

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....</b>	<b>iii</b>
<b>MOTO DAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>PRAKATA.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiv</b>
<b>INTISARI.....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
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 Penulisan .....	8
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>9</b>
<b>BAB III LANDASAN TEORI.....</b>	<b>17</b>
3.1 Sifat Material Magnetik dan Kurva Histerisis .....	17
3.2 Klasifikasi Bahan Magnetik .....	20
3.3 Konsep Domain dan Histerisis.....	21
3.4 Sifat Superparamagnetik pada Nanopartikel.....	24

3.5 Kristal <i>Spinel Ferrite</i> .....	26
3.6 Metode Kopresipitasi dan Stober .....	29
3.7 Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) .....	31
3.8 Fotokatalis .....	32
3.9 Methylene Blue (MB).....	39
3.10 Energi Gap.....	42
3.11 Modifikasi $\text{TiO}_2$ .....	45
3.12 Adsorpsi.....	48
3.13 Kromium(VI).....	51
3.14 Karakterisasi Material .....	53
3.14.1 X-Ray Diffraction (XRD) .....	53
3.14.2 Transmission Electron Microscopy (TEM) .....	54
3.14.3 Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR).....	55
3.14.4 Vibrating Sample Magnetometer (VSM).....	57
3.14.5 UV-Visible (UV-Vis).....	58
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>61</b>
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	61
4.2 Bahan dan Alat Penelitian .....	61
4.3 Skema Penelitian .....	64
4.4 Prosedur Penelitian .....	67
4.4.1 Sintesis Nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ dengan Metode Kopresipitasi ...	67
4.4.2 Modifikasi Nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ menggunakan $\text{TiO}_2$ .....	69
4.4.3 Uji Fotokatalis.....	71
4.4.4 Uji Adsorpsi Logam Cr(VI).....	72
4.5 Karakterisasi Nanomaterial .....	72

4.5.1	Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) .....	72
4.5.2	Karakterisasi Transmission Electron Microscopy (TEM) .....	74
4.5.3	Karakterisasi Fourier Transform Infra Red (FTIR) .....	75
4.5.4	Karakterisasi Vibrating Sample Magnetometer (VSM).....	76
4.5.5	Karakterisasi Energi <i>Gap</i> Nanopartikel .....	77
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>78</b>
5.1	Mekanisme Pembentukan Nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ .....	78
5.2	Karakterisasi Nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ .....	80
5.2.1	Struktur Kristal dan Ukuran Kristalit $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .....	80
5.2.2	Analisa Morfologi dan Ukuran Partikel.....	86
5.2.3	Analisa Komposisi Unsur dan Morfologi Permukaan.....	88
5.2.4	Analisa Gugus Fungsi dan Ikatan Molekul.....	90
5.2.5	Analisa Sifat Kemagnetan.....	92
5.2.6	Analisa Sifat Optik dan Energi Celah Pita.....	94
5.3	Aktivitas fotokatalitik nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ terhadap degradasi limbah warna <i>Methylene Blue</i> .....	100
5.3.1	Uji Efisiensi Degradasi.....	100
5.3.2	Mekanisme Fotokatalitik.....	105
5.4	Aktivitas Adsorpsi Nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ Terhadap Penghilangan Limbah Logam Cr(VI).....	107
5.4.1	Uji Efisiensi Penghilangan.....	107
5.4.2	Karakterisasi Gugus Fungsi $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ setelah penggunaan menggunakan FTIR.....	111
5.4.3	Analisis Komposisi Unsur dan Morfologi Permukaan Setelah Adsorpsi .....	113
5.4.4	Uji Keberulangan.....	114
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>118</b>
6.1	Kesimpulan.....	118
6.2	Saran.....	118

<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>120</b>
----------------------------	------------

<b>LAMPIRAN.. ..</b>	<b>135</b>
----------------------	------------

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Kurva Histerisis suatu bahan magnetik.....	19
Gambar 3.2 a) Skema dari domain dalam material ferromagnetik atau ferrimagnetik, panah menunjukkan momen magnetik. Magnetik momen memiliki arah yang sama di suatu domain, arah domain di masing-masing domain berbeda, (b) Perubahan orientasi dipol magnetik dalam dinding domain.....	22
Gambar 3.3 Kurva $B$ versus $H$ untuk material ferromagnetik atau ferrimagnetik yang awalnya tanpa medan magnet luar. Konfigurasi domain selama terjadinya tahapan pergeseran dinding domain.....	23
Gambar 3.4 Respon terhadap medan magnet luar pada partikel magnetik : (a) Partikel magnetik dibawah $T_B$ dan (b) diatas $T_B$ .....	25
Gambar 3.5 Transisi perubahan orientasi spin terhadap energi anisotropi.....	26
Gambar 3.6 Struktur kristal kubik <i>ferrite</i> , (a) posisi ion logam tetrahedral, (b) posisi ion logam oktahedral, (c) struktur <i>spinel</i> . ....	28
Gambar 3.7 Diagram skematik foto-feton dan fotokatalitik.....	35
Gambar 3.8 Mekanisme fotokatalis nanopartikel magnetik $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .....	36
Gambar 3.9 Mekanisme fotokatalis nanopartikel magnetik $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .....	36
Gambar 3.10 Struktur molekul MB. ....	39
Gambar 3.11 Struktur molekul dan spektrum cahaya dari MB.....	40
Gambar 3.12 Diagram skematik degradasi MB oleh Au/HAp.....	42
Gambar 3.13 Skema ilustrasi pita energi nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$ dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .....	43
Gambar 3.14 Ilustrasi modifikasi nanopartikel (a) $\text{ZnFe}_2\text{O}_4@/\text{TiO}_2$ .....	46
Gambar 3.15 Ilustrasi struktur pita energi p-n junction nanopartikel $\text{Znfe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ ...	47
Gambar 3.16 Proses adsorpsi menggunakan adsorben <i>magnetic</i> .....	51

Gambar 3.17 Rumus oksida logam $\text{Cr(VI)}$ .....	53
Gambar 3.18 Difraksi sinar-X pada jarak antar atom $d$ dan sinar datang $\theta$ .....	55
Gambar 3.19 Skema alat TEM. ....	56
Gambar 3.20 Diagram skematik FTIR. ....	58
Gambar 3.21 Prinsip kerja <i>vibrating sample magnetometer</i> (VSM) .....	59
Gambar 3.22 Skema spektrofotometer UV-Vis.....	64
Gambar 4.1 Diagram alir penelitian secara umum. ....	65
Gambar 4.2 Diagram alir penelitian sintesis $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ . ....	66
Gambar 4.3 Diagram alir penelitian sintesis $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ . ....	67
Gambar 4.4 Ilustrasi pembuatan nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ . ....	69
Gambar 4.5 Ilustrasi pembuatan nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .....	71
Gambar 4.6 Diagram skematik alat fotokatalitik. ....	72
Gambar 4.7 Diagram skematik alat adsorpsi .....	72
Gambar 4.8 Ilustrasi difraksi XRD nanokomposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{NiO}$ .....	73
Gambar 4.9 Mikrostruktur dan cincin difraksi hasil TEM.....	74
Gambar 4.10 Ilustrasi hasil FTIR $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dan $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ .....	75
Gambar 4.11 Ilustrasi kurva histerisis hasil pengujian VSM $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ .....	77
Gambar 5.1 Mekanisme pembentukan $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ .....	79
Gambar 5.2 Diagram pertumbuhan nanopartikel.....	80
Gambar 5.3 Spektrum XRD nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ menggunakan metode <i>Rietveld Refinement</i> .....	81
Gambar 5.4 Pola XRD untuk nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ variasi konsentrasi $\text{TiO}_2$ (a) 1:0, (b) 1:1, (c) 1:3.....	82
Gambar 5.5 Pola difraksi bidang 311.....	83

Gambar 5.6 (a) Citra morfologi nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ (b) Distribusi ukuran butir nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ .....	87
Gambar 5.7 Pola cincin difraksi nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ .....	87
Gambar 5.8 Spektrum EDX dan <i>mapping</i> unsur nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ variasi konsentrasi 1:5.....	89
Gambar 5.9 Spektrum IR nanopartikel (a) $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ , (b) $\text{TiO}_2$ , (c) $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ (1:2), dan (c) $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ (1:3).....	91
Gambar 5.10 Kurva Histerisis Nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ Variasi Konsentrasi $\text{TiO}_2$ .....	93
Gambar 5.11 Spektra UV-vis untuk nanopartikel (a) $\text{TiO}_2$ , nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ (b) 1:1, (c) 1:2, (d) 1:3, (e) 1:4, (f) 1:5 dan $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ .....	95
Gambar 5.12 Grafik ekstrapolasi linear Tauch celah pita direct untuk nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4, dan (e) 1:5.....	97
Gambar 5.13 Spektrum absorbansi MB terhadap variasi waktu radiasi dengan nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ (1:2).....	101
Gambar 5.14 (a) Presentasi degradasi MB, (b) model orde ke-nol oleh nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ variasi konsentrasi dan (c) visualisasi degradasi.....	102
Gambar 5.15 Presentasi degradasi limbah warna MB nanokomposit $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ variasi konsentrasi 1:0, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 dan 1:5 ketika terpapar sinar UV selama 30 dan 180 menit.....	103
Gambar 5.16 (a) Grafik kinetik orde pertama (b) koefisien laju degradasi nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ variasi konsentrasi.....	105
Gambar 5.17 Diagram mekanisme fotokatalitik $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .....	106
Gambar 5.18 Skema aktivitas fotokatalitik nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .....	107

Gambar 5.19 Spektrum absorbansi Cr(VI) terhadap variasi waktu radiasi dengan nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ variasi konsentrasi (1:2).....	108
Gambar 5.20 (a) Presentasi <i>removal</i> Cr(VI), (b) visualisasi <i>removal</i> .....	109
Gambar 5.21 Presentasi <i>removal</i> limbah logam Cr(VI) oleh nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ variasi konsentrasi 1:0, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 dan 1:5 ketika terpapar sinar UV selama 20 dan 120 menit.....	110
Gambar 5.22 Ilustrasi skematik mekanisme adsorpsi Cr(VI) menggunakan nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .....	111
Gambar 5.23 Gugus fungsi $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ (1:5) .....	113
Gambar 5.24 (a) Spektrum EDX dan (b) <i>mapping</i> nanokomposit.....	114
Gambar 5.25 Diagram batang reusibilitas dari nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ selama 5 kali siklus pengulangan.....	115



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka. ....	14
Tabel 3.1 Klasifikasi bahan magnetik.....	21
Tabel 3.2 Sifat struktural dan fisik dari fase anatase dan fase rutil $\text{TiO}_2$ .....	31
Tabel 3.3 Hubungan antara cahaya yang diserap dengan warna yang tampak.....	41
Tabel 4.1 Massa prekursor.....	67
Tabel 4.2 Data variasi perbandingan konsentrasi $\text{TiO}_2$ .....	70
Tabel 4.3 Beberapa referensi gugus fungsi molekul dari penelitian yang relevan. .	75
Tabel 5.1 Komposisi fase, jarak antar bidang dan nilai mikrostrain untuk sampel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ dan $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ variasi konsentrasi.....	83
Tabel 5.2 Nilai ukuran kristalit rata-rata dan parameter kisi sampel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ dan $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ variasi konsentrasi.....	84
Tabel 5.3 Radius ionik dan parameter kisi dalam struktur $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ .....	86
Tabel 5.4 Hasil Analisis Gugus Fungsi Uji FTIR.....	91
Tabel 5.5 Nilai $H_c$ , $M_s$ , dan $M_r$ dari nanopartikel $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .....	93
Tabel 5.6 Nilai panjang gelombang UV-Vis.....	95
Tabel 5.7 Energi celah pita sampel.....	98
Tabel 5.8 Presentase degradasi, laju degradasi, dan waktu paruh degradasi.....	14
Tabel 5.9 Hasil analisis spektrum FTIR $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ sebelum dan sesudah digunakan untuk adsorpsi.....	112
Tabel 5.10 Efisiensi degradasi dan laju degradasi untuk pemakaian berulang.....	116