

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....</b>	<b>iii</b>
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>INTISARI .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
1.6 Sistematika Penelitian .....	7
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>9</b>
2.1 <i>Green synthesis</i> Nanopartikel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	9
2.2 <i>Green synthesis</i> Cdots .....	12
2.3 Nanokomposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Cdots .....	15
<b>BAB III. LANDASAN TEORI.....</b>	<b>21</b>
3.1 Nanopartikel Magnetit (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) .....	21
3.2 Sifat Kemagnetan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	23
3.3 Carbon nanodots (Cdots).....	24
3.4 <i>Green synthesis</i> .....	26
3.5 <i>Moringa oleifera</i> (MO) .....	29
3.6 Metode Kopresipitasi .....	30
3.7 Metode Hidrotermal .....	31

3.8 Energi Celah Pita.....	32
3.9 <i>Methylene Blue (MB)</i> .....	33
3.10 Fotokatalitik .....	35
3.11 Adsorpsi .....	37
3.12 <i>Chromium Hexavalent</i> .....	38
3.13 Metode Karakterisasi Material .....	38
3.13.1 <i>X-Ray Diffractometer (XRD)</i> .....	38
3.13.2 <i>Transmission Electron Microscopy (TEM)</i> .....	40
3.13.3 <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray</i> ...	42
3.13.4 <i>Fourier Transform Infra-Red (FTIR)</i> .....	43
3.13.5 <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i> .....	44
3.13.6 Spektrofotometer UV-Visible (UV-Vis) .....	46
3.13.7 <i>Photoluminescence (PL)</i> .....	47
<b>BAB IV METODE PENELITIAN .....</b>	<b>49</b>
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	49
4.2 Bahan Penelitian.....	49
4.3 Alat Penelitian .....	49
4.4 Skema Penelitian .....	51
4.5 Prosedur Penelitian.....	52
4.5.1 Sintesis Larutan MO.....	52
4.5.2 Pembuatan Nanopartikel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> dengan Pendekatan Green Synthesis.....	53
4.5.3 Pembuatan Nanopartikel Cdots dengan Pendekatan Green Synthesis.....	53
4.5.4 Fabrikasi Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Cdots .....	54
4.5.5 Karakterisasi Menggunakan XRD.....	54
4.5.6 Karakterisasi Menggunakan TEM.....	56
4.5.7 Karakterisasi Menggunakan SEM-EDX dan Mapping .....	56
4.5.8 Karakterisasi Menggunakan FTIR .....	58
4.5.9 Karakterisasi Menggunakan VSM .....	59
4.5.10 Karakterisasi Menggunakan UV-Vis .....	60

