehyde Sebagai Pelabel
Helendra, Prof. Dr. Harsojo, SU., M.Sc ; Prof. Dr.Eng. Edi Suharyadi, S.Si., M.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.1.2 Magnetisasi 28
3.2 Nanopartikel Magnetik 32
3.3 Fe_3O_4 (*Magnetite*) 36
3.4 *Oleic Acid* (Asam Oleat) 39
3.5 *Glutaraldehyde* 42
3.6 Gelatin. 44
3.7 *Giant Magnetoresistance* 45
3.7.1 Struktur lapisan pada GMR 47
3.7.2 Mekanisme deteksi biomolekul menggunakan *platform* GMR 50
3.7.3 Deteksi resistansi pada jembatan *Wheatstone* 51
3.8 Karakterisasi Material 53
3.8.1 *X-Ray Difraction* 53
3.8.2 *Transmission Electron Microscopy* 56
3.8.3 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* 57
3.8.4 *Vibrating Sample Magnetometer* 60
3.9 Sensor 62
3.9.1 Karakteristik sensor 63
3.9.2 Immobilisasi biomolekul 66
BAB IV. METODE PENELITIAN 68
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian 68
4.2 Alat Penelitian 68
4.2.1 Alat untuk sintesis nanopartikel 68
4.2.2 Alat untuk sistem sensor 69
4.2.3 Cip Sensor GMR Komersial AAL024-10E 70
4.3 Bahan penelitian 71
4.4 Tahapan Penelitian 72
4.4.1 Rangkaian sensor menggunakan GMR berbasis CIP dari NVE *Corp* 72
4.4.1.1 Desain sumber medan magnet 73
4.4.1.2 Sistem Akuisisi Data 74
4.4.2 Sintesis Material Nanomagnetik 77
4.4.2.1 Sintesis Material Fe_3O_4 78
4.4.2.2 Coating Fe_3O_4@OA (*Oleic Acid*) 80
4.4.2.3 Coating Fe_3O_4@OA-Glu (*Oleic Acid*)-*Glutaraldehyde* 80
4.5 Pelabelan Gelatin pada Nanomagnetik 81
4.6 Analisis karakterisasi 82
4.7 Langkah persiapan proses deteksi sampel ke permukaan GMR 85
4.8 Analisis sinyal keluaran sensor 87

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pengembangan Alat Deteksi Gelatin Berbasis Platform GMR Dengan Menggunakan Fe3O4@Asam Oleat /
Glutaraldehyde Sebagai Pelabel**
Helendra, Prof. Dr. Harsojo, SU., M.Sc ; Prof. Dr.Eng. Edi Suharyadi, S.Si., M.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.8.1 Perhitungan sinyal tegangan keluaran 87
4.8.2 Analisa linearitas, sensitivitas dan limit deteksi 87

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN 91

5.1 Sintesis dan karakterisasi nano partikel magnetik..... 91
5.1.1. Karakterisasi struktur kristal. 92
5.1.2. Morfologi dan Ukuran Partikel..... 95
5.1.3. Spektrum FTIR 98
5.1.4. Analisis UV-Vis dari NPM dan NPM yang terikat gelatin 101
5.1.5. Magnetisasi partikel. 104

5.2 Respon cip GMR AAL024 terhadap Medan Magnet NdFeB 106
5.2.1 Penguat instrumentasi AD524 107
5.2.2 Transformasi kurva 109
5.2.3 Sistem deteksi partikel NPM pada chip GMR AAL024.....114
5.2.4 Deteksi Kuantitatif Fe_3O_4 Menggunakan GMR AAL024 116
5.2.5 Deteksi Kuantitatif Fe_3O_4@Asam Oleat Menggunakan GMR AAL024..... 120
5.2.6 Deteksi Kuantitatif Gelatin Berlabel Fe_3O_4@Asam Oleat-*Glutaraldehyde* Menggunakan GMR Tipe AAL024..... 125

