

DAFTAR ISI

JUDUL TESIS	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
INTISARI.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Batasan Masalah.....	8
1.4 Tujuan Penelitian.....	8
1.5 Manfaat Penelitian.....	8
1.6 Sistematika Penelitian	9
BAB II.....	10
TINJAUAN PUSTAKA	10
BAB III	16
LANDASAN TEORI.....	16
3.1 Nanopartikel ZnO.....	16
3.2 Nanopartikel CoFe ₂ O ₄	21
3.3 Nanopartikel <i>Core-Shell</i>	26
3.4 Kemagnetan Material	33
3.5 Zat Pewarna Metilen Biru (MB)	39
3.6 Proses Aktivitas Fotokatalitik	43
3.7 Karakterisasi Nanomaterial	50
3.7.1 Diffraksi Sinar-X (XRD).....	50

3.7.2 <i>Transmission Electron Microscopy</i> (TEM)	52
3.7.3 <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM)	53
3.7.4 <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	55
3.7.5 Spektrofotometri UV-Visible (UV-Vis)	57
BAB IV	59
METODE PENELITIAN	59
4.1 Alat Penelitian	59
4.2 Bahan Penelitian	60
4.3 Tempat dan Waktu Penelitian	60
4.4 Skema Peneltian	61
4.5 Tahap Pelaksanaan Penelitian	62
4.5.1 Sintesis Nanopartikel CoFe ₂ O ₄	62
4.5.2 Sintesis Nanopartikel <i>Core-Shell</i> CoFe ₂ O ₄ @ZnO	62
4.5.3 Karakterisasi <i>Diffractometer</i> Sinar-X (XRD)	63
4.5.4 Karakterisasi <i>Transmission Electron Microscopy</i> (TEM)	64
4.5.5 Karakterisasi <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM)	64
4.5.6 Karakterisasi <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR)	65
4.5.7 Karakterisasi Energi Celah Pita Nanopartikel	66
4.5.8 Uji Aktivitas Fotokatalis	66
BAB V	69
HASIL DAN PEMBAHASAN	69
5.1 Pengaruh Konsentrasi ZnO Pada Nanopartikel <i>Core-Shell</i> CoFe ₂ O ₄ @ZnO Terhadap Karakteristik Sifat Bahan	69
5.1.1 Analisis Struktur Kristal	69
5.1.2 Analisis Morfologi	74
5.1.3 Analisis Sifat Magnetik	77
5.1.4 Analisis Optik Gugus Fungsi	81
5.1.5 Analisis Optik Energi Celah Pita	85
5.2 Pengaruh Konsentrasi ZnO Pada Nanopartikel <i>Core-Shell</i> CoFe ₂ O ₄ @ZnO Terhadap Aktivitas Fotokatalitik	90
5.2.1 Uji Efisiensi Degradasi	90

5.2.2 Uji Keberulangan (<i>reusability</i>).....	98
BAB VI	103
KESIMPULAN DAN SARAN	103
6.1 Kesimpulan.....	103
6.2 Saran.....	104
DAFTAR PUSTAKA	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Citra morfologi TEM dan SEM dari nanopartikel ZnO (Vaseem, Umar dan Hahn 2010).....	17
Gambar 3. 2 Citra morfologi TEM dan pertumbuhan (a) <i>nanowire/nanorods</i> dan (b) <i>nanobelt</i> (Wang 2004)	18
Gambar 3. 3 Citra morfologi TEM dan ilustrasi polarisasi dari ZnO (a) <i>nanoring</i> , (b) <i>nanospiral</i> dan (c) <i>nanohelix</i> (Wang 2004).....	19
Gambar 3. 4 Citra morfologi TEM dan pertumbuhan (a) <i>nanocomb/nanosaw</i> (b) pada bidang-bidang ZnO (Wang 2004).....	20
Gambar 3. 5 Struktur wurtzite dengan koordinasi tetrahedral dari ZnO yang membentuk <i>hexagonal</i> unit sel (Vaseem, Umar, dan Hahn 2010; Wang 2004)	20
Gambar 3. 6 Konfigurasi struktur <i>spinel ferrite</i> dengan subruang (a) tetrahedral dan (b) oktahedral di dalam (c) satu unit sel (Cullity 2008)	22
Gambar 3. 7 Konfigurasi struktur <i>invers spinel ferrite</i> (Houshiar dkk. 2014).....	23
Gambar 3. 8 Interaksi <i>exchange</i> (a) antara ion logam dari MFe ₂ O ₄ (M:Co) dan (b) antar situs A dan B dari <i>invers spinel cubic</i> (Cullity 2008).....	25
Gambar 3. 9 Ilustrasi interaksi <i>indirect exchange</i> dari (a) <i>double-exchange</i> dan (b) <i>superexchange</i> pada nanopartikel Fe ³ O ⁴ (Fauzi 2017).....	26
Gambar 3. 10 Ilustrasi fabrikasi nanopartikel (a) Fe ₃ O ₄ (b) ZnO dan (c) Fe ₃ O ₄ @ZnO (Wang dkk. 2016)	27
Gambar 3. 11 Ilustrasi fabrikasi nanopartikel Fe ₃ O ₄ @ZnO, Fe ₃ O ₄ @SiO ₂ @ZnO dan Fe ₃ O ₄ @SiO ₂ @APTES@ZnO (Atla dkk. 2018)	28
Gambar 3. 12 Citra morfologi TEM dari nanopartikel core-shell (a) Fe ₃ O ₄ @ZnO (Ghanbarnezhad dkk. 2017) dan (b) CoFe ₂ O ₄ @ZnO (Borgohain dkk. 2012)	28
Gambar 3. 13 Citra morfologi SEM dari nanopartikel (a) Cu ₂ O (b)Cu ₂ O@ZnO dan TEM dari nanopartikel (c) Cu ₂ O@ZnO (Zhang dkk. 2018).....	30
Gambar 3. 14 Citra morfologi TEM dan HRTEM dari nanopartikel (a) α -Fe ₂ O ₃ dan (b) α -Fe ₂ O ₃ @ZnO (Yan, Fan, dan Yang 2011).....	30

Gambar 3. 15 Ilustrasi struktur kristal nanopartikel <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @ZnO (Zhang dkk. 2009)	30
Gambar 3. 16 Ilustrasi struktur pita energi <i>heterojunction</i> dari nanopartikel <i>core-shell</i> (a) CoFe ₂ O ₄ @ZnO (Borgohain dkk. 2012) dan (b) α -Fe ₂ O ₃ @ZnO (Zhang dkk. 2017)	33
Gambar 3. 17 Ilustrasi struktur pita energi p-n <i>junction</i> dari nanopartikel <i>core-shell</i> CuO/ZnO (Diao dkk. 2018)	33
Gambar 3. 18 (a) Domain dan (b) dinding domain momen magnet (Callister 2006)	38
Gambar 3. 19 Kurva hysteresis (Nasirpouri dan Nogaret 2010)	38
Gambar 3. 20 (a) Struktur molekul (Yu dan Chuang 2008) dan (b) Spektum serapan cahaya dari MB (Mondal dkk. 2017)	41
Gambar 3. 21 (a) Diagram skematik degradasi MB oleh Au/HAp (Mondal dkk. 2017) dan (b) Demetilasi molekul MB oleh MnO ₂ (Zhou dkk. 2019)	42
Gambar 3. 22 Diagram skematik foto-feton dan fotokatalitik (Srinivas dan Devi 2018)	45
Gambar 3. 23 Mekanisme fotokatalitik dari CoFe ₂ O ₄ /ZnO/Ag (Ferdosi dkk. 2019) ...	46
Gambar 3. 24 Grafik dari <i>linier fitting</i> model <i>first-order kinetic</i> dan <i>second-order kinetic</i> (Taufik dkk. 2018)	49
Gambar 3. 25 (a) Skema dasar spektrometer sinar-X dan (b) ilustrasi difraksi pada bidang kristal (Cullity dan Stock 2001)	50
Gambar 3. 26 (a) Alat instrument dan skema dasar TEM (Fultz dan Howe 2013) dan (b) Ilustrasi difraksi elektron (Williams dan Carter 2009)	52
Gambar 3. 27 (a) Diagram skema VSM dan (b) VSM dengan motor linier (Cullity 2008)	54
Gambar 3. 28 Skema rangkaian alat spektrofotometer FTIR (Pavia dkk 2009)	56
Gambar 3. 29 Diagram skema spektrofotometer UV-Vis sinar tunggal (McMahon 2007)	58
Gambar 4. 1 Skema Penelitian	61
Gambar 4. 2 Diagram skematik reaktor fotokatalitik	68
Gambar 5. 1 Spektrum XRD nanopartikel <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @5ZnO menggunakan metode Rietveld Refinement	69