4.5.11 Karakterisasi Menggunakan PL .....	61
4.5.12 Uji fotokatalitik .....	61
4.5.13 Uji Adsorpsi.....	62
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>64</b>
5.1 Mekanisme Pembentukan Nanopartikel dengan Pendekatan <i>Green Synthesis</i> .....	64
5.1.1 Mekanisme Pembentukan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	64
5.1.2 Mekanisme Pembentukan Cdots .....	66
5.2 Karakterisasi Nanopartikel Cdots, Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , dan nanokomposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Cdots.....	67
5.2.1 Analisa Morfologi dan Komposisi .....	67
5.2.2 Analisa Gugus Fungsi .....	73
5.2.3 Analisa Sifat Optik dan Energi Celah Pita.....	75
5.2.4 Analisa Struktur Kristal.....	79
5.2.5 Analisa Sifat Kemagnetan.....	83
5.3 Aktivitas Fotokatalitik.....	85
5.4 Aktivitas Adsorpsi.....	95
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>101</b>
6.1 Kesimpulan .....	101
6.2 Saran.....	102
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>103</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>119</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1.	Model struktur kristal inverse spinel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> dan spherical Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (Fouad dkk., 2020).....	21
Gambar 3.2.	(a) Kurva histerisis nanopartikel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> dan (b) hubungan antara ukuran, koersivitas, dan sifat kemagnetan (Nguyen dkk., 2021).....	24
Gambar 3.3.	Ilustrasi pembentukan Cdots (Liu dkk., 2019) .....	26
Gambar 3.4.	Metode sintesis nanopartikel (Singh dkk., 2018) .....	28
Gambar 3.5	Mekanisme <i>green synthesis</i> (Sajjad dkk., 2018) .....	29
Gambar 3.6	Daun dan bunga tanaman MO (Patil dkk., 2022).....	30
Gambar 3.7	Ilustrasi <i>autoclave</i> (Yang & Park, 2019).....	32
Gambar 3.8	Diagram skematik keadaan elektronik pada (a) <i>bulk</i> dan (b) nanopartikel (Zhang dkk., 2003) .....	33
Gambar 3.9	Spektrum absorbansi MB (Mondal dkk., 2017) .....	34
Gambar 3.10	Diagram skematik degradasi MB (Zuo dkk., 2014).....	35
Gambar 3.11	Mekanisme fotokatalitik pada Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Cdots (Das dkk., 2019; Sun, 2018).....	36
Gambar 3.12	Ilustrasi mekanisme interaksi adsorben-adsorbat pada (a) adsorpsi fisika dan (b) adsorpsi kimia (Bayu dkk., 2020)....	37
Gambar 3.13	Geometri bidang kisi untuk terjadi difraksi (Epp, 2016).....	39
Gambar 3.14	Gambar (kanan) dan skema (kiri) dari TEM (Tang & Yang, 2017).....	41
Gambar 3.15	Ilustrasi SEM-EDX (Forensics, 2012) .....	42
Gambar 3.16	Ilustrasi jenis-jenis vibrasi (Cameron dkk., 2020).....	44
Gambar 3.17	Kurva hysteresis untuk material ferromagnetik (Lone dkk., 2019).....	45
Gambar 3.18.	Ilustrasi terjadinya PL (Vuong, 2018) .....	48
Gambar 4.1	Skema Penelitian .....	51
Gambar 4.2	Skematik green synthesis nanokomposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Cdots (a) pembuatan larutan ekstrak MO, (b) green synthesis nanopartikel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , (c) green synthesis Cdot, dan (d) Fabrikasi Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Cdots .....	52
Gambar 4.3	Ilustrasi analisis XRD nanokomposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Cdots (Luo dkk., 2019).....	55
Gambar 4.4	Ilustrasi hasil TEM (a) Cdots (Lu dkk., 2018), (b) Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (Mabarroh dkk., 2022), dan (c) Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Cdots (Ghereghlou dkk., 2021).....	56
Gambar 4.5	Ilustrasi hasil (a) <i>mapping</i> dan (b) SEM-EDX (Prajapati & Mondal, 2022) .....	57
Gambar 4.6	Ilustrasi hasil pengujian FTIR dari nanopartikel magnetik/Cdots (Yousefinejad dkk., 2017).....	59
Gambar 4.7	Ilustrasi hasil Pengujian VSM dari nanopartikel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> dan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @Cdots (Ghereghlou dkk., 2021).....	60