BAB VI. PENUTUP 129

6.1 Kesimpulan..... 129

6.2 Saran 130

DAFTAR PUSTAKA..... 131

LAMPIRAN..... 158

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pengembangan Alat Deteksi Gelatin Berbasis Platform GMR Dengan Menggunakan Fe3O4@Asam Oleat /
Glutaraldehyde Sebagai Pelabel**
Helendra, Prof. Dr. Harsojo, SU., M.Sc ; Prof. Dr.Eng. Edi Suharyadi, S.Si., M.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Koefisien gesekan rata-rata dari varian berat ZnO-OA 15
Gambar 2. 2 Kurva hysteresis dari Fe_3O_4@OA diukur saat suhu 300K dengan sampel berbeda ukuran (Urian dkk., 2021)..... 16
Gambar 2. 3 Mekanisme interaksi antara (a) Fe_3O_4, APTES, dan Glutaraldehyde, (b) Fe_3O_4 dan Lysin Gelatin, (c) Fe_3O_4 dan Amino Gelatin 22
Gambar 3. 1 Momen magnet ditengah kawat melingkar berarus listrik 27
Gambar 3. 2 Susunan domain magnet (kiri) sebelum dimagnetisasi (kanan) sesudah dimagnetisasi (Ijiri dkk., 2013). 29
Gambar 3. 3 Grafik hysteresis loop M-H..... 33
Gambar 3. 4 Hubungan koersivitas dengan ukuran partikel 34
Gambar 3. 5 Hubungan koersivitas dengan temperatur 35
Gambar 3. 6 Struktur Kristal Fe_3O_4 (Rivani dkk., 2019)..... 37
Gambar 3. 7 Ikatan rangkap Asam Oleat 40
Gambar 3. 8 Gugus Glutaraldehyde..... 43
Gambar 3. 9 Struktur Gelatin (Noor dkk., 2021) 44
Gambar 3. 10 GMR struktur multilayer dengan varian orientasi magnetisasi..... 46
Gambar 3. 11 Spin Dependent Transport pada GMR 47
Gambar 3. 12 Struktur GMR (a) Multilayer, (b) Sandwich, (c) Spin-valve 47
Gambar 3. 13 Mekanisme Stray field biomolekuler pada NPM pelabel. 50
Gambar 3. 14 Jembatan Wheatstone 52
Gambar 3. 15 Skema difraksi pada XRD (Inaba dkk., 2013) 54
Gambar 3. 16 Transmission Electron Microscope (TEM) 56
Gambar 3. 17 Skema kerja FTIR (Kumar dkk., n.d.)..... 58
Gambar 3. 18 VSM. (a) Skema VSM , (b) Mesin VSM Model EZ7..... 60
Gambar 3. 19 Loop hysteresis (a)Magnetisasi (b) Induksi Magnet (Vector)..... 62
Gambar 4. 1 Cip GMR (a) tipe AAL024-10E, (b) Modul AG903B-01 70
Gambar 4. 2 Bahan utama untuk sintesis nanopartikel magnetik 71
Gambar 4. 3 Sistem sensor GMR berbasis cip..... 72
Gambar 4. 4 Sketsa medan magnet eksternal Neodymium dan dudukannya 74
Gambar 4. 5 Sketsa sistem akuisisi data 74
Gambar 4. 6 Diagram Blok Fungsional IC AD524 (From : Analog Device Data Sheet) 76
Gambar 4. 7 Proses sintesis. (a) metode kopresipitasi Fe_3O_4 , (b) pelapisan asam oleat..... 78
Gambar 4. 8 Diagram alir proses sintesis kopresipitasi 79
Gambar 4. 9 Diagram alir proses pengukuran pada GMR..... 86
Gambar 4. 10 Limit of Detection dari kurva kalibrasi 89
Gambar 5. 1 Karakterisasi kristalisasi nanopartikel magnetik (a) Fe_3O_4, (b) Fe_3O_4@OA, (c) Fe_3O_4@OA-Glu 92
Gambar 5. 2 Visualisasi morfologi dan distribusi ukuran..... 96

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pengembangan Alat Deteksi Gelatin Berbasis Platform GMR Dengan Menggunakan Fe3O4@Asam Oleat /
Glutaraldehyde Sebagai Pelabel**
Helendra, Prof. Dr. Harsojo, SU., M.Sc ; Prof. Dr.Eng. Edi Suharyadi, S.Si., M.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5. 3 Visualisasi spektrum (a) Fe_3O_4 murni, (b) Fe_3O_4@OA, (c) Fe_3O_4@OA-Glu, (d) Fe_3O_4@OA-Glu-Gelatin 98
Gambar 5. 4 Profil absorpsi UV-Vis (a). NPM serta konjugatnya dengan gelatin, (b). Absorbansi Fe_3O_4 101
Gambar 5. 5 Energi band gap, (a). Fe_3O_4 murni, (b) Fe_3O_4@Asam Oleat 102
Gambar 5. 6 Kurva histeresis M – H..... 104
Gambar 5. 7 Konfigurasi medan magnet permanen : (a) Ilustrasi divergensi lateral, (b) jarak uji kuat medan magnet terhadap posisi magnet 106
Gambar 5. 8 Grafik jarak terhadap kuat medan magnet terdeteksi..... 107
Gambar 5. 9 Penguat instrumentasi AD524..... 107
Gambar 5. 10 Kalibrasi jarak magnet dan cip GMR terhadap tegangan keluaran dengan variasi gain AD524 pada tegangan suplai 5 V, (a) Gain 1, (b) Gain 10, (c) Gain 100, (d) Gain 1000 108
Gambar 5. 11 Rentang linier sensor GMR AAL024 pada suplai 5 V dengan variasi (a). Gain 1, (b). Gain 10, (c). Gain 100, (d). Gain 1000 ..111
Gambar 5. 12 Derivatif tegangan keluaran terhadap medan magnet 112
Gambar 5. 13 Ilustrasi (a) bermacam keadaan sensor, (b) resistansi dan tegangan.....115
Gambar 5. 14 GMR Output deteksi Fe_3O_4.....117
Gambar 5. 15 Perbandingan linearitas pengukuran Fe_3O_4 dengan gain.....118
Gambar 5. 16 Standar deviasi relatif pada varian gain 119
Gambar 5. 17 Sinyal GMR terhadap varian konsentrasi asam oleat..... 121
Gambar 5. 18 (a) Sensitivitas sensor terhadap variasi konsentrasi NPM , (b) Standar deviasi terhadap konsentrasi..... 122
Gambar 5. 19 Rasio GMR pada varian konsentrasi sampel..... 124
Gambar 5. 20 Sinyal keluaran GMR untuk varian gelatin..... 125
Gambar 5. 21 Linearitas keluaran GMR terhadap varian konsentrasi gelatin 127
Gambar 5. 22 Standar deviasi relatif pengamatan pengulangan pengukuran. 128

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pengembangan Alat Deteksi Gelatin Berbasis Platform GMR Dengan Menggunakan Fe3O4@Asam Oleat /
Glutaraldehyde Sebagai Pelabel**
Helendra, Prof. Dr. Harsojo, SU., M.Sc ; Prof. Dr.Eng. Edi Suharyadi, S.Si., M.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Perbandingan karakteristik sensor magnet 2
Tabel 1. 2 Penelitian terkait tentang sintesis Fe_3O_4 dan Fe_3O_4@Asam Oleat..... 9
Tabel 1. 3 Penelitian terkait tentang deteksi NPM berbasis sensor GMR 10
Tabel 1. 4 Perbandingan LoD metode deteksi gelatin..... 10
Tabel 2. 1 Perbandingan kelebihan dan kekurangan metode sisntesis NPM 17
Tabel 4. 1 Alat alat yang dibutuhkan untuk sintesis..... 69
Tabel 4. 2 Alat yang dibutuhkan untuk keperluan sistem sensor 70
Tabel 4. 3 Fungsi Pin Sensor GMR AAL024-10E..... 71
Tabel 4. 4 Variasi konsentrasi gelatin..... 82
Tabel 4. 5 Koefisien korelasi beserta interpretasinya..... 88
Tabel 5. 1 Komparatif performa sensor AAL024 pada tegangan input 5V dengan varian gain.....113
Tabel 5. 2 Standar deviasi relatif (%)..... 120