

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iv
PRAKATA	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xiii
INTISARI	xiv
ABSTRACT	xv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
1.6 Sistematika Penelitian	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	9
III. LANDASAN TEORI	19
3.1 Sifat Kemagnetan Material.....	19
3.2 Sifat Superparamagnetik Nanopartikel.....	21
3.3 Nanopartikel Magnetik dan Struktur Spinel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$	24
3.4 Modifikasi SiO_2	26
3.5 Metode Kopresipitasi dan <i>Green Synthesis</i>	29
3.6 <i>Moringa Oleifera</i> (MO).....	31

3.7 Band Gap	33
3.8 Methylene Blue (MB)	35
3.9 Fotokatalis	37
3.10 Chromium Hexavalent (Cr (VI))	38
3.11 Adsorpsi Cr (VI)	40
3.12 Karakterisasi Nanomaterial	41
3.12.1 Difraksi Sinar-X.....	41
3.12.2 Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)	42
3.12.3 Fourier Transform Infra-Red (FTIR)	44
3.12.4 Vibrating Sample Magnetometer (VSM).....	45
3.12.5 Spektrofotometri UV-Visible (UV-Vis)	47
IV. METODE PENELITIAN.....	49
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian	49
4.2 Bahan dan Alat Penelitian	49
4.3 Skema Penelitian	50
4.4 Prosedur Penelitian	51
4.4.1 Sintesis Larutan ekstrak MO	51
4.4.2 Green synthesis nanopartikel NiZnFe ₂ O ₄ dengan metode kopresipitasi	52
4.4.3 Modifikasi green synthesized NiZnFe ₂ O ₄ menggunakan SiO ₂	53
4.4.4 Karakterisasi X-Ray Diffractometer (XRD)	54
4.4.5 Karakterisasi Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX).....	55
4.4.6 Karakterisasi Fourier Transform InfraRed (FTIR)	56
4.4.7 Karakterisasi Vibrating Sample Magnetometer (VSM)	57
4.4.8 Karakterisasi Energi Gap nanopartikel	59
4.4.9 Uji Fotokatalitik.....	59
4.4.10 Uji Adsorpsi.....	61

V. HASIL DAN PEMBAHASAN	63
5.1 <i>Green synthesis</i> Nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$	63
5.2 Karakterisasi <i>nanopartikel</i> $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ dan $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$	65
5.2.1 Analisa struktur kristal dan Ukuran Kristalit	65
5.2.2 Analisa Sifat Optik dan Energi Celah Pita	67
5.2.3 Analisa Gugus Fungsi dan Ikatan Molekul menggunakan FTIR ...	71
5.2.4 Analisis Morfologi Nanopartikel	73
5.2.5 Sifat Kemagnetan Nanopartikel.....	76
5.3 Uji Aktivitas Fotokatalitik <i>green synthesized</i> $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$	78
5.3.1 Mekanisme Fotokatalitik	82
5.3.2 Uji Keberulangan (<i>Reusability</i>)	84
5.4 Aktivitas Adsorpsi	86
5.4.1 Mekanisme Adsorpsi	88
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	90
6.1 Kesimpulan.....	90
6.2 Saran	91
DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN.....	109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Ilustrasi model momen magnetik (a) loop arus elektron (b) momen magnet μ pada loop arus kecil dengan jumlah yang banyak (Blundell, 2001).....	19
Gambar 3.2	Ilustrasi kurva magnetisasi superparamagnetik (Mody dkk., 2013)...	21
Gambar 3.3	Ilustrasi energi nanopartikel magnetik sebagai fungsi dari arah magnetisasi (a) tidak adanya medan magnet eksternal yang diterapkan dan (b) adanya magnet eksternal yang diterapkan (Ionescu dkk., 2019)	22
Gambar 3.4	Energi transisi nanopartikel magnetik dari feromagnetik ke superparamagnetik (Plouffle, 2014)	23
Gambar 3.5	Skema sel penyatuan dari struktur spinel ferit $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ menggunakan perangkat lunak MAUD (Bajorek dkk., 2019)	25
Gambar 3.6	Gambar struktur spinel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ (Ghasemi & Mousavinia, 2014).....	25
Gambar 3.7	Sketsa modifikasi nanopartikel magnetik dengan tipe yang berbeda: (a) material anorganik; (b) molekul organik; (c) ke dalam <i>nanosphere</i> , (d) ke dalam nano capsule (Reddy dkk., 2012).....	27
Gambar 3.8	<i>Tetrahedron silicon-oxygen</i> (SiO_4^{4-}) (Callister Jr & Rethwisch, 2018)	28
Gambar 3.9	Prosedur <i>green synthesis</i> nanopartikel (Deepak dkk., 2019)	31
Gambar 3.10	(a) Pohon <i>Moringa oleifera</i> yang dibudidayakan (b) Daun <i>Moringa oleifera</i> segar (c) Daun <i>Moringa oleifera</i> kering (d) bubuk <i>Moringa oleifera</i> (Cao dkk., 2023).....	32
Gambar 3.11	Diagram skematis transisi elektron dari VB ke CB pada nanokomposit $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ dan $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2\text{-Ag}$ (Naseri dkk., 2020).....	35
Gambar 3.12	Struktur molekul methylene blue (Miculescu & Wiklund, 2010)	36

Gambar 3.13	Mekanisme degradasi molekul MB (Lee dkk., 2015)	36
Gambar 3.14	Mekanisme potensi tepi pita untuk aktivitas fotokatalitik menggunakan ZnFe ₂ O ₄ /SiO ₂ dan ZnFe ₂ O ₄ /SiO ₂ -Ag (Naseri dkk., 2020).....	38
Gambar 3.15	Sumber lingkungan dan antropogenik Cr ⁶⁺ di alam (Bhunia dkk., 2022)	39
Gambar 3.16	Ilustrasi mekanisme adsorpsi Cr (VI) menggunakan Green synthesis SiO ₂ (Mehmood dkk., 2022).....	40
Gambar 3.17	Difraksi sinar-X pada bidang kristal (Callister Jr & Rethwisch, 2018)	41
Gambar 3.18	Skematik (a) SEM dan (b) interaksi <i>sample-beam</i> dalam SEM (Walock, 2012).....	44
Gambar 3.19	Vibrasi regangan simetri dan asimetri (Setiadi, 2013)	45
Gambar 3.20	Kurva histeresis pada material ferro/ferrimagnetik (Suharyadi, 2012)	46
Gambar 4.1	Skema penelitian <i>green synthesis</i> NiZnFe ₂ O ₄ /SiO ₂	50
Gambar 4.2	Sistematika sintesis nanopartikel (a) larutan ekstrak MO (b) <i>green synthesis</i> NiZnFe ₂ O ₄ dengan metode presipitasi (c) modifikasi nanopartikel NiZnFe ₂ O ₄ /SiO ₂	51
Gambar 4.3	Ilustrasi difraksi XRD nanopartikel NiZnFe ₂ O ₄ (Bajorek dkk., 2019).....	55
Gambar 4.4	SEM-EDX mapping nanopartikel NiZnFe ₂ O ₄ (Mohan dkk., 2020) ..	56
Gambar 4.5	Ilustrasi hasil VSM nanopartikel nanopartikel ZnFe ₂ O ₄ dan ZnFe ₂ O ₄ /SiO ₂ (Nejad dkk., 2021)	58
Gambar 4.6	Spektrum absorbansi pengukuran pengukuran Uv-Vis dan grafik <i>tauc</i> plot ZnFe ₂ O ₄ /SiO ₂ (Naseri dkk., 2020)	59
Gambar 4.7	Prosedur fotokatalitik nanopartikel NiZnFe ₂ O ₄ dan NiZnFe ₂ O ₄ /SiO ₂ dengan variasi konsentrasi.....	60
Gambar 4.8	Ilustrasi Uji Adsorpsi.....	61
Gambar 5.1	Mekanisme <i>green synthesis</i> nanopartikel NiZnFe ₂ O ₄	64

Gambar 5.2	Pola XRD untuk <i>green synthesized</i> (a) $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$, dan nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ variasi konsentrasi (b) 10% (c) 20%.....	65
Gambar 5.3	Spektra UV-Vis (a) silika (b) <i>green synthesized</i> $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ dan $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ ((c) 5% (d) 10% (e) 15% (f) 20% (g) 30% dan (h) 50%)	68
Gambar 5.4	Grafik ekstrapolasi linear Tauch celah pita direct untuk nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ (a) 5% (b) 10% (c) 15% (d) 20% (e) 30% (f) 50%	70
Gambar 5.5	Spektrum IR <i>green synthesized</i> $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ (a) 0% (b) 10% (c) 20% dan (d) silika	72
Gambar 5.6	Morfologi permukaan menggunakan SEM pada <i>green synthesized</i> (a) $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ dan (b) $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ 20%.....	74
Gambar 5.7	Diameter partikel pada <i>green synthesized</i> (a) $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ dan (b) $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ 20%	75
Gambar 5.8	Hasil SEM-EDX mapping <i>green synthesized</i> (a) $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ dan (b) $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ 20%	76
Gambar 5.9	Kurva magnetisasi <i>green synthesized</i> $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ (a) 0% (b) 10% (c) 20% dan (d) 30%	76
Gambar 5.10	(a) presentasi degradasi MB (c) model orde ke-nol oleh <i>green synthesized</i> $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ variasi konsentrasi dan (d) visualisasi degradasi (d) presentasi grafik batang degradasi MB	78
Gambar 5.11	Grafik kinetik orde pertama menggunakan (a) <i>langevin fitting</i> dan (b) grafik koefisien laju degradasi nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ variasi konsentrasi	81
Gambar 5.12	Ilustrasi skematik mekanisme fotokatalitik nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$	82
Gambar 5.13	Diagram batang reusabilitas dari nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ konsentrasi 20% selama 3 kali siklus pengulangan	85
Gambar 5.14	Diagram persentase removal Cr (VI) pada nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ konsentrasi 20%.....	87

Gambar 5.15 Ilustrasi skematik mekanisme adsorpsi nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ konsentrasi 20%	88
--	----

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data variasi perbandingan Na_2SiO_3 dengan larutan MO	54
Tabel 4.2	Gugus fungsi nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$	57
Tabel 5.1	Ukuran kristal, parameter kisi dan komposisi fase pada Nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$	66
Tabel 5.2	Nilai energi gap <i>green synthesized</i> $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ modifikasi SiO_2	70
Tabel 5.3	Gugus fungsi dan bilangan gelombang FTIR <i>green synthesized</i> $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ dan $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$	73
Tabel 5.4	Sifat magnet <i>green synthesized</i> $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ variasi konsentrasi SiO_2 .	77
Tabel 5.5	Persentase degradasi, laju degradasi, dan waktu paruh degradasi	80