Gambar 4.8	Ilustrasi (a) hubungan antara panjang gelombang serapan, eksitasi, dan emisi, dan (b) spektrum PL pada Cdots (Lu dkk., 2018).....	61
Gambar 4.9	<i>Chamber</i> Fotokatalitik.....	62
Gambar 5.1	Mekanisme pembentukan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> dengan metode <i>green synthesis</i> .....	66
Gambar 5.2	Mekanisme pembentukan Cdots dengan metode <i>green synthesis</i> .....	67
Gambar 5.3	(a) Citra morfologi dan (b) distribusi ukuran Cdots.....	68
Gambar 5.4	(a) Citra morfologi, cincin difraksi, dan (b) distribusi ukuran dari Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> serta (c) Citra morfologi, cincin difraksi, dan (d) distribusi ukuran dari FO/C10.....	69
Gambar 5.5	(a) Spektrum EDX dan (b) <i>mapping</i> unsur dari Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	70
Gambar 5.6	(a) Spektrum EDX dan (b) <i>mapping</i> unsur dari FO/C10 serta (c) Spektrum EDX dan (d) <i>mapping</i> unsur dari FO/C30.....	71
Gambar 5.7	Spektrum FTIR dari (a) Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , (b) FO/C10, (c) FO/C15, (d) FO/C20, (e) FO/C25, (f) FO/C30, dan (g) Cdots.....	74
Gambar 5.8	Spektrum absorbansi (a) Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , (b) FO/C10, (c) FO/C15, (d) FO/C20, (e) FO/C25, (f) FO/C30, dan (g) Cdots.....	76
Gambar 5.9	Grafik Tauc plot (a) Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (Inset: Cdots), (b) FO/C10, (c) FO/C15, (d) FO/C20, (e) FO/C25, dan (f) FO/C30.....	77
Gambar 5.10	Spektrum <i>photoluminescence</i> (a) Cdots dan FO/C10, (b) Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> dan semua variasi konsentrasi nanokomposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Cdots..	78
Gambar 5.11	<i>Rietveld refinement</i> dari spektrum XRD Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	79
Gambar 5.12	Pola XRD sampel (a) Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , (b) FO/C10, (c) FO/C20, dan (d) FO/C30.....	80
Gambar 5.13	Pola difraksi pada bidang (311) sampel (a) Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , (b) FO/C10, (c) FO/C20, dan (d) FO/C30.....	82
Gambar 5.14	Kurva histerisis nanopartikel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> dan nanokomposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Cdots variasi konsentrasi.....	84
Gambar 5.15	(a) Spektrum absorbansi MB terhadap variasi waktu radiasi dan (b) visualisasi degradasi.....	85
Gambar 5.16	Efisiensi degradasi MB terhadap (a) variasi waktu radiasi dan (b) variasi konsentrasi nanokomposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Cdots.....	87
Gambar 5.17	(a) Orde nol dan (b) orde-pertama model kinetik Langmuir-Hinshelwood, serta (c) laju degradasi MB oleh nanokomposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Cdots.....	89
Gambar 5.18	Ilustrasi skematik fotokatalisis MB menggunakan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Cdots.....	91
Gambar 5.19	Efek <i>radical scavenger</i> pada fotokatalisis MB menggunakan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Cdots.....	92
Gambar 5.20	Efisiensi degradasi maksimum dalam tiga siklus fotodegradasi.....	93
Gambar 5.21	(a) Spektrum SEM-EDX, (b) <i>Mapping analysis</i> , dan (c) spektrum FTIR dari FO/C25 setelah digunakan.....	94

Gambar 5.22	Spektrum absorbansi Cr(VI) terhadap variasi waktu adsorpsi menggunakan FO/C10.....	95
Gambar 5.23	Pengaruh pH terhadap efisiensi penghilangan Cr(VI) menggunakan FO/C10.....	96
Gambar 5.24	(a) Efisiensi penghilangan logam Cr(VI) terhadap (a) waktu adsorpsi dan (b) variasi sampel .....	98
Gambar 5.25	Ilustrasi skematik mekanisme adsorpsi Cr(VI) menggunakan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Cdots .....	99
Gambar 5.26	(a) Spektrum SEM-EDX, (b) <i>Mapping analysis</i> , dan (c) spektrum FTIR dari FO/C10 setelah adsorpsi .....	100

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Sifat fisikokimia Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (Mihai dkk., 2020) .....	22
Tabel 3.2 Penelitian terkait sintesis nanopartikel menggunakan MO.....	30
Tabel 4.1 Data variasi antara Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> dan Cdots .....	54
Tabel 4.2 Gugus fungsi nanokomposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Cdots .....	58
Tabel 5.1 Hasil analisis spektrum FTIR.....	75
Tabel 5.2 Komposisi fasa nanopartikel.....	81
Tabel 5.3 Ukuran kristalit, parameter kisi, dan kristalinitas nanopartikel ...	83
Tabel 5.4 Sifat kemagnetan nanopartikel dan nanokomposit .....	84
Tabel 5.5 Persentase, laju, dan waktu paruh degradasi.....	90