

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 <i>Green synthesis</i> nanopartikel Fe ₃ O ₄	10
2.2 <i>Green synthesis reduce Graphene Oxide</i> (rGO).....	13
2.3 Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /rGO	16
BAB III	20
3.1 Nanopartikel Magnetit (Fe ₃ O ₄).....	20
3.2 <i>Reduce Graphene Oxide</i> (rGO).....	22
3.3 <i>Green synthesis</i>	24
3.4 Metode Kopresipitasi.....	29
3.5 Metode Hummers Termodifikasi.....	30
3.6 Energi Celah Pita.....	31
3.7 <i>Metylene Blue</i> (MB)	32

3.8	<i>Chromium Hexavalent (Cr (VI))</i>	34
3.9	Fotokatalitik.....	34
3.10	Adsorpsi.....	36
3.11	Metode Karakterisasi Material	38
3.11.1	<i>X-Ray Diffractometer (XRD)</i>	38
3.11.2	<i>Transmission Electron Microscopy (TEM)</i>	40
3.11.3	<i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) dan Mapping</i>	41
3.11.4	<i>Fourier Transform Infra-red (FTIR)</i>	43
3.11.5	<i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	44
3.11.6	Spektroskopi Raman	46
3.11.7	<i>Spectrometer UV-Visible (UV-Vis)</i>	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 ₃ O 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 <i>Mapping</i>	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 <i>Green Synthesis</i>	69

5.1.1	Mekanisme Pembentukan Fe ₃ O ₄	69
5.1.2	Mekanisme Pembentukan rGO	71
5.2	Karakterisasi Nanopartikel Fe ₃ O ₄ , rGO, dan nanokomposit Fe ₃ O 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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Model struktur kristal invers spinel nanopartikel Fe ₃ O 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 ₃ O 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 ₃ O ₄	57
Gambar 4.4 Skematik sintesis rGO	58
Gambar 4.5 Skematik sintesis nanokomposit Fe ₃ O ₄ /rGO.....	59

Gambar 4.6 Hasil XRD nanokomposit Fe ₃ O ₄ /rGO (Jiao dkk., 2017)	62
Gambar 4.7 Hasil TEM komposit (a) rGO, (b) Fe ₃ O ₄ , dan (c) Fe ₃ O ₄ /rGO (FG1) (Minitha dkk., 2018)	64
Gambar 4.8 Hasil SEM dari (a) nanopartikel Fe ₃ O ₄ dan (b) komposit Fe ₃ O ₄ @rGO (Li dkk., 2017)	64
Gambar 4.9 Hasil FTIR dari nanokomposit Fe ₃ O ₄ /rGO (Jiao dkk., 2017).....	65
Gambar 4.10 Hasil Uv-Vis nanopartikel Fe ₃ O ₄ (Rahman dkk., 2017).....	66
Gambar 4.11 Hasil Raman nanokomposit Fe ₃ O ₄ /rGO (Jiao dkk., 2017).....	67
Gambar 4.12 Kurva histerisis material berbasis Fe ₃ O ₄ (Jannah dkk., 2023)	67
Gambar 5.1 Mekanisme pembentukan Fe ₃ O ₄ menggunakan metode <i>green synthesis</i>	71
Gambar 5.2 Mekanisme pembentukan rGO dengan metode <i>green synthesis</i>	72
Gambar 5.3 (a) Citra morfologi rGO dan (b) cincin difraksi rGO.....	73
Gambar 5.4 Citra morfologi, cincin difraksi (a) Fe ₃ O ₄ , (b) Fe ₃ O ₄ /rGO 5:1, (c) Fe ₃ O ₄ /rGO 5:1, dan distribusi partikel (d) Fe ₃ O ₄ , (e) Fe ₃ O ₄ /rGO 5:1, (f) Fe ₃ O ₄ /rGO 5:1.....	75
Gambar 5.5 Spektrum EDX (a) Fe ₃ O ₄ , (b) Fe ₃ O ₄ /rGO 5:1 (c) Fe ₃ O ₄ /rGO 5:5 dan SEM serta <i>mapping</i> unsur dari (e) Fe ₃ O ₄ , (f) Fe ₃ O ₄ /rGO 5:1 (g) Fe ₃ O ₄ /rGO 5:5	77
Gambar 5.6 Spektrum FTIR dari (a) MO, (b) AV, (c) GO, (d) rGO, (e) Fe ₃ O ₄ , Fe ₃ O 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 ₃ O ₄ , Fe ₃ O 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 <i>Tauc plot</i> pada (a) GO, (b) rGO, (c) Fe ₃ O ₄ , dan variasi sampel Fe ₃ O 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 ₃ O ₄ , dan variasi sampel Fe ₃ O 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 ₃ O ₄ , Fe ₃ O ₄ /rGO 5:1, dan Fe ₃ O ₄ /rGO 5:5	90

Gambar 5.12 <i>Domain size</i> dari (a) Fe ₃ O ₄ , (b) Fe ₃ O ₄ /rGO 5:1, dan (c) Fe ₃ O 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 ₃ O ₄ /rGO 5:5	96
Gambar 5.15 Efisiensi degradasi MB menggunakan metode fotokatalitik terhadap (a) waktu radiasi dan (b) variasi konsentrasi nanokomposit Fe ₃ O ₄ /rGO.....	98
Gambar 5.16 (a) <i>pseudo-zero-order kinetic model</i> , (b) <i>pseudo-first-order kinetic model</i> , dan (c) laju degradasi MB dari semua variasi nanokomposit Fe ₃ O ₄ /rGO.....	100
Gambar 5.17 Ilustrasi skematik fotokatalitik MB menggunakan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /rGO	102
Gambar 5.18 Hasil percobaan <i>reusable</i> fotokatalis Fe ₃ O 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 ₂ Cr ₇ O ₂	106
Gambar 5.20 Efisiensi penghilangan logam Cr VI menggunakan metode fotokatalitik terhadap (a) waktu radiasi dan (b) variasi konsentrasi nanokomposit Fe ₃ O ₄ /rGO ...	107
Gambar 5.21 a) <i>pseudo-zero-order kinetic model</i> , (b) <i>pseudo-first-order kinetic model</i> , dan (c) laju degradasi Cr VI dari semua variasi nanokomposit Fe ₃ O ₄ /rGO..	109
Gambar 5.22 Ilustrasi skematik fotokatalitik Cr(VI) menggunakan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /rGO	111
Gambar 5.23 Hasil percobaan <i>reusable</i> fotokatalis Fe ₃ O 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 ₃ O ₄ /rGO 5:5	114
Gambar 5.25 Efisiensi degradasi MB menggunakan metode adsorpsi terhadap (a) waktu dan (b) variasi konsentrasi nanokomposit Fe ₃ O ₄ /rGO	116
Gambar 5.26 Ilustrasi mekanisme adsorpsi MB menggunakan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /rGO	117



Gambar 5.27 Spektrum absorbansi Cr VI terhadap variasi waktu adsorpsi menggunakan adsorben Fe ₃ O ₄ /rGO 5:5	119
Gambar 5.28 Efisiensi degradasi MB menggunakan metode adsorpsi terhadap (a) waktu dan (b) variasi konsentrasi nanokomposit Fe ₃ O ₄ /rGO	121
Gambar 5.29 Ilustrasi mekanisme adsorpsi Cr VI menggunakan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /rGO	122