Gambar 5. 2 Spektrum XRD nanopartikel (a) ZnO (b) CoFe ₂ O ₄ (CFO) dan <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @ZnO dengan variasi molar (c) 1:2 (d) 1:3 (e) 1:4 (f) 1:5.....	70
Gambar 5. 3 Spektrum XRD nanopartikel <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @5ZnO.....	71
Gambar 5. 4 Ilustrasi kisi <i>heteroepitaxial</i> dengan bidang Miller <i>mismatch</i>	74
Gambar 5. 5 Citra morfologi nanopartikel (a) CoFe ₂ O ₄ dan (b) <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @5ZnO	74
Gambar 5. 6 Distribusi ukuran butir nanopartikel <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @5ZnO.	76
Gambar 5. 7 Cincin difraksi nanopartikel (a) CoFe ₂ O ₄ dan (b) <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @5ZnO	76
Gambar 5. 8 Kurva histerisis dari nanopartikel CoFe ₂ O ₄ dan nanopartikel <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @ZnO dengan variasi molar 1:2, 1:3, 1:4, dan 1:5	79
Gambar 5. 9 Nilai koersivitas dan magnetisasi saturasi terhadap konsentrasi rasio molar ZnO pada nanopartikel <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @ZnO	80
Gambar 5. 10 Spektrum FTIR nanopartikel (a) ZnO, (b) CoFe ₂ O ₄ , dan <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @ZnO variasi rasio molar (c) 1:2, (d) 1:3, (e) 1:4, (f) 1:5	82
Gambar 5. 11 Ilustrasi ikatan atom M-O sebelum dan sesudah adanya atom Zn.....	84
Gambar 5. 12 Spektrum UV-Vis nanopartikel <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @ZnO.....	85
Gambar 5. 13 Tauch plot dengan ekstrapolasi linier untuk celah pita <i>direct</i> dan <i>indirect</i> dari nanopartikel <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @2ZnO	87
Gambar 5. 14 Grafik ekstrapolasi linier Tauch nanopartikel <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @ZnO	88
Gambar 5. 15 Spektrum absorbansi MB terhadap variasi waktu radiasi	91
Gambar 5. 16 Persentase degradasi MB dari nanopartikel (a) ZnO, <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @ZnO variasi rasio molar (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4, dan (e)1:5 ...	91
Gambar 5. 17 Degradasi MB model orde-nol dari nanopartikel (a) ZnO, <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @ZnO variasi rasio molar (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4, dan (e)1:5 ...	94
Gambar 5. 18 Grafik linier fitting model orde-pertama dan laju degradasi (Kapp) dari nanopartikel <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @ZnO variasi rasio molar	95
Gambar 5. 19 Grafik hubungan antara persentase degradasi dengan ukuran partikel dan energi celah pita nanopartikel <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @ZnO variasi rasio molar (a) 1:2, (b) 1:3, (c) 1:4, dan (d) 1:5.....	95

Gambar 5. 20 Ilustrasi diagram skematik aktivitas fotokatalitik nanopartikel core-shell $\text{CoFe}_2\text{O}_4@ \text{ZnO}$	97
Gambar 5. 21 Persentase degradasi MB dari nanopartikel core-shell $\text{CoFe}_2\text{O}_4@ \text{ZnO}$ terhadap pemakaian pertama (1^{st}), pemakaian berulang pertama (R1), kedua (R2), dan ketiga (R3).....	99
Gambar 5. 22 Laju degradasi (K_{app}) pemakaian pertama (1^{st}), pemakaian berulang pertama (R1), kedua (R2), dan ketiga (R3) dari nanopartikel core-shell $\text{CoFe}_2\text{O}_4@ \text{ZnO}$ variasi (a) 1:2, (b) 1:3, (c) 1:4, dan (d) 1:5	100

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Aplikasi fotokatalitik dari CoFe ₂ O ₄ @ZnO untuk degradasi limbah.	14
Tabel 3. 1 Sifat dan karakteristik dari nanopartikel ZnO (Vaseem dkk. 2010)	17
Tabel 3. 2 Klasifikasi material berdasarkan sifat magnetik.	37
Tabel 3. 3 Hubungan antara cahaya yang diserap dengan warna yang tampak.	41
Tabel 3. 4 Hukum laju diferensial orde nol, pertama, dan kedua.	48
Tabel 4. 1 Data variasi rasio molar antara CoFe ₂ O ₄ dan ZnO	63
Tabel 4. 2 Gugus fungsi nanopartikel <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @ZnO	65
Tabel 5. 1 Nilai jarak antar bidang, strain, dan bidang Miller <i>mismatch</i>	72
Tabel 5. 2 Nilai parameter kisi dan ukuran kristalit	73
Tabel 5. 3 Nilai koersivitas, magnetisasi saturasi, dan magnetisasi remanen	80
Tabel 5. 4 Gugus fungsi nanopartikel ZnO, CoFe ₂ O ₄ , <i>core-shell</i> CoFe ₂ O ₄ @ZnO	82
Tabel 5. 5 Panjang gelombang dan energi celah pita	87
Tabel 5. 6 Persentase degradasi, laju degradasi, dan waktu paruh degradasi	92
Tabel 5. 7 Persentase degradasi dari pemakaian berulang	100
Tabel 5. 8 Laju degradasi dari pemakaian berulang	102