UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Fabrikasi dan karakterisasi nanokomposit green-synthesized Fe3O4/rGO serta potensinya dalam penanganan limbah methylene blue dan chromium
Larrisa Jestha Mahardhika, Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2024 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

TESIS ..... **i**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **ii**
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ..... **iii**
MOTTO DAN PERSEMBAHAN ..... **iv**
PRAKATA ..... **v**
HALAMAN PERSETUJUAN ..... **vi**
DAFTAR ISI ..... **vii**
DAFTAR GAMBAR ..... **x**
DAFTAR TABEL ..... **xiv**
ABSTRAK ..... **xv**
ABSTRACT ..... **xvi**
BAB I **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 7
1.3 Batasan Masalah 7
1.4 Tujuan Penelitian 7
1.5 Manfaat Penelitian 8
1.6 Sistematika Penelitian 8
BAB II **10**
2.1 *Green synthesis* nanopartikel Fe_3O_4 10
2.2 *Green synthesis reduce Graphene Oxide* (rGO) 13
2.3 Nanokomposit Fe_3O_4/rGO 16
BAB III **20**
3.1 Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) 20
3.2 *Reduce Graphene Oxide* (rGO) 22
3.3 *Green synthesis* 24
3.4 Metode Kopresipitasi 29
3.5 Metode Hummers Termodifikasi 30
3.6 Energi Celah Pita 31
3.7 *Metylene Blue* (MB) 32

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Fabrikasi dan karakterisasi nanokomposit green-synthesized Fe3O4/rGO serta potensinya dalam penanganan limbah methylene blue dan chromium
Larrisa Jestha Mahardhika, Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2024 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.8 *Chromium Hexavalent* (Cr (VI)) 34
3.9 Fotokatalitik 34
3.10 Adsorpsi 36
3.11 Metode Karakterisasi Material 38
3.11.1 *X-Ray Diffractometer* (XRD) 38
3.11.2 *Transmission Electron Microscopy* (TEM) 40
3.11.3 *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) dan *Mapping* 41
3.11.4 *Fourier Transform Infra-red* (FTIR) 43
3.11.5 *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) 44
3.11.6 Spektroskopi Raman 46
3.11.7 *Spectrometer UV-Visible* (UV-Vis) 47
BAB IV 52
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian 52
4.2 Bahan Penelitian 52
4.3 Alat Penelitian 53
4.4 Skema Penelitian 55
4.5 Prosedur Penelitian 56
4.5.1 Sintesis Nanokomposit Fe_3O_4/rGO 56
4.5.2 Pengujian Fotokatalitik 60
4.5.3 Pengujian Adsorpsi 61
4.6 Karakterisasi Material 61
4.6.1 Karakterisasi XRD 61
4.6.2 Karakterisasi TEM 63
4.6.3 Karakterisasi SEM-EDX dan *Mapping* 64
4.6.4 Karakterisasi FTIR 65
4.6.5 Karakterisasi UV-Vis 65
4.6.6 Karakterisasi Raman Spektroskopi 66
4.6.7 Karakterisasi VSM 67
BAB V 69
5.1 Mekanisme Pembentukan Nanopartikel Dengan Menggunakan Metode *Green Synthesis* 69

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Fabrikasi dan karakterisasi nanokomposit green-synthesized Fe3O4/rGO serta potensinya dalam penanganan limbah methylene blue dan chromium
Larrisa Jestha Mahardhika, Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2024 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.1.1 Mekanisme Pembentukan Fe_3O_4 69
5.1.2 Mekanisme Pembentukan rGO 71
5.2 Karakterisasi Nanopartikel Fe_3O_4, rGO, dan nanokomposit Fe_3O_4 /rGO 72
5.2.1 Analisa Morfologi, Struktur dan Komposisi 73
5.2.2 Analisa Gugus Fungsi 78
5.2.3 Analisa Sifat Optik dan Energi Celah Pita 81
5.2.4 Analisa Struktur Kristal 85
5.2.5 Analisa Sifat Kemagnetan 89
5.2.6 Analisa Struktur dan Vibrasi Molekul Tingkat Atom 92
5.3 Aktivitas Fotokatalitik 95
5.3.1 Fotokatalitik MB 95
5.3.2 Fotokatalitik Cr(VI) 104
5.4 Aktivitas Adsorpsi 113
5.4.1 Adsorpsi MB 113
5.4.2 Adsorpsi Cr VI 118
BAB VI 123
6.1 Kesimpulan 123
6.2 Saran 124
DAFTAR PUSTAKA 126

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Fabrikasi dan karakterisasi nanokomposit green-synthesized Fe3O4/rGO serta potensinya dalam penanganan limbah methylene blue dan chromium
Larrisa Jestha Mahardhika, Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2024 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Model struktur kristal invers spinel nanopartikel Fe_3O_4 (Taimoory dkk., 2017) 21
Gambar 3.2 Skema pembentukan turunan graphene (Lesiak dkk., 2021) 23
Gambar 3.3 Skematik metode pendekatan sintesis nanopartikel (Kandiah & Chandrasekaran, 2021)..... 25
Gambar 3.4 Skematik green synthesis (Sajjad dkk., 2018)..... 26
Gambar 3.5 Daun Moringa oleifera (MO) 27
Gambar 3.6 Daun Amaranthus viridis (AV)..... 28
Gambar 3.7 Skema energi celah pita pada material (Fujii, 2016)..... 32
Gambar 3.8 Struktur kimia Methylene Blue (MB) (Murugesan dkk., 2019) 33
Gambar 3.9 Skematik degradasi MB oleh Au/HAp (Mondal dkk., 2017)..... 33
Gambar 3.10 Mekanisme fotodegradasi MB oleh r-GO/Fe_3O_4 (Jiang dkk., 2017) 35
Gambar 3.11 Skematik interaksi adsorben dan adsorbat fisisorption dan chemisorption (Gunawardene dkk., 2022)..... 37
Gambar 3.12 Geometri bidang kisi untuk terjadi difraksi (Nasir dkk., 2008) 38
Gambar 3.13 Skematik TEM (Inkson, 2016)..... 40
Gambar 3.14 Skematik SEM (Inkson, 2016)..... 42
Gambar 3.15 Jenis-jenis vibrasi material menggunakan FTIR (Tamura dkk., 2010) . 44
Gambar 3.16 Kurva histerisis (Xu & Lee, 2021)..... 45
Gambar 3.17 Skematik Spektroskopi Raman (Wan dkk., 2017) 46
Gambar 3.18 Skematik Spektroskopi UV-Vis..... 48
Gambar 3. 19 Jenis Transisi Elektronik 48

Gambar 4.1 Skema Penelitian..... 55
Gambar 4.2 Skematik pembuatan larutan ekstrak MO dan AV 56
Gambar 4.3 Skematik pembuatan nanopartikel Fe_3O_4..... 57
Gambar 4.4 Skematik sintesis rGO..... 58
Gambar 4.5 Skematik sintesis nanokomposit Fe_3O_4/rGO..... 59

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Fabrikasi dan karakterisasi nanokomposit green-synthesized Fe3O4/rGO serta potensinya dalam penanganan limbah methylene blue dan chromium
Larrisa Jestha Mahardhika, Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2024 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 4.6 Hasil XRD nanokomposit Fe_3O_4/rGO (Jiao dkk., 2017) 62
Gambar 4.7 Hasil TEM komposit (a) rGO, (b) Fe_3O_4, dan (c) Fe_3O_4/rGO (FG1) (Minitha dkk., 2018) 64
Gambar 4.8 Hasil SEM dari (a) nanopartikel Fe_3O_4 dan (b) komposit Fe_3O_4@rGO (Li dkk., 2017) 64
Gambar 4.9 Hasil FTIR dari nanokomposit Fe_3O_4/rGO (Jiao dkk., 2017) 65
Gambar 4.10 Hasil Uv-Vis nanopartikel Fe3O4 (Rahman dkk., 2017) 66
Gambar 4.11 Hasil Raman nanokomposit Fe_3O_4/rGO (Jiao dkk., 2017) 67
Gambar 4.12 Kurva histerisis material berbasis Fe_3O_4 (Jannah dkk., 2023) 67

Gambar 5.1 Mekanisme pembentukan Fe_3O_4 menggunakan metode *green synthesis* 71
Gambar 5.2 Mekanisme pembentukan rGO dengan metode *green synthesis* 72
Gambar 5.3 (a) Citra morfologi rGO dan (b) cincin difraksi rGO 73
Gambar 5.4 Citra morfologi, cincin difraksi (a) Fe_3O_4, (b) Fe_3O_4/rGO 5:1, (c) Fe_3O_4/rGO 5:1, dan distribusi partikel (d) Fe_3O_4, (e) Fe_3O_4/rGO 5:1, (f) Fe_3O_4/rGO 5:1 75
Gambar 5.5 Spektrum EDX (a) Fe_3O_4, (b) Fe_3O_4/rGO 5:1 (c) Fe_3O_4/rGO 5:5 dan SEM serta *mapping* unsur dari (e) Fe_3O_4, (f) Fe_3O_4/rGO 5:1 (g) Fe_3O_4/rGO 5:5 77
Gambar 5.6 Spektrum FTIR dari (a) MO, (b) AV, (c) GO, (d) rGO, (e) Fe_3O_4, Fe_3O_4/rGO dengan perbandingan (f) 5:1, (g) 5:2, (h) 5:3, (i) 5:4, dan (j) 5:5. 80
Gambar 5.7 Spektrum absorbansi (a) MO, (b) AV, (c) GO, (d) rGO, (e) Fe_3O_4, Fe_3O_4/rGO dengan perbandingan (f) 5:1, (g) 5:2, (h) 5:3, (i) 5:4, dan (j) 5:5. 82
Gambar 5.8 Grafik *Tauc plot* pada (a) GO, (b) rGO, (c) Fe_3O_4, dan variasi sampel Fe_3O_4/rGO dengan perbandingan (d) 5:1, (e) 5:2, (f) 5:3, (g) 5:4, dan (h) 5:5 83
Gambar 5.9 Pola XRD material grafit, GO, dan rGO 86
Gambar 5.10 Pola XRD (a) Fe_3O_4, dan variasi sampel Fe_3O_4/rGO dengan perbandingan (d) 5:1, (e) 5:2, (f) 5:3, (g) 5:4, dan (h) 5:5 87
Gambar 5.11 Kurva histerisis dari Fe_3O_4, Fe_3O_4/rGO 5:1, dan Fe_3O_4/rGO 5:5 90

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Fabrikasi dan karakterisasi nanokomposit green-synthesized Fe3O4/rGO serta potensinya dalam penanganan limbah methylene blue dan chromium
Larrisa Jestha Mahardhika, Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2024 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.12 *Domain size* dari (a) Fe_3O_4, (b) Fe_3O_4/rGO 5:1, dan (c) Fe_3O_4/rGO 5:5 91
Gambar 5.13 Spektrum Raman GO dan rGO 94
Gambar 5.14 Spektrum absorbansi MB terhadap variasi waktu radiasi pada nanokomposit Fe_3O_4/rGO 5:5 96
Gambar 5.15 Efisiensi degradasi MB menggunakan metode fotokatalitik terhadap (a) waktu radiasi dan (b) variasi konsentrasi nanokomposit Fe_3O_4/rGO..... 98
Gambar 5.16 (a) *pseudo-zero-order kinetic model*, (b) *pseudo-first-order kinetic model*, dan (c) laju degradasi MB dari semua variasi nanokomposit Fe_3O_4/rGO..... 100
Gambar 5.17 Ilustrasi skematik fotokatalitik MB menggunakan nanokomposit Fe_3O_4/rGO 102
Gambar 5.18 Hasil percobaan *reusable* fotokatalis Fe_3O_4/rGO 5:5 selama 180 menit dengan radiasi sinar UV (a) efisiensi reduksi fotokatalitik sebesar MB (b) efisiensi degradasi maksimum pada tiga siklus fotodegradasi 104
Gambar 5.19 Spektrum absorbansi Cr VI dari $K_2Cr_7O_2$ 106
Gambar 5.20 Efisiensi penghilangan logam Cr VI menggunakan metode fotokatalitik terhadap (a) waktu radiasi dan (b) variasi konsentrasi nanokomposit Fe_3O_4/rGO ... 107
Gambar 5.21 a) *pseudo-zero-order kinetic model*, (b) *pseudo-first-order kinetic model*, dan (c) laju degradasi Cr VI dari semua variasi nanokomposit Fe_3O_4/rGO.. 109
Gambar 5.22 Ilustrasi skematik fotokatalitik Cr(VI) menggunakan nanokomposit Fe_3O_4/rGO 111
Gambar 5.23 Hasil percobaan *reusable* fotokatalis Fe_3O_4/rGO 5:5 selama 180 menit dengan radiasi sinar UV (a) efisiensi reduksi fotokatalitik sebesar MB (b) efisiensi degradasi maksimum pada tiga siklus fotodegradasi 113
Gambar 5.24 Spektrum absorbansi MB terhadap variasi waktu adsorpsi menggunakan adsorben Fe_3O_4/rGO 5:5 114
Gambar 5.25 Efisiensi degradasi MB menggunakan metode adsorpsi terhadap (a) waktu dan (b) variasi konsentrasi nanokomposit Fe_3O_4/rGO 116
Gambar 5.26 Ilustrasi mekanisme adsorpsi MB menggunakan nanokomposit Fe_3O_4/rGO 117

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Fabrikasi dan karakterisasi nanokomposit green-synthesized Fe3O4/rGO serta potensinya dalam penanganan limbah methylene blue dan chromium
Larrisa Jestha Mahardhika, Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2024 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.27 Spektrum absorbansi Cr VI terhadap variasi waktu adsorpsi menggunakan adsorben Fe_3O_4/rGO 5:5 119
Gambar 5.28 Efisiensi degradasi MB menggunakan metode adsorpsi terhadap (a) waktu dan (b) variasi konsentrasi nanokomposit Fe_3O_4/rGO 121
Gambar 5.29 Ilustrasi mekanisme adsorpsi Cr VI menggunakan nanokomposit Fe_3O_4/rGO 122