

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN	iv
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
INTISARI	ix
ABSTRACT	
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	9
I.3 Batasan Masalah	10
I.4 Hipotesis Penelitian	10
I.5 Tujuan Penelitian	11
I.6 Manfaat Penelitian	11
I.7 Kebaharuan Penelitian	12
I.8 Tabel Tahapan Penelitian	12
I.9 Penelitian Terkait	14
I.10 Sistematika Penelitian	15
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	17
BAB III LANDASAN TEORI	22
III.1 Sifat Kemagnetan Bahan	22
III.2 Domain Sifat Paramagnetik Fe ₃ O ₄	24
III.3 Struktur Kristal Spinel Ferrit	28
III.4 Interaksi Magnetik Bahan Semikonduktor	29
III.5 Struktur Kristal Nanopartikel Fe ₃ O ₄	31
III.6 Fungsi Langevin	32
III.7 Bahan Semikonduktor	35
III.8 Mekanisme fotokatalis pada Fe ₃ O ₄ /kitosan	36
III.9 Energi Celah Pita	38
III.10 Model Pseudo Orde Pertama	40
III.11 Kitosan	41
III.12 <i>Green Synthesis</i>	44
III.13 Daun Kelor (<i>Moringa Olievera</i>)	47
III.14 Zat Pewarna <i>Methylene Blue</i> (MB)	48
III.15 Kromium (Cr VI)	50
III.16 Doksisisiklin	51
III.17 Metode Kopresipitasi	51
BAB IV METODE PENELITIAN	53
IV.1 Bahan Penelitian	53
IV.2 Alat Penelitian	53
IV.3 Tempat dan Waktu Penelitian	53

IV.4	Tahapan dan Skema Penelitian	54
IV.4.1	Tahapan Penelitian	54
IV.4.2	Skema Penelitian Green Synthesis Nanokomposit Fe ₃ O ₄	55
IV.4.3	Skema Penelitian Green Synthesis Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /kitosan	56
IV.5	Pengujian Aktivitas Fotokatalitik	57
IV.6	Karakterisasi Material	59
IV.6.1	Karakterisasi <i>Diffractometer Sinar-X</i> (XRD)	59
IV.6.2	Karakterisasi <i>Transmission electron Microscopy</i> (TEM)	59
IV.6.3	Karakterisasi <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM)	60
IV.6.4	Karakterisasi <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	61
IV.6.5	Karakterisasi <i>Spektrometer UV-Vis</i>	62
IV.6.6	Karakteristik <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i> (SEM-EDX)	63
IV.6.7	Uji aktivitas fotokatalik	64
BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN	66
V.1	Mekanisme Pembentukan Green Synthesis Nanopartikel Fe ₃ O ₄	66
V.2	Karakterisasi Nanopartikel Fe ₃ O ₄ dan Fe ₃ O ₄ /kitosan	66
V.2.1	Struktur Kristal dan Ukuran Kristalit	66
V.2.2	Analisa Morfologi, Struktur dan Komposisi	72
V.2.3	Analisa Gugus Fungsi	77
V.2.4	Analisa Sifat Optik dan Energi Celah Pita	81
V.2.5	Sifat Kemagnetan Fe ₃ O ₄ , Fe ₃ O ₄ /kitosan	84
V.3	Aktivitas Fotokatalitik	89
V.3.1	Uji Fotokatalitik <i>Methylene Blue</i>	89
V.3.2	Uji Fotokatalitik antibiotik doksisisiklin (DOX)	97
V.3.3	Uji Fotoreduksi logam Cr(VI)	103
V.4	Karakterisasi nanokomposit Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:4) sebelum dan setelah digunakan untuk fotodegradasi	112
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	117
VI.1	Kesimpulan	117
VI.2	Saran	119
	DAFTAR PUSTAKA	111
	LAMPIRAN I	140
	LAMPIRAN II	141
	LAMPIRAN III	143
	LAMPIRAN IV	146
	LAMPIRAN V	148

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Klasifikasi material berdasarkan sifat magnetik	24
Tabel 3.2	Distribusi ion dan momen magnetik pada ferrit	31
Tabel 3.3	Sifat fisik dan magnet Fe ₃ O ₄ (Moacă dkk., 2018, Mihai dkk., 2020)	32
Tabel 3.4	Hasil sintesis nanopartikel dengan metode <i>green synthesis</i> (Ghosh dkk., 2017)	46
Tabel 3.5	Penelitian terbaru terkait sintesis nanopartikel dengan MO	48
Tabel 3.6	Karakteristik MB (Miclescu & Wiklund, 2014)	49
Tabel 4.1	Jenis polutan yang digunakan	57
Tabel 5.1	Komposisi fasa nanopartikel	69
Tabel 5.2	Ukuran kristalit, parameter kisi dan kristalinitas nanopartikel	70
Tabel 5.3	Ukuran kristalit dan parameter kisi beberapa nanopartikel dan nanokomposit yang disintesis dengan ekstrak daun kelor (MO)	73
Tabel 5.4	Hasil analisis spektrum FTIR ekstrak MO, nanopartikel Fe ₃ O ₄	78
Tabel 5.5	Hasil analisis spektrum FTIR kitosan, nanopartikel Fe ₃ O ₄ , dan Fe ₃ O ₄ /kitosan	80
Tabel 5.6	Nilai energi celah pita sampel dengan ukuran partikel yang berbeda	84
Tabel 5.7	Nilai parameter nanopartikel Fe ₃ O ₄ dan Fe ₃ O ₄ /kitosan	85
Tabel 5.8	Perbandingan nilai M_s untuk nanopartikel green-synthesized Fe ₃ O ₄ menggunakan beberapa jenis ekstrak tanaman	86
Tabel 5.9	Sifat magnet nanopartikel Fe ₃ O ₄ dan Fe ₃ O ₄ /kitosan	89
Tabel 5.10	Persentase, laju, dan waktu paruh degradasi MB	94
Tabel 5.11	Persentase, laju, dan waktu paruh degradasi DOX	101
Tabel 5.12	Persentase reduksi, laju, dan waktu paruh dalam reduksi Cr(VI)	107
Tabel 5.13	Nilai energi celah pita sampel sebelum dan setelah digunakan	113
Tabel 5.14	Ukuran kristalit, parameter kisi dan kristalinitas nanopartikel sebelum dan setelah digunakan	114
Tabel 5.15	Hasil analisis spektrum FTIR nanokomposit Fe ₃ O ₄ /kitosan (4:4) sebelum dan setelah digunakan	115

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta-jalan penelitian dari tahun pertama hingga tahun ketiga	13
Gambar 3.1	Model klasik sebuah elektron dengan orbit mengelilingi inti.	22
Gambar 3.2	Kurva magnetisasi versus medan terapan untuk superparamagnetik dan ferrimagnetik nanopartikel Fe ₃ O ₄ , dan (b) hubungan antara ukuran, koersivitas, dan perilaku magnetik (Nguyen dkk., 2021)	24
Gambar 3.3	Fluktuasi spin pada bahan ferromagnetik/ferrimagnetindan superparamagnetik	28
Gambar 3.4	Struktur kristal kubus ferrite (Kotnala dan Shah, 2015)	29
Gambar 3.5	Skema Interaksi pertukaran sub kisi A dan B dengan oksigen Hubungan antara medan koersivitas dengan ukuran partikel (Mathew dan Juang, 2007).	30
Gambar 3.6	Model struktur kristal <i>inverse spinel</i> Fe ₃ O ₄ , (a) Sel satuan kubik terdapat 8 ion besi di situs oktahedral (16d coklat) dan di situs tetrahedral (8a biru), dan oksigen di (32e merah) membentuk <i>cubic close-packed</i> . (b) Skema seperempat sel satu Wyckoff (Lininger dkk., 2018)	32
Gambar 3.7	Magnetisasi spontan oleh medan molekuler	
Gambar 3.8	Pengaruh suhu pada magnetisasi spontan	34
Gambar 3.9	Skema aktivitas fotokatalis TiO ₂ (Wega T., 2014)	36
Gambar 3.10	Mekanisme fotokatalitik Fe ₃ O ₄ /kitosan (sudarmono,2023)	36
Gambar 3.11	Skema energi celah pita pada material (Fujii, 2016)	39
Gambar 3.12	Struktur molekul polimer kitosan (Vunain dkk., 2016)	42
Gambar 3.13	Interaksi antara <i>metylene blue</i> dengan kitosan (Salehi dan Farahani, 2017)	44
Gambar 3.14	Sintesis nanopartikel dengan pendekatan sintesis yang berbeda (J. Singh dkk., 2018)	46
Gambar 3.15	Struktur kimia dari senyawa fenolik yang terdapat pada bagian daun MO (Prabakaran dkk., 2018)	47
Gambar 3.16	Struktur molekul <i>metylene blue</i> (Miclescu dan Wiklund, 2014)	49
Gambar 3.17	Struktur Kimia doksisisiklin (Becheikh, 2024)	51
Gambar 3.18	Sintesis nanopartikel Fe ₃ O ₄ dengan metode kopresipitasi (Samrot dkk., 2021)	52
Gambar 4.1	Ilustrasi tahapan utama dalam pembuatan (a). MO, dan sintesis (b). Fe ₃ O ₄ , (c). Fe ₃ O ₄ /kitosan	54
Gambar 4.2	Diagram alir sintesis Fe ₃ O ₄	56
Gambar 4.3	Diagram alir sintesis nanokomposit Fe ₃ O ₄ /kitosan	58
Gambar 4.4	spektrum difraksi xrd untuk sampel Fe ₃ O ₄ (Niu dan Zheng, 2014)	59

Gambar 4.5	(a–c) TEM images, (d) HRTEM image dari CBO-15, (e) HRTEM images dari MWCNTs dan (f) a-Bi ₂ O ₃ (W. Liu dkk., 2019)	60
Gambar 4.6	kurva histerisis hasil pengujian VSM	61
Gambar 4.7	Spektrum FTIR dari (a) Cdots, (b) Fe ₃ O ₄ /Cdots 10 mL, (c) Fe ₃ O ₄ /Cdots 20 mL, (d) Fe ₃ O ₄ /Cdots 30 mL, dan (e) nanopartikel Fe ₃ O ₄ (Sari dkk., 2023)	62
Gambar 4.8	Analisis plot Tauc dari (a) Fe ₃ O ₄ /Cdots, (b) Fe ₃ O ₄ /Cdots 10 mL, (c) Fe ₃ O ₄ /Cdots 15 mL, (d) Fe ₃ O ₄ /Cdots 20 mL, (e) Fe ₃ O ₄ /Cdots 25 mL, dan (f) Fe ₃ O ₄ /Cdots 30 mL (Sari dkk., 2023).	63
Gambar 4.9	Analisis Pemindaian Mikroskop Elektron (SEM) a) MOF-801 b) MnO ₂ @MOF-801 c) Kitosan/MnO ₂ @MOF-801 d) Gambar pemetaan elemen EDS dari Kitosan/MnO ₂ @MOF-801 (Ishfaq dkk., 2024)	64
Gambar 4.10	Efisiensi reduksi fotokatalitik MB, (b) efek Cdots pada reduksi fotokatalitik (Sari dkk., 2023)	65
Gambar 5.1	Rietveld refinement dari spektrum XRD nanopartikel Fe ₃ O ₄	67
Gambar 5.2	Pola XRD sampel (a) Fe ₃ O ₄ , (b) Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:1), (c) Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:2), (d) Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:3), dan (e) Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:4).	68
Gambar 5.3	Pola difraksi pada bidang (311) sampel (a) Fe ₃ O ₄ , (b) Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:1), (c) Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:2), (d) Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:3), dan (e) Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:4).	70
Gambar 5.4	Citra morfologi dan (b) distribusi ukuran Fe ₃ O ₄	75
Gambar 5.5	Citra morfologi dan (b) distribusi ukuran Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:2)	75
Gambar 3.6	Citra morfologi dan (b) distribusi ukuran Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:4)	75
Gambar 5.7	Cincin difraksi (a) Fe ₃ O ₄ , (b) Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:1), dan (c) Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:4)	76
Gambar 5.8	Spektrum EDX (a) Fe ₃ O ₄ , (c) Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:4) dan SEM serta mapping unsur dari (e) Fe ₃ O ₄ , (f) Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:4) (sudarmono dkk, 2023)	77
Gambar 5.9	Spektrum FTIR (a) ekstrak MO, (b) nanopartikel Fe ₃ O ₄	79
Gambar 5.10	Spektrum FTIR (a) MO (b) kitosan, (c) Fe ₃ O ₄ , (d) Fe ₃ O ₄ /kitosan (4:1), (e) Fe ₃ O ₄ /kitosan (4:2), (f) Fe ₃ O ₄ /kitosan (4:3), dan (f) Fe ₃ O ₄ /kitosan (4:4)	80
Gambar 5.11	Spektra UV-Vis (a) larutan ekstrak MO, (b) nanopartikel	82
Gambar 5.12	Spektra UV-Vis (a) larutan kitosan, (b) nanopartike Fe ₃ O ₄ , (c) Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:1), (d) Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:2), (e) Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:3), dan (f) Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:4).	83
Gambar 5.13	Kurva magnetisasi nanopartikel Fe ₃ O ₄ , Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:2), dan Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:4)	86

Gambar 5.14	Kurva Analisis suhu sekitar SFD, dM/dH sebagai fungsi H untuk nanopartikel Fe ₃ O ₄ , Fe ₃ O ₄ / kitosan (4:2), dan Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:4).	87
Gambar 5.15	Spektrum absorbansi MB terhadap variasi waktu radiasi pada nanokomposit Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:4)	90
Gambar 5.16	Efisiensi degradasi MB menggunakan metode fotokatalitik terhadap (a) waktu radiasi dan (b) variasi masa Fe ₃ O ₄ /kitosan	92
Gambar 5.17	(a) <i>pseudo-zero-order kinetic model</i> , (b) laju degradasi MB dari semua variasi nanokomposit Fe ₃ O ₄ /kitosan	94
Gambar 5.18	Skematik fotokatalitik MB menggunakan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /kitosan (sudarmono dkk, 2023).	95
Gambar 5.19	Hasil percobaan penggunaan kembali 5 kali fotokatalis Fe ₃ O ₄ /kitosan (4:3) selama 80 menit dengan radiasi sinar UV.	97
Gambar 5.20	Spektrum absorbansi DOX terhadap variasi waktu radiasi pada nanokomposit Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:4)	98
Gambar 5.21	Efisiensi degradasi DOX menggunakan metode fotokatalitik terhadap (a) waktu radiasi dan (b) variasi konsentrasi nanokomposit Fe ₃ O ₄ /kitosan	99
Gambar 5.22	(a) <i>pseudo-zero-order kinetic model</i> , (b) laju degradasi DOX dari semua variasi nanokomposit Fe ₃ O ₄ /kitosan	100
Gambar 5.23	Ilustrasi skematik fotokatalitik DOX menggunakan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /kitosan	102
Gambar 5.24	Hasil percobaan reusable fotokatalis Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:4) selama 100 menit, efisiensi degradasi maksimum pada tiga siklus fotodegradasi.	103
Gambar 5.25	Spektrum absorbansi Cr(VI)	104
Gambar 5.26	Efisiensi fotoreduksi logam Cr(VI) (a) waktu radiasi dan (b) variasi konsentrasi nanokomposit Fe ₃ O ₄ /kitosan	105
Gambar 5.27	<i>pseudo-zero-order kinetic model</i> , (b) laju reduksi Cr(VI) dari semua variasi nanokomposit Fe ₃ O ₄ /kitosan	107
Gambar 5.28	Skematik fotoreduksi Cr(VI) menggunakan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /kitosan (sudarmono dkk, 2024).	108
Gambar 5.29	Efek radikal scavenger pada degradasi Cr(VI)	110
Gambar 5.30	Hasil percobaan penggunaan kembali/berulang fotokatalis Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:3) selama 120 menit dengan radiasi sinar UV, efisiensi degradasi maksimum pada tiga siklus fotodegradasi	111
Gambar 5.31	Efisiensi fotoreduksi dan adsorpsi logam Cr(VI)	112
Gambar 5.32	Spektrum serapan UV-Visible dari Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:4) sebelum dan sesudah digunakan	113
Gambar 5.33	Pola XRD sampel Fe ₃ O ₄ /kitosan(4:4) sebelum dan setelah digunakan	115
Gambar 5.34	Spektrum FTIR nanokomposit Fe ₃ O ₄ /kitosan (4:4) sebelum dan setelah dipakai	116