

**SKRIPSI**

***GREEN SYNTHESIS ZnO/TiO<sub>2</sub> BERBASIS EKSTRAK DAUN KACANG  
KALOPO (*Calopogonium mucunoides*) UNTUK MENINGKATKAN  
EFEKTIVITAS FOTODEGRADASI CONGO RED***

**Disusun dan diajukan oleh**

**ERVIANI RUSMAN**

**H021 17 1304**



**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2021**

**GREEN SYNTHESIS ZnO/TiO<sub>2</sub> BERBASIS EKSTRAK DAUN KACANG  
KALOPO (*Calopogonium mucunoides*) UNTUK MENINGKATKAN  
EFEKTIVITAS FOTODEGRADASI CONGO RED**

**SKRIPSI**

*Diajukan sebagai Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
pada Program Studi Fisika Departemen Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin*

**ERVIANI RUSMAN**

**H021171304**

**DEPARTEMEN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2021**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**GREEN SYNTHESIS ZnO/TiO<sub>2</sub> BERBASIS EKSTRAK DAUN KACANG  
KALOPO (*Calopogonium mucunoides*) UNTUK MENINGKATKAN  
EFEKTIVITAS FOTODEGRADASI CONGO RED**

**Disusun dan diajukan oleh:**

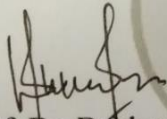
**ERVIANI RUSMAN**

**H021 17 1304**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 09 Maret 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

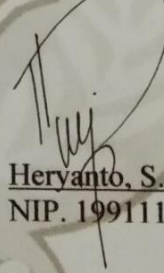
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



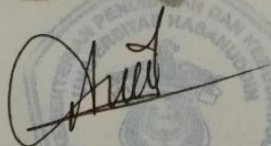
Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.  
NIP. 197509072000031006

Pembimbing Pendamping,



Heryanto, S.Si, M.Si.  
NIP. 199111292020053001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Arifin, M.T.  
NIP. 196705201994031002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Erviani Rusman  
NIM : H021171304  
Program Studi : Fisika  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

***Green Synthesis ZnO/TiO<sub>2</sub> Berbasis Ekstrak Daun Kacang Kalopo  
(Calopogonium mucunoides) untuk Meningkatkan Efektivitas Fotodegradasi  
Congo Red***

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau seluruh skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 09 Maret 2021

Yang Menyatakan

  
  
Erviani Rusman

## ABSTRAK

Komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> telah berhasil disintesis menggunakan metode *green synthesis* dengan variasi suhu kalsinasi 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C untuk konsentrasi TiO<sub>2</sub> yang berbeda (2,5 g dan 5 g) dalam aplikasi fotokatalis pada *congo red*. Pada penelitian ini, ekstrak daun kacang kalopo (*Calopogonium mucunoides*) digunakan sebagai agen pereduksi dan penstabil. Sintesis komposit dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, dan spektroskopi UV-Vis. Spektrum XRD menunjukkan fase heksagonal dengan struktur *wurtzite* dari ZnO dan fase anatase TiO<sub>2</sub>. Kinerja fotokatalis terbaik ditunjukkan oleh sampel ZnO/TiO<sub>2</sub> (5 g) dengan suhu kalsinasi 800°C yang dapat mendegradasi *congo red* hingga 98,26% hanya dalam waktu 10 menit.

**Kata Kunci :** *Green Synthesis*, Komposit ZnO/TiO<sub>2</sub>, Degradasi Fotokatalis, *Congo red*.

## ABSTRACT

Composite ZnO/TiO<sub>2</sub> have been successfully synthesized by green synthesis method with various temperature 500°C, 600°C, 700°C, and 800°C for different concentrations of TiO<sub>2</sub> (2,5 g and 5 g) for photocatalyst of congo red application. In this study, *Calopogonium mucunoides* leaf extract was used as reducing and stabilizing agent. The synthesized composites were characterized by using Fourier Transform Infra-Red (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), and UV-Visible spectroscopy. The XRD spectra shows the hexagonal phase with wurtzite structure of ZnO and anatase for TiO<sub>2</sub>. The best degradation performance for ZnO/TiO<sub>2</sub> (5 g) with calcination temperature is 800°C which removed over 98,26% of congo red only for 10 minutes.

**Keywords :** Green Synthesis, Composite ZnO/TiO<sub>2</sub>, Photocatalytic Degradation, Congo Red.

## KATA PENGANTAR



Segala puji bagi Allah SWT Yang Maha Kuasa yang senantiasa mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya di seluruh alam semesta. Shalawat serta salam kepada Rasulullah, Muhammad SAW senantiasa terucap, Nabi yang menjadi panutan dalam berakhlak mulia. Rasa syukur atas segala kesempatan dan kesehatan yang masih diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul: “**Green Synthesis ZnO/TiO<sub>2</sub> Berbasis Ekstrak Daun Kacang Kalopo (*Calopogonium mucunoides*) untuk Meningkatkan Efektivitas Fotodegradasi Congo Red**”, yang menjadi salah satu syarat kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Departemen Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin. Hal-hal terkait topik penelitian yang tercantum dalam skripsi ini diharapkan dapat menjadi salah satu inovasi dalam perkembangan teknologi dan sains yang ramah lingkungan di Indonesia.

Penulis telah melalui suka dan duka mulai dari proses penentuan topik, penelitian, sampai pada tahap penyusunan skripsi. Namun atas kehendak-Nya dan dukungan dari banyak pihak membuat penulis selalu termotivasi dan tidak pernah putus asa dalam proses penyelesaian studi S1 dalam bidang Fisika di Universitas Hasanuddin. Oleh sebab itu, penulis sangat bersyukur atas segala bentuk dukungan kepada penulis walau sekecil apapun patutlah penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya. Pada kesempatan ini, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini:

1. Orang tua tercinta, ibunda **Saharia** dan ayahanda **Rusman** yang senantiasa mendoakan, memberikan nasehat, menjadi sumber semangat dan motivasi penulis untuk selalu melakukan yang terbaik saat mengerjakan sesuatu.
2. **Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si** sebagai pembimbing utama penulis, kepala laboratorium material dan energi, serta sebagai seorang guru yang senantiasa memberikan arahan, ilmu yang bermanfaat, nasehat, dan motivasi selama ini.

3. Bapak **Heryanto, S.Si, M.Si** sebagai pembimbing pertama yang senantiasa memberikan arahan, dukungan, nasehat, saran, dan bantuan dalam penulisan skripsi.
4. **Prof. Dr. Sri Suryani, DEA** dan **Prof. Dr. Arifin, M.T** selaku dosen penguji yang telah memberikan nasehat dan saran yang sangat membangun dalam penulisan skripsi yang lebih baik.
5. **Prof. Dr. Paulus Lobo Gareso, M.Sc** sebagai penasehat akademik (PA) yang senantiasa memberikan motivasi, nasehat, arahan, dan bimbingan kepada penulis selama menempuh studi.
6. **Prof. Dr. Arifin, M.T** sebagai ketua Departemen Fisika, Universitas Hasanuddin yang senantiasa memberikan ilmu dan dukungan selama penulis menjalani studi hingga penyelesaian skripsi ini.
7. Seluruh **Dosen FMIPA**, khususnya kepada seluruh **Dosen Departemen Fisika** yang telah ikhlas dan senantiasa membimbing dan mengajarkan ilmu fisika yang bermanfaat kepada penulis dan insyaAllah menjadi bekal ilmu yang bermanfaat bagi kehidupan penulis.
8. Seluruh **Pegawai Departemen Fisika, FMIPA** yang selalu membantu penulis dalam proses pengurusan administrasi dari awal perkuliahan sampai pada penyusunan berkas akhir studi.
9. Kakak-kakak lulusan Magister maupun yang masih menempuh studi Magister Fisika, Universitas Hasanuddin: **Kak Inayatul Mutmainna, S.Si, M.Si., Kak Sultan Ilyas, S.Si, M.Si., Kak Muhammad Angga Anugrah, S.Si, M.Si., dan Kak Nurul Awaliyah Muhammad** yang senantiasa memberikan bantuan selama proses penelitian, pengolahan data, berbagi ilmu, dukungan, dan memberikan hiburan serta selalu menyemangati.
10. Teman-teman seperjuangan **Fisika Angkatan 2017** yang selalu menemani dalam suka maupun duka dunia perkuliahan, semangat untuk semua semoga silaturahmi selalu terjaga dan tetap semangat.
11. Seluruh anggota **Laboratorium Material dan Energi Angkatan 2017: Nurul Fauziah, Andi Tessi Woja Tenri Ola, Asni Damayanti, Siti Hajar, Sitti Rahmah Fauziah** yang juga menjadi teman penelitian, **Ahmad Nurul Fahri** yang membantu dalam perbaikan penulisan skripsi, **Roni Rahmat** yang membantu dalam pengurusan sampel FTIR, serta **Mutmainna, Fitria**



**Hamza Lahu, Nova Marliana, Maysarah A. Malarangi, Ardiansyah** dan **Muh. Syahril G** yang kadang menjadi penghibur di laboratorium.

12. **Fikhri Astina Tasmara** sebagai teman revisi skripsi dan teman mengurus berkas yang selalu penuh semangat.
13. **Teman-teman KKN Enrekang 4** yang senantiasa berbagi kabar tentang perkembangan untuk tugas akhir, saling memberikan motivasi dan hiburan.
14. **Teman-teman SMA** (SMAN 1 Enrekang pada masanya) **Tato, Jipus, Babe, Alda, dan Alam** yang menjadi teman yang kadang sefrekuensi dan selalu menyemangati satu sama lain khususnya dalam penyelesaian studi S1.
15. **Inseo, Ikonik, Teume, Yoopies, dan YG stan** yang selalu memberikan hiburan sebagai penyemangat di saat proses pengolahan data dan penyusunan skripsi.
16. Para penggugur *stress* dan *supporter* bayangan khususnya *member Winner, Treasure, Ikon, B.I, dan YSH* yang selalu menjadi penyemangat dan memberikan hiburan.
17. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan namanya satu per satu yang telah memberikan semangat, motivasi, nasehat, doa, dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan baik.

Harapan penulis dari skripsi hasil penelitian yang telah dilakukan semoga dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca. Penulis mengucapkan mohon maaf atas segala kekurangan yang terdapat pada skripsi ini. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan karunia-Nya dan menjadikan ilmu yang kita peroleh dari membaca menjadi berkah. Aamiin. *Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.*

Makassar, 09 Maret 2021



Erviani Rusman

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	2
I.3 Tujuan Penelitian .....	2
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
II.1 Kacang Kalopo ( <i>Calopogonium mucunoides</i> ).....	3
II.2 Seng Oksida (ZnO) .....	3
II.3 Titanium Dioksida (TiO <sub>2</sub> ).....	4
II.4 <i>Green Synthesis</i> .....	4
II.5 Pewarna Azo .....	5
II.6 Fotokatalis.....	5
BAB III. METODE PENELITIAN.....	8
III.1 Waktu dan Tempat .....	8
III.2 Alat dan Bahan .....	8
III.2.1 Alat.....	8
III.2.2 Bahan .....	8
III.3 Prosedur Kerja.....	9
III.3.1 Ekstraksi Daun <i>Calopogonium mucunoides</i> .....	9
III.3.2 Sintesis ZnO/TiO <sub>2</sub> .....	9

III.3.3 Uji Fotokatalis.....	9
III.3.4 Karakterisasi .....	10
III.4 Bagan Alir Penelitian .....	11
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	12
IV.1 Analisis XRD .....	12
IV.2 Analisis FTIR .....	14
IV.3 <i>Band Gap</i> .....	16
IV.4 Analisis Fotokatalis ZnO/TiO <sub>2</sub> Terhadap Fotodegradasi <i>Congo Red</i> (CR) .....	17
BAB V. PENUTUP.....	21
V.1 Kesimpulan.....	21
V.2 Saran .....	21
DAFTAR PUSTAKA .....	22
LAMPIRAN.....	28

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kacang kalopo ( <i>Calopogonium mucunoides</i> ) (a) daun, (b) bunga, dan (c) buah .....	3
Gambar 2.2 Mekanisme kerja fitokimia dalam pembentukan nanopartikel ZnO ...	4
Gambar 2.3 Skema proses degradasi congo red menggunakan material ZnO/TiO <sub>2</sub> .....	6
Gambar 3.1 Bagan alir penelitian.....	11
Gambar 4.1 Kurva XRD dari sintesis komposit (a) ZnO/TiO <sub>2</sub> (2,5 g) dan (b) ZnO/TiO <sub>2</sub> (5 g) dengan variasi suhu kalsinasi dan perbesaran pergeseran kurva untuk komposit (c) ZnO/TiO <sub>2</sub> (2,5 g) dan (d) ZnO/TiO <sub>2</sub> (5 g) .....	13
Gambar 4.2 Spektrum FTIR dari sintesis komposit (a) ZnO/TiO <sub>2</sub> (2,5 g) dan (b) ZnO/TiO <sub>2</sub> (5 g) dengan variasi suhu kalsinasi .....	15
Gambar 4.3 <i>Band gap</i> dari sintesis komposit ZnO/TiO <sub>2</sub> dengan variasi suhu kalsinasi dan perbedaan konsentrasi TiO <sub>2</sub> .....	16
Gambar 4.4 Persentase degradasi CR dengan menggunakan material fotokatalis yang berbeda untuk suhu (a) 500°C, (b) 600°C, (c) 700°C, dan (d) 800°C.....	17
Gambar 4.5 Grafik $C_t/C_0$ dan $\ln C_0/C_t$ dari sintesis komposit (a-b) ZnO/TiO <sub>2</sub> (2,5 g) dan (c-d) ZnO/TiO <sub>2</sub> (5 g) dengan beberapa suhu kalsinasi (500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C) dalam fotodegradasi CR.....	19

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Rata-rata ukuran kristal dan <i>band gap</i> dari sintesis komposit ZnO/TiO <sub>2</sub> .....	14
Tabel 4.2 Persentase degradasi CR menggunakan komposit ZnO/TiO <sub>2</sub> .....	18
Tabel 4.3 Konstanta laju kinetik ( $k_r$ ) dan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) dari sintesis komposit ZnO/TiO <sub>2</sub> berbasis ekstrak daun <i>Calopogonium mucunoides</i> .....	20

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian.....	28
Lampiran 2. Analisis Data.....	29

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Permasalahan global terkait produksi energi dan pelestarian lingkungan menjadi topik yang substansial. Kerusakan akibat kontaminasi zat beracun dan polusi air menyebabkan standar internasional lingkungan hidup menjadi semakin ketat agar tidak membahayakan kesehatan manusia [1]. Senyawa kontaminan yang berbahaya pada limbah ditemukan sebagai penyebab toksisitas yang tinggi pada lingkungan air [2]. Senyawa kontaminan dapat berasal dari limbah industri kayu, tekstil, kosmetik, farmasi, logam, agrikultur, dan lain-lain [3,4]. *Congo red* (CR) menjadi jenis pewarna azo yang banyak digunakan dalam bidang industri. Pewarna ini sulit terdegradasi sehingga menjadi masalah kesehatan lingkungan yang sangat serius [5,6].

Beberapa metode penjernihan air telah digunakan baik melalui proses fisika, biologi, dan kimia [7,8]. Fotokatalis menjadi salah satu metode yang berpotensi dalam pengolahan limbah karena prosesnya sederhana dan efektif dalam membersihkan kontaminan biologi dan kimia [6,9]. Pada umumnya fotodegradasi banyak menggunakan bahan logam, namun memiliki harga mahal dan dapat menimbulkan limbah lain yang sulit terdegradasi secara alami. *Green synthesis* dapat digunakan sebagai alternatif dalam mensintesis nanopartikel atau komposit untuk aplikasi fotokatalis. Keunggulannya yaitu memiliki kelebihan ramah lingkungan, murah, tidak beracun, dan tidak menghasilkan produk kontaminan lain. Metode ini menggunakan ekstrak dari berbagai tanaman dengan kandungan fitokimia yang berfungsi sebagai agen pereduksi dan penstabil [4,10]. Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait sintesis nanopartikel menggunakan ekstrak tanaman seperti biji quince [4], *Melia azedarach* [11], *Phoenix dactylifera* [12], *Emblca officinalis* [13], *Hibiscus sabdariffa* [3], dan *Salvia officinalis* [14].

Material fotokatalis yang memiliki potensi cukup baik dalam fotodegradasi yaitu semikonduktor. Material ini lebih stabil secara kimiawi seperti ZnO dan TiO<sub>2</sub>. Semikonduktor ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan spesies aktif setelah iradiasi dengan panjang gelombang tertentu sehingga dapat digunakan dalam aplikasi fotokatalis [7,15,16]. Aktivitas fotokatalis dapat ditingkatkan

dengan mengkombinasikan ZnO dengan TiO<sub>2</sub> [17,18]. Hal ini dilakukan untuk mengurangi rekombinasi elektron-hole. Target dari reaksi fotokatalis yang dihasilkan dari proses mineralisasi yaitu mengubah polutan menjadi produk berupa CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan N<sub>2</sub> [19].

Penelitian ini dilakukan untuk mensintesis komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> menggunakan ekstrak daun kacang kalopo (*Calopogonium mucunoides*) dengan metode *green synthesis*. Proses fotokatalis dalam degradasi *congo red* (CR) menggunakan ZnO/TiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi TiO<sub>2</sub> yang berbeda dan beberapa suhu kalsinasi (500°C, 600°C, 700°C, and 800°C). Efektivitas fotodegradasi dan material fotokatalis dianalisis menggunakan XRD, FTIR, dan spektrofotometer UV-Vis. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi permasalahan limbah industri dengan memanfaatkan bahan alam.

## **I.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana proses sintesis komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> menggunakan ekstrak daun kacang kalopo (*Calopogonium mucunoides*) dengan metode *green synthesis*?
2. Bagaimana pengaruh suhu kalsinasi ZnO/TiO<sub>2</sub> terhadap efektivitas degradasi *congo red*?
3. Bagaimana pengaruh perbedaan konsentrasi TiO<sub>2</sub> pada komposit terhadap fotodegradasi *congo red*?

## **I.3 Tujuan Penelitian**

1. Mensintesis komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> menggunakan ekstrak daun kacang kalopo (*Calopogonium mucunoides*) dengan metode *green synthesis*.
2. Menganalisis pengaruh suhu kalsinasi ZnO/TiO<sub>2</sub> terhadap efektivitas degradasi *congo red*.
3. Menganalisis pengaruh perbedaan konsentrasi TiO<sub>2</sub> pada komposit terhadap fotodegradasi *congo red*.

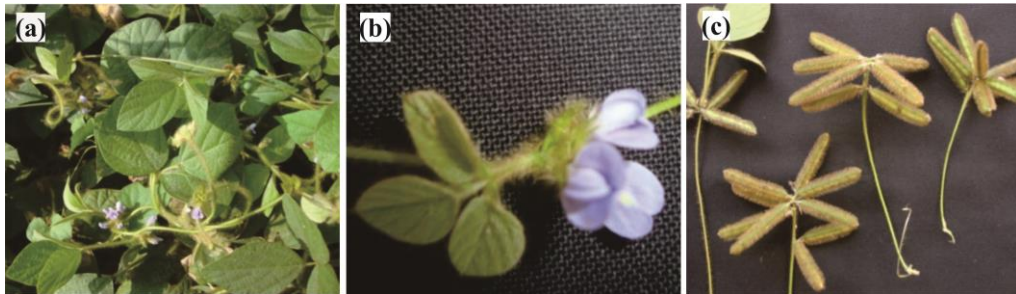


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Kacang Kalopo (*Calopogonium mucunoides*)

Kacang kalopo merupakan tanaman tropik yang diklasifikasikan dalam suku polong-polongan, *Fabaceae* [20]. Tanaman ini dapat tumbuh panjang hingga beberapa meter, batang berair dan ditutupi bulu coklat. Batangnya menjalar dan bagian akar bersentuhan dengan tanah. Bentuk daunnya bulat hingga oval, panjangnya dapat mencapai 16 cm, dan *trifoliolate*. Tanaman ini memiliki bunga kecil berwarna biru atau ungu dan memiliki jumlah biji tiga sampai delapan [21]. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan adanya kandungan fitokimia pada tanaman ini berupa isoflavon terprenilasi O- dan C-, piranoflavanon, dan pterokarpan [20,22].



**Gambar 2.1** Kacang kalopo (*Calopogonium mucunoides*) (a) daun, (b) bunga, dan (c) buah [23]

#### II.2 Seng Oksida (ZnO)

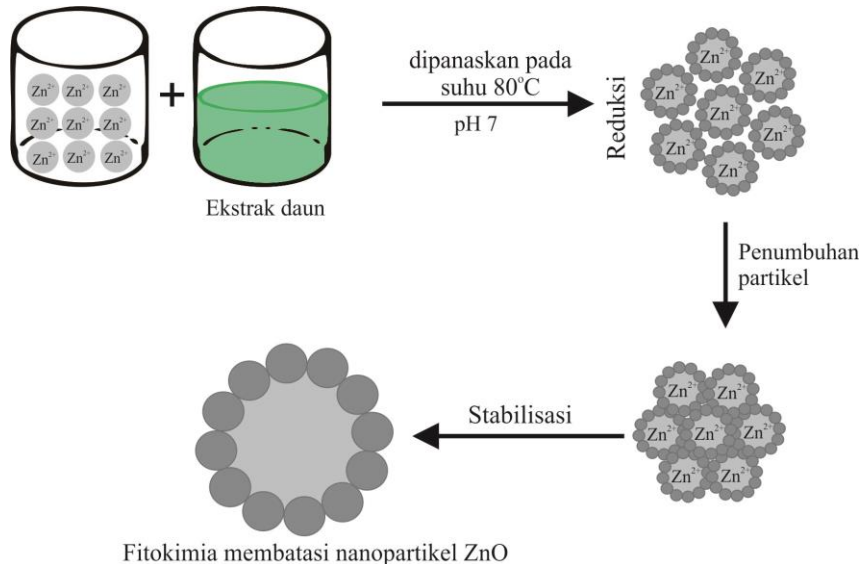
ZnO merupakan semikonduktor tipe-n yang memiliki energi ikat eksiton tinggi (60 meV) dan energi *band gap* 3,37 eV. Struktur kristal ZnO yaitu *wurtzite* heksagonal. Material ini memiliki potensi dalam aplikasi di berbagai bidang teknologi [24]. Semikonduktor ini memiliki sifat biokompatibilitas, fotokimia yang stabil, dan menjadi lebih aktif ketika disinari dengan UV atau sinar tampak [2]. Saat proses penyinaran terjadi pembentukan pasangan elektron-*hole* pada bagian pita konduksi dan pita valensi. Apabila pada ZnO terjadi tingkat rekombinasi tinggi maka waktu hidup pembawa muatan lebih singkat. Ini mengakibatkan kerja fotokatalis menurun drastis. Hal ini dapat diminimalisir

dengan mengkreasikan nanoheterostruktur semikonduktor melalui proses *doping* [25,26].

### II.3 Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>)

TiO<sub>2</sub> merupakan senyawa oksida dengan efisiensi fotokatalis yang baik karena memiliki energi *band gap* 3,20 eV [27]. Material ini banyak digunakan sebagai material fotokatalis karena memiliki sifat optik yang baik, harga murah, tidak beracun, dan stabilitas kimia yang tinggi [28,29]. TiO<sub>2</sub> adalah salah satu semikonduktor yang efektif dikombinasikan dengan ZnO. Kombinasi ZnO dan TiO<sub>2</sub> dapat meningkatkan aktivitas fotokatalis [19]. TiO<sub>2</sub> dapat mendegradasi berbagai jenis polutan kimia di air limbah melalui radiasi foton [30]. Selain itu dengan penambahan logam atau ion bukan logam pada TiO<sub>2</sub> dapat meningkatkan kapasitas absorpsi cahaya tampak atau reaktivitasnya pada panjang gelombang UV [31].

### II.4 Green Synthesis



**Gambar 2.2** Mekanisme kerja fitokimia dalam pembentukan nanopartikel ZnO

[14]

*Green synthesis* merupakan metode biologi untuk mensintesis nanopartikel menggunakan agen *green* yang diperoleh dengan memperhatikan sifat optik, kimia, fotokimia, dan elektrik dari produk. Metode ini dapat menggunakan

berbagai jenis tanaman yang berfungsi sebagai agen stabilitas dalam pembuatan nanopartikel. Sintesis nanopartikel dengan metode ini membutuhkan ekstrak tanaman yang bertindak sebagai pereduksi dan penstabil [4].

Gambar 2.2 memperlihatkan mekanisme fitokimia dari ekstrak tanaman yang berfungsi sebagai agen pembatas atau penstabil untuk mencegah agregasi ion Zn selama pembentukan nanopartikel ZnO. Ekstrak tanaman yang mengandung fitokimia seperti flavonoid bertanggung jawab untuk reduksi ion menjadi nanopartikel [14].

## II.5 Pewarna Azo

Zat pewarna (*dye*) merupakan salah satu jenis kontaminan yang banyak ditemukan pada limbah industri. Pewarna mudah larut dalam air dan sangat tahan terhadap biodegradasi. Hal ini juga menjadi salah satu faktor terbentuknya produk sampingan berbahaya karena terjadi reaksi kimia berturut-turut seperti hidrolisis, oksidasi, dan lain-lain [32]. Pewarna azo merupakan salah satu kontaminan yang mengandung ikatan azo ( $-N=N-$ ) dan molekul gugus fenil atau naftil. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pewarna azo merupakan substansi yang selama proses penguraiannya akan menghasilkan amina aromatik. Ini berpotensi menyebabkan karsinogenik dan mutagenik. Sifat ini muncul karena adanya gugus aromatik sehingga menghambat proses degradasi secara alami [33,34].

Beberapa jenis pewarna azo yaitu pewarna monoazo (metilen biru, metil jingga, dan AO7), pewarna diazo (*congo red* dan *direct lake Blue 6B*), dan pewarna polyazo (*direct black BN*) [34]. Salah satu jenis pewarna azo yang banyak digunakan pada industri kosmetik, kertas, farmasi, kimia, dan tekstil yaitu *congo red* (CR). Pewarna ini sulit terdegradasi sehingga menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan yang sangat serius [33].

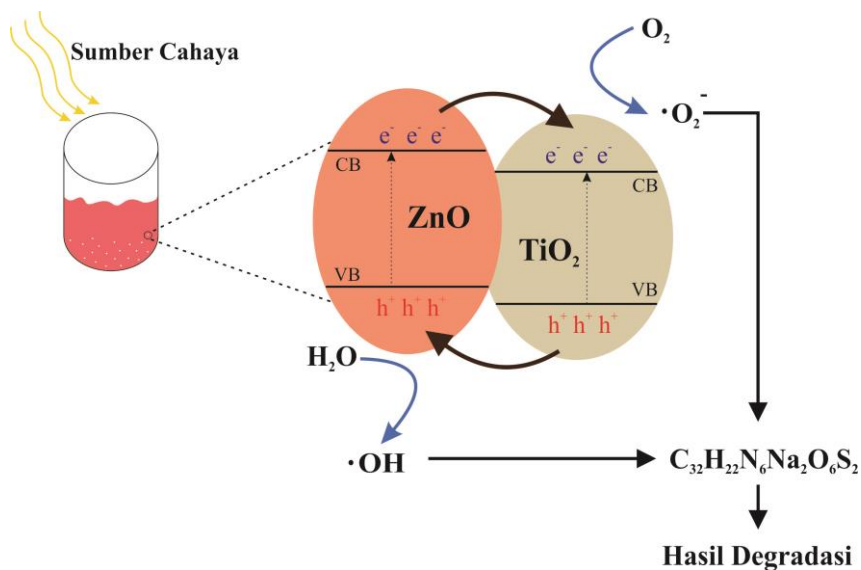
## II.6 Fotokatalis

Reaksi fotokatalis dalam mendegradasi limbah cair menyebabkan terjadinya mineralisasi pada polutan target menjadi  $CO_2$ ,  $H_2O$ , dan  $N_2$ . Beberapa jenis material fotokatalis yang banyak digunakan yaitu ZnO dan  $TiO_2$ . Saat disinari cahaya, semikonduktor ZnO dan  $TiO_2$  menerima energi dari foton. Ini

menyebabkan produksi pasangan elektron dan *hole* yang akan berpartisipasi dalam mempercepat reaksi. Syarat material fotokatalis yang baik yaitu ramah lingkungan, sifat optik yang stabil, tidak beracun, kemurnian sifat fisika dan kimia, kapasitas adsorpsi yang baik, dan tidak terdegradasi setelah pembentukan *hole* [19].

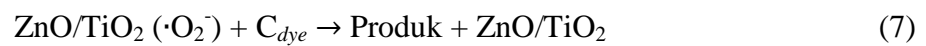
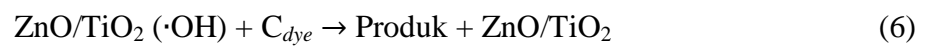
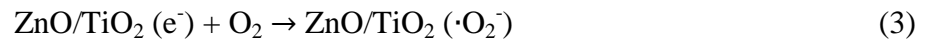
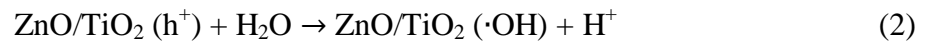
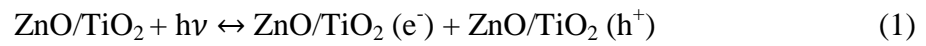
Hubungan *heterojunction* antara ZnO dan TiO<sub>2</sub> mengakibatkan terjadinya pemindahan elektron dari pita konduksi ZnO ke pita konduksi TiO<sub>2</sub> dan pemindahan *hole* dari pita valensi TiO<sub>2</sub> ke pita valensi ZnO. Proses ini menyebabkan jumlah elektron di pita konduksi TiO<sub>2</sub> dan jumlah *hole* di pita valensi ZnO meningkat. Proses pemindahan muatan secara efektif menyebabkan berkurangnya tingkat rekombinasi dan meningkatkan waktu hidup pembawa muatan [2].

Peningkatan densitas elektron di pita konduksi TiO<sub>2</sub> berinteraksi dengan permukaan molekul oksigen dan meningkatkan pembentukan radikal superoksida ( $\cdot\text{O}_2^-$ ) yang sangat reaktif. *Hole* di pita valensi bereaksi dengan molekul H<sub>2</sub>O yang diserap di permukaan semikonduktor dan menghasilkan radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ). Jenis radikal aktif seperti  $\cdot\text{OH}$  dan  $\cdot\text{O}_2^-$  dapat diperoleh dari proses penyinaran semikonduktor yang stabil pada panjang gelombang tertentu. Radikal aktif tersebut berfungsi dalam mineralisasi kontaminan organik dan inorganik pada limbah cair [2,35]. Gambar 2.3 memperlihatkan contoh skema proses fotokatalis.



**Gambar 2.3** Skema proses degradasi congo red menggunakan material ZnO/TiO<sub>2</sub>

Reaksi kimia dari proses fotokatalis ZnO/TiO<sub>2</sub> dalam mendegradasi limbah ditunjukkan sebagai berikut [6,36]:



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **III.1 Waktu dan Tempat**

Penelitian ini dilakukan dari September 2020 sampai Februari 2021. Tempat penelitian yaitu Laboratorium Material, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.

#### **III.2 Alat dan Bahan**

##### **III.2.1 Alat**

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| a. Neraca                  | l. Pipet ukur                                |
| b. <i>Magnetic stirrer</i> | m. Batang pengaduk                           |
| c. Gelas kimia             | n. Kuvet                                     |
| d. Gelas ukur              | o. Kertas saring Whatman                     |
| e. Corong kaca             | p. Indikator asam basa                       |
| f. Cawan porselin          | q. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)            |
| g. <i>Blender</i>          | r. <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR) |
| h. Oven                    | s. Spektrofotometer UV-Vis                   |
| i. Ayakan 100 Mesh         | t. <i>Furnace</i>                            |
| j. Spatula                 |  |
| k. Pipet tetes             |  |

##### **III.2.2 Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

- a. Daun kacang kalopo (*Calopogonium mucunoides*)
- b. Seng asetat dihidrat ( $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- c. Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ )
- d. Natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ )
- e. Akuades
- f. *Congo red* ( $\text{C}_{32}\text{H}_{22}\text{N}_6\text{Na}_2\text{O}_6\text{S}_2$ )

### III.3 Prosedur Kerja

#### III.3.1 Ekstraksi Daun *Calopogonium mucunoides*

Daun *Calopogonium mucunoides* (CM) digunakan dalam sintesis komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> yang diperoleh dari daerah Enrekang, Sulawesi Selatan. Daun dicuci bersih dan dikeringkan pada suhu ruangan ( $\pm 25^{\circ}\text{C}$ ) selama  $\pm 2$  minggu. Daun yang telah mengering dihaluskan menggunakan *blender* dan diayak. Ekstrak dibuat dengan 5 g bubuk CM yang dilarutkan dalam 100 ml akuades. Larutan dihomogenisasi dan dipanaskan pada suhu  $80^{\circ}\text{C}$  selama 20 menit menggunakan *magnetic stirrer*. Ekstrak disaring menggunakan kertas Whatman no.1. Hasil filtrasi ini digunakan untuk sintesis ZnO/TiO<sub>2</sub>.

#### III.3.2 Sintesis ZnO/TiO<sub>2</sub>

Sebanyak 5 g seng asetat dihidrat ( $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dilarutkan dalam ekstrak daun CM sebanyak 20 ml. Akuades ditambahkan dalam larutan tersebut sampai volume larutan 100 ml. Larutan TiO<sub>2</sub> dibuat dari campuran 2,5 g dan 5 g TiO<sub>2</sub> dilarutkan dengan 10 ml akuades. Kemudian larutan ini dihomogenisasi dengan kecepatan 200 rpm selama 5 menit. Larutan ZnO dipanaskan pada suhu  $95^{\circ}\text{C}$  dengan kecepatan 500 rpm menggunakan *magnetic stirrer*. Larutan TiO<sub>2</sub> ditetesi dalam larutan ZnO pada saat 15 menit proses pemanasan. Setelah 30 menit proses pemanasan larutan ZnO/TiO<sub>2</sub> ditetesi dengan NaOH secara bertahap sampai mencapai pH 7. Kemudian dipanaskan semalaman hingga membentuk *gel*. Larutan dievaporasi menggunakan oven selama 10 jam dengan suhu  $80^{\circ}\text{C}$ . Setelah itu dikalsinasi pada suhu  $500^{\circ}\text{C}$ ,  $600^{\circ}\text{C}$ ,  $700^{\circ}\text{C}$ , dan  $800^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam untuk memperoleh komposit ZnO/TiO<sub>2</sub>.

#### III.3.3 Uji Fotokatalis

Uji fotokatalis menggunakan *congo red* sebagai sampel limbah zat pewarna. Prosedur fotodegradasi *congo red* dilakukan dengan menambahkan 0,02 g ZnO/TiO<sub>2</sub> ke dalam 100 ml larutan *congo red* (40 mg/L). Larutan disinari dengan lampu halogen 300 W Osram Tungsten sebagai sumber cahaya dan diaduk dengan kecepatan 150 rpm. Saat proses degradasi, beberapa ml larutan diambil setiap 5 menit dan disaring menggunakan kertas Whatman no.42 untuk diamati

konsentrasinya. Konsentrasi larutan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

### III.3.4 Karakterisasi

Beberapa karakterisasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu XRD, FTIR, dan UV-Vis. XRD digunakan untuk menentukan kristalinitas dan ukuran kristal dari sintesis ZnO/TiO<sub>2</sub> melalui metode *green synthesis*. Ukuran kristal suatu material dapat dihitung menggunakan persamaan Debye Scherrer seperti pada persamaan (3.1) [14]:

$$d = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \quad (3.1)$$

dimana  $d$  adalah ukuran kristal,  $\theta$  adalah sudut Bragg,  $K$  adalah konstanta Scherrer ( $K=0.9$ ),  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar X ( $\lambda=1.5406 \text{ \AA}$ ) dan  $\beta$  adalah *Full Width at Half Maximum* (FWHM).

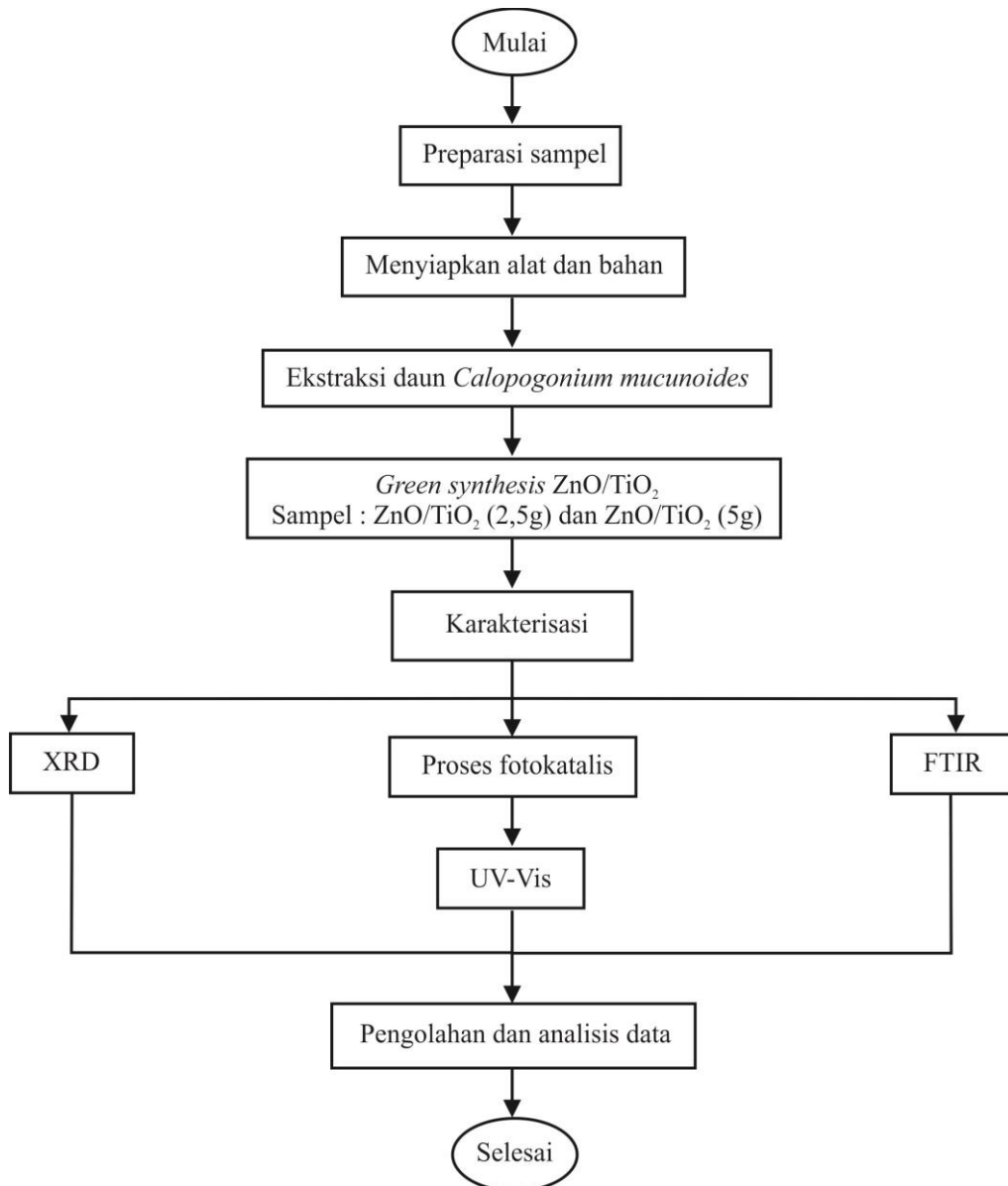
FTIR digunakan untuk menentukan gugus fungsi dari hasil sintesis ZnO/TiO<sub>2</sub>. Karakterisasi UV-Vis digunakan untuk mengukur nilai absorbansi dan menganalisis tingkat degradasi *congo red* untuk aplikasi fotokatalis. Persentasi degradasi dari proses fotokatalis dapat dihitung menggunakan persamaan (3.2) [37]:

$$\%D = \left( \frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100\% \quad (3.2)$$

dimana  $\%D$  adalah persentasi degradasi,  $C_0$  adalah absorbansi awal (sebelum disinari), dan  $C_t$  adalah absorbansi setelah proses fotokatalis ( $t \neq 0$ ).



### III.4 Bagan Alir Penelitian



**Gambar 3.1** Bagan alir penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

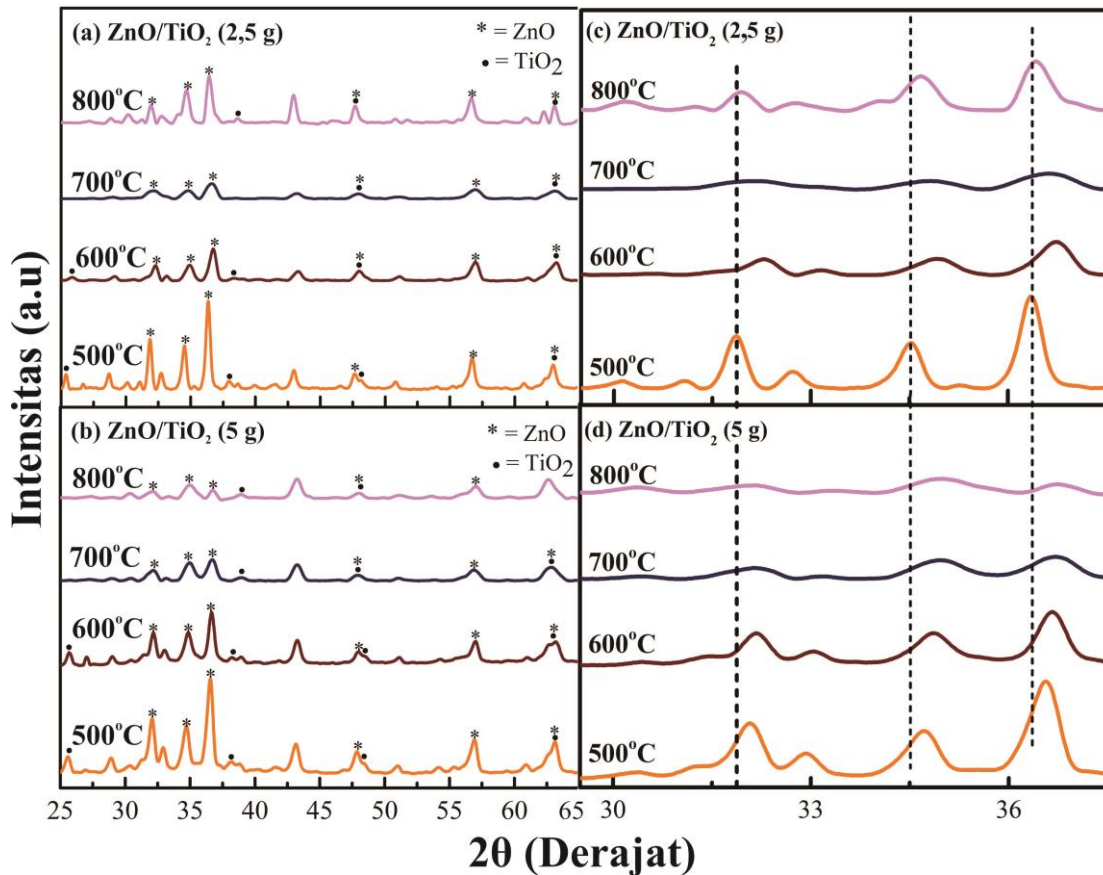
#### IV.1 Analisis XRD

Difraktogram XRD dari komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> yang disintesis dengan variasi suhu kalsinasi dan konsentrasi TiO<sub>2</sub> diperlihatkan pada Gambar 4.1. Kurva difraksi ZnO/TiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi TiO<sub>2</sub> sebesar 2,5 g yang dikalsinasi pada suhu 500°C mengindikasikan adanya fase kristal ZnO pada  $2\theta = 31,84^\circ; 34,48^\circ; 36,36^\circ; 47,68^\circ; 56,74^\circ; \text{ dan } 62,98^\circ$  yang sesuai dengan orientasi kristal (100), (002), (101), (102), (110), dan (103) (JCPDS: 36-1451) [38]. Fase TiO<sub>2</sub> muncul pada  $2\theta = 25,42^\circ; 37,98^\circ; 48,12^\circ; \text{ dan } 62,98^\circ$  yang sesuai dengan orientasi kristal (101), (004), (200), dan (204) (JCPDS: 21-1272) [39] yang diperlihatkan pada Gambar 4.1 (a). Kurva XRD untuk sampel ZnO/TiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi TiO<sub>2</sub> sebanyak 5 g diperlihatkan pada Gambar 4.1 (b). Ekspansi pada kisi menyebabkan regangan dan menghasilkan pergeseran sudut refleksi [40]. Gambar 4.1 (c-d) memperlihatkan adanya sedikit pergeseran ke arah sudut refleksi yang lebih besar seiring penambahan suhu kalsinasi.

Puncak kurva dengan orientasi kristal (101) yang mengindikasikan adanya senyawa TiO<sub>2</sub> terlihat pada komposit dengan kalsinasi 500°C dan 600°C. Intensitas puncak (101) mulai berkurang dan hampir tidak terlihat seiring penambahan suhu. Selain itu, puncak pada orientasi kristal (102) dan (103) pada ZnO mengalami *overlap* dengan puncak (200) dan (204) TiO<sub>2</sub>. Hal ini menunjukkan interaksi antara kisi ZnO dan TiO<sub>2</sub> yang cukup baik dalam pembentukan komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> [41]. Pada suhu kalsinasi rendah terbentuk beberapa puncak kecil yang muncul pada  $2\theta = 30,14^\circ; 42,96^\circ; 50,78^\circ; \text{ dan } 60,70^\circ$  sesuai dengan fase ZnTiO<sub>3</sub> (JCPDS: 39-0190) [42].

Berdasarkan hasil penelitian, ketika suhu kalsinasi meningkat dari 500°C ke 600°C intensitas ZnTiO<sub>3</sub> menurun. Perubahan fase terjadi pada suhu 800°C dimana fase Zn<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> meningkat. Hal ini menunjukkan terjadinya dekomposisi ZnTiO<sub>3</sub> menjadi Zn<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> karena pengaruh pemanasan. Fase Zn<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> terdapat pada  $2\theta = 32,10^\circ; 34,90^\circ; 36,70^\circ; \text{ dan } 56,98^\circ$  (JCPDS: 01-073-0578) [6]. Beberapa

penelitian tentang perubahan fase  $\text{ZnTiO}_3$  menjadi fase  $\text{Zn}_2\text{TiO}_4$  telah dilakukan oleh Munguti, dkk. (2020) dan Liang, dkk. (2012) [9,43].



**Gambar 4.1** Kurva XRD dari sintesis komposit (a) ZnO/TiO<sub>2</sub> (2,5 g) dan (b) ZnO/TiO<sub>2</sub> (5 g) dengan variasi suhu kalsinasi dan perbesaran pergeseran kurva untuk komposit (c) ZnO/TiO<sub>2</sub> (2,5 g) dan (d) ZnO/TiO<sub>2</sub> (5 g)

Peningkatan suhu kalsinasi ke suhu 600°C dan 700°C menyebabkan penurunan intensitas puncak difraksi dan meningkatkan lebar FWHM. Penurunan intensitas tersebut dapat menyebabkan ukuran kristal dan jarak antar atom semakin kecil, hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Munguti, dkk. (2020) dan Mathur, dkk. (2017) [9,44]. Semakin meningkatnya suhu kalsinasi menyebabkan berkurangnya atom pengotor dalam sintesis komposit. Pada suhu 800°C menunjukkan terjadinya peningkatan intensitas puncak difraksi dari sampel dengan suhu kalsinasi 700°C.

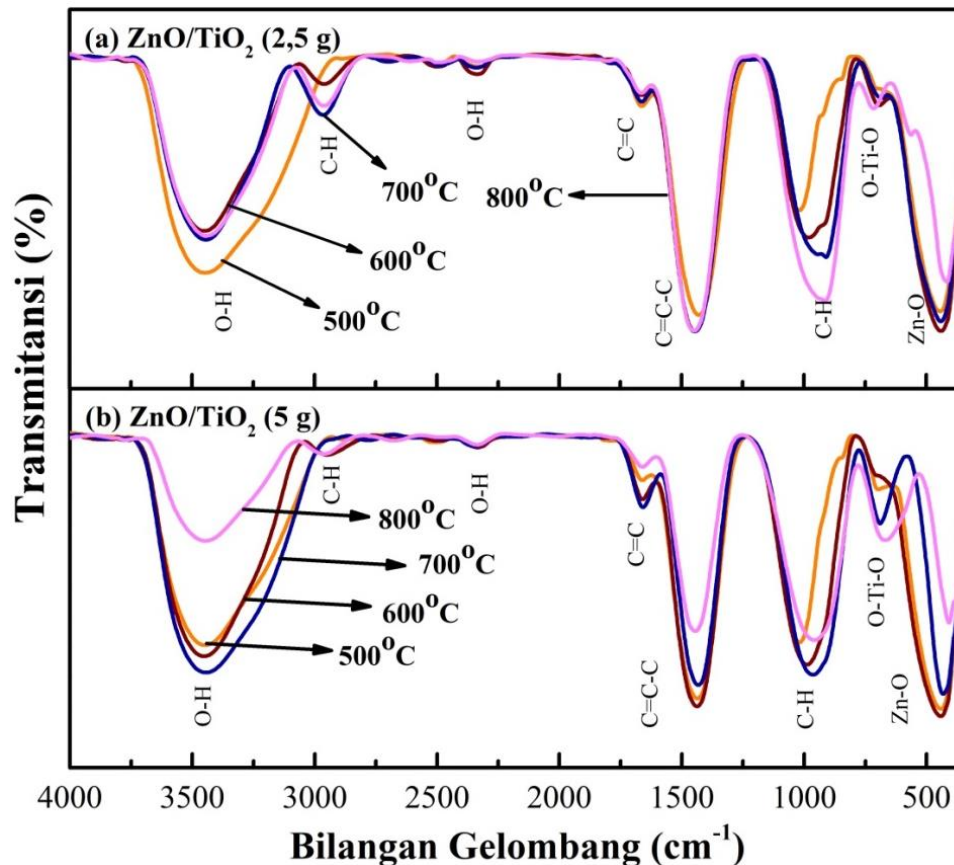
**Tabel 4.1** Rata-rata ukuran kristal dan *band gap* dari sintesis komposit ZnO/TiO<sub>2</sub>

Sampel	Suhu (°C)	Rata-rata Ukuran kristal (nm)	<i>Band gap</i> (eV)
ZnO/TiO <sub>2</sub> (2,5 g)	500	19,99	3,08
	600	11,87	3,11
	700	7,62	2,89
	800	17,64	3,02
ZnO/TiO <sub>2</sub> (5 g)	500	15,73	3,05
	600	15,21	3,05
	700	8,86	3,05
	800	8,94	3,07

Berdasarkan difraktogram XRD diperoleh hubungan bahwa peningkatan suhu kalsinasi sintesis ZnO/TiO<sub>2</sub> menggunakan ekstrak *Calopogonium mucunoides* menyebabkan intensitas puncak difraksi semakin menurun. Tetapi pada suhu kalsinasi tertentu yaitu 800°C intensitas puncak difraksi mengalami sedikit peningkatan. Perubahan intensitas tersebut berkaitan dengan ukuran kristalnya. Ukuran kristal suatu material dapat dihitung menggunakan persamaan Debye Scherrer seperti pada persamaan (3.1). Nilai rata-rata ukuran kristal dari hasil sintesis ZnO/TiO<sub>2</sub> ditunjukkan pada Tabel 4.1. Nilai rata-rata ukuran kristal menunjukkan hubungan dengan kurva XRD dari komposit ZnO/TiO<sub>2</sub>. Semakin tinggi intensitas puncak dari kurva XRD maka rata-rata ukuran kristal komposit semakin besar begitu pula sebaliknya.

#### IV.2 Analisis FTIR

Karakterisasi FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dari komposit ZnO/TiO<sub>2</sub>. Spektrum FTIR yang digunakan dalam analisis gugus fungsi berada pada rentang bilangan gelombang 350 cm<sup>-1</sup> sampai 4000 cm<sup>-1</sup> yang diperlihatkan pada Gambar 4.2.

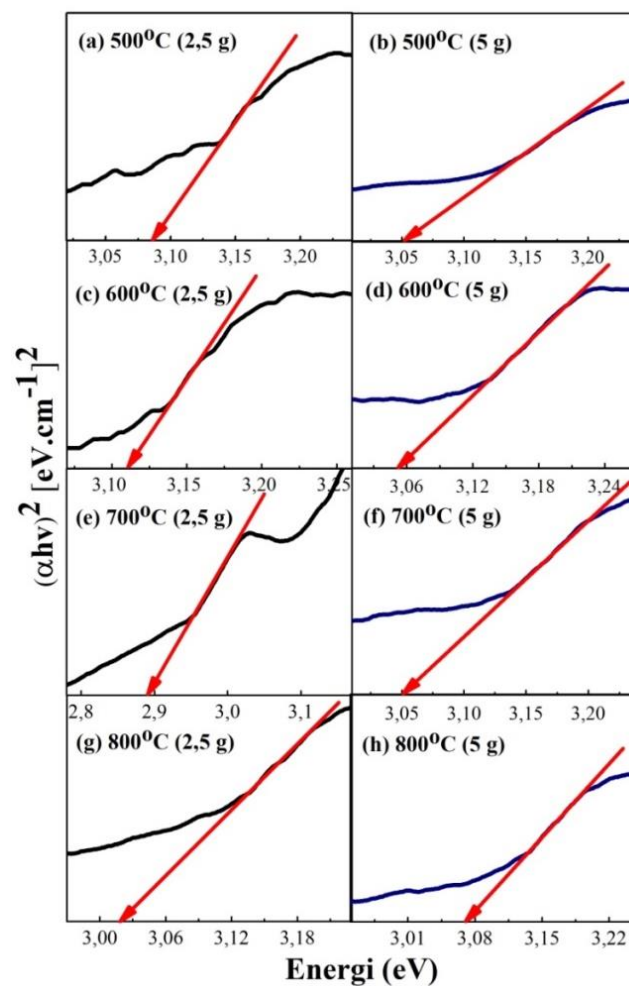


**Gambar 4.2** Spektrum FTIR dari sintesis komposit (a) ZnO/TiO<sub>2</sub> (2,5 g) dan (b) ZnO/TiO<sub>2</sub> (5 g) dengan variasi suhu kalsinasi

Berdasarkan spektrum FTIR diperoleh ikatan Zn-O pada bilangan gelombang 446 cm<sup>-1</sup> [4]. Pada bilangan gelombang 723 cm<sup>-1</sup> terdapat ikatan O-Ti-O [45]. Gugus fungsi dari ikatan C-H terdapat pada rentang bilangan gelombang 1000-1100 cm<sup>-1</sup> [9]. Pada bilangan gelombang 1447 cm<sup>-1</sup> dan 1665 cm<sup>-1</sup> menunjukkan adanya gugus fungsi dari cincin aromatik berupa ikatan C=C-C dan C=C yang diakibatkan oleh getaran tarik (*tensile vibration*) [35,37]. Ikatan O-H muncul pada bilangan gelombang 2504 cm<sup>-1</sup> dan 3455 cm<sup>-1</sup> yang menyebabkan getaran pada ikatan antara molekul hidroksil dalam molekul air yang terserap [4,36]. Ikatan lemah yang terbentuk pada spektrum dengan bilangan gelombang 2338 cm<sup>-1</sup> dapat diakibatkan oleh adanya CO<sub>2</sub> yang diserap selama proses kalsinasi. Pada bilangan gelombang 2968 cm<sup>-1</sup> terjadi getaran regangan dari ikatan C-H yang disebabkan adanya serapan gugus alkana [9].

### IV.3 Band Gap

*Band gap* merupakan selisih antara tingkat energi konduksi dengan tingkat energi valensi. *Band gap* dari sintesis komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> diperoleh dari proses pemotongan spektrum absorbansi menggunakan metode *Touch Plot* yang diperlihatkan pada Gambar 4.3. Nilai *band gap* dari setiap sampel komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> ditunjukkan pada Tabel 4.1.



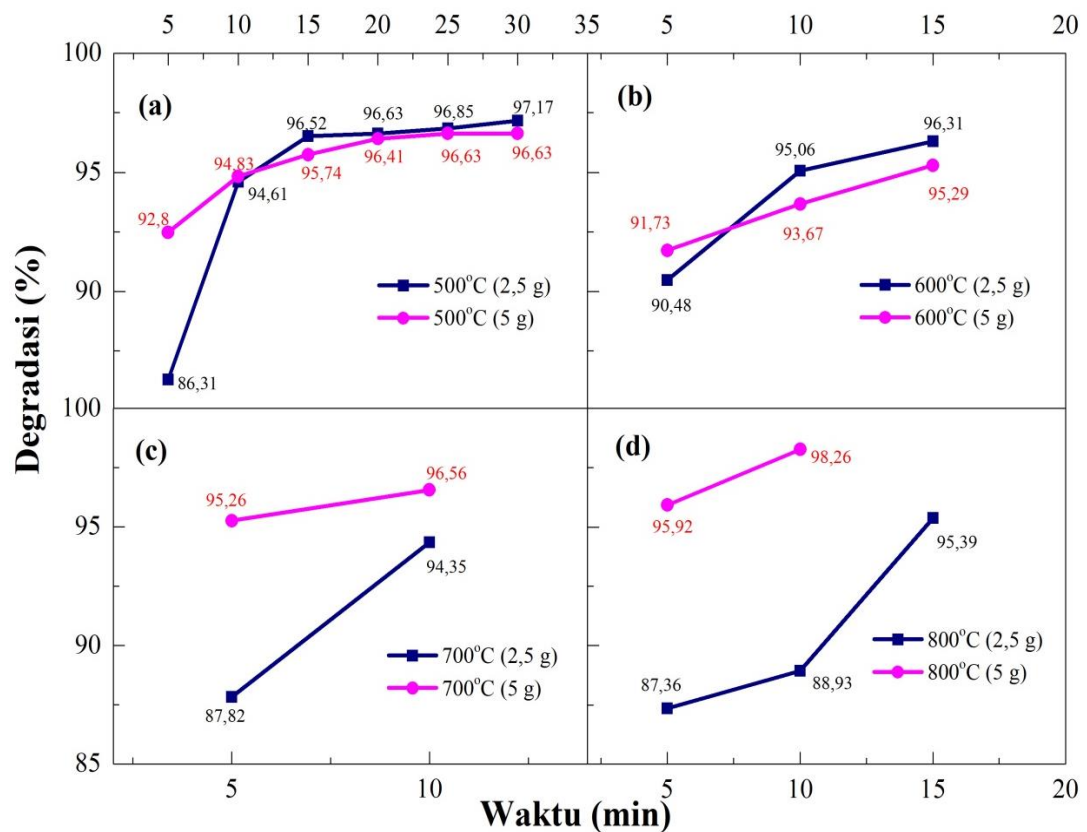
**Gambar 4.3** *Band gap* dari sintesis komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> dengan variasi suhu kalsinasi dan perbedaan konsentrasi TiO<sub>2</sub>

Pada suhu kalsinasi 500°C dan 600°C, energi celah pita dari komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> (5 g) menurun dibandingkan dengan komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> (2,5 g). Sampel komposit dengan konsentrasi TiO<sub>2</sub> yang lebih banyak mengalami peningkatan energi celah pita pada proses kalsinasi dengan suhu 700°C dan 800°C.

Perubahan nilai energi celah pita menjadi lebih kecil dapat disebabkan oleh perubahan ukuran partikel, morfologi, dan komposisi fase kristal [9].

#### IV.4 Analisis Fotokatalis ZnO/TiO<sub>2</sub> Terhadap Fotodegradasi Congo Red (CR)

Kemampuan material fotokatalis ZnO/TiO<sub>2</sub> dalam mendegradasi *congo red* (CR) dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Spektrum absorbansi CR berada pada panjang gelombang 400 nm sampai 600 nm. Semakin lama waktu penyinaran maka nilai absorbansi semakin berkurang. Waktu yang dibutuhkan setiap sampel dalam mendegradasi CR berbeda-beda, hal ini dipengaruhi oleh kemampuan katalisator dalam membentuk radikal hidroksil dan superoksida yang berperan dalam fotodegradasi.



**Gambar 4.4** Persentase degradasi CR dengan menggunakan material fotokatalis yang berbeda untuk suhu (a) 500°C, (b) 600°C, (c) 700°C, dan (d) 800°C

Gambar 4.4 memperlihatkan hubungan persentase degradasi dengan waktu penyinaran. Proses fotodegradasi CR tercepat hanya membutuhkan waktu selama

10 menit sedangkan proses fotodegradasi yang paling lama membutuhkan waktu sekitar 30 menit. Hasil perhitungan persentase degradasi menggunakan persamaan 3.2 untuk semua sampel dengan variasi suhu kalsinasi dan konsentrasi  $\text{TiO}_2$  ditunjukkan pada Tabel 4.2.

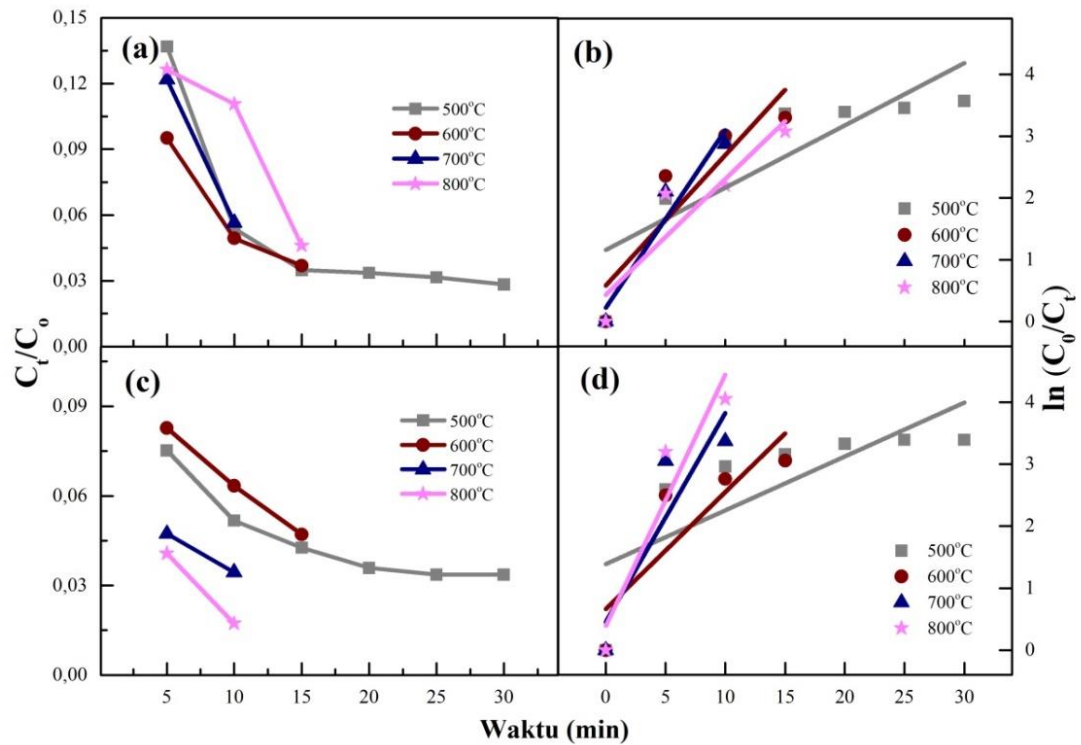
**Tabel 4.2** Persentase degradasi CR menggunakan komposit  $\text{ZnO/TiO}_2$

Sampel	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	Persentase degradasi (%)	Waktu degradasi (min)
$\text{ZnO/TiO}_2$ (2,5 g)	500	97,17	30
	600	96,31	15
	700	94,81	10
	800	95,39	15
$\text{ZnO/TiO}_2$ (5 g)	500	96,63	30
	600	95,29	15
	700	96,56	10
	800	98,26	10

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa efisiensi fotokatalis dari sintesis  $\text{ZnO/TiO}_2$  berbasis ekstrak daun *Calopogonium mucunoides* adalah >94%. Efisiensi tertinggi diperoleh pada komposit  $\text{ZnO/TiO}_2$  (5 g) dengan suhu kalsinasi  $800^{\circ}\text{C}$  yang dapat mendegradasi zat pewarna CR hingga 98,26%. Hal ini mengindikasikan bahwa sintesis komposit  $\text{ZnO/TiO}_2$  memiliki aktivitas fotokatalis yang baik.

Aktivitas fotokatalis dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis material fotokatalis, ukuran kristal, dan tingkat aglomerasi partikel yang satu dengan yang lain [9]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Selvi, dkk. (2015) menunjukkan bahwa penurunan ukuran kristal berpotensi meningkatkan luas permukaan spesifik dari katalisator. Hal ini mempengaruhi reaksi aktif dalam meningkatkan aktivitas fotokatalis [46].





**Gambar 4.5** Grafik  $C_t/C_0$  dan  $\ln C_0/C_t$  dari sintesis komposit (a-b) ZnO/TiO<sub>2</sub> (2,5 g) dan (c-d) ZnO/TiO<sub>2</sub> (5 g) dengan beberapa suhu kalsinasi (500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C) dalam fotodegradasi CR

Data UV-Vis digunakan pula dalam analisis kinetik dari fotokatalis. Gambar 4.5 memperlihatkan grafik kinetik dari komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> saat disinari untuk proses degradasi CR. Grafik hubungan  $C_t/C_0$  terhadap waktu degradasi pada Gambar 4.5 (a dan c) menunjukkan bahwa semakin kecil nilai  $C_t/C_0$  maka aktivitas fotokatalis semakin baik. Berdasarkan Gambar 4.5 (c), ZnO/TiO<sub>2</sub> (5 g) dengan suhu kalsinasi 800°C menunjukkan kinerja fotokatalis yang paling baik dibandingkan sampel lainnya. Adapun pada Gambar 4.5 (b dan d) memperlihatkan konstanta laju kinetik fotodegradasi CR menggunakan beberapa katalisator yang berbeda. Konstanta laju kinetik fotodegradasi ( $k_r$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [36]:

$$\ln \frac{C_0}{C_t} = k_r \cdot t \quad (4.1)$$

dimana  $C_0$  adalah absorbansi awal (sebelum disinari) dan  $C_t$  adalah absorbansi setelah proses fotokatalis ( $t \neq 0$ ). Konstanta laju kinetik ( $k_r$ ) dan koefisien korelasi ( $R^2$ ) dari sintesis komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> ditunjukkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Konstanta laju kinetik ( $k_r$ ) dan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) dari sintesis komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> berbasis ekstrak daun *Calopogonium mucunoides*

Sampel	Suhu (°C)	$k_r$ (min <sup>-1</sup> )	$R^2$
ZnO/TiO <sub>2</sub> (2,5 g)	500	0,11883	0,64629
	600	0,21997	0,74324
	700	0,28380	0,86531
	800	0,20506	0,78970
ZnO/TiO <sub>2</sub> (5 g)	500	0,11305	0,50827
	600	0,20374	0,62944
	700	0,33696	0,64080
	800	0,40521	0,79886

Nilai konstanta laju kinetik dan koefisien korelasi meningkat seiring bertambahnya suhu kalsinasi pada ZnO/TiO<sub>2</sub> (5 g) dibandingkan pada ZnO/TiO<sub>2</sub> (2,5 g). Berdasarkan data hasil perhitungan, ZnO/TiO<sub>2</sub> (5 g) dengan suhu kalsinasi 800°C memiliki nilai konstanta laju kinetik tertinggi. Hal ini berkaitan dengan hasil efisiensi fotokatalis dimana komposit tersebut menunjukkan kinerja fotokatalis yang paling baik dengan proses fotodegradasi hanya dalam waktu 10 menit penyinaran.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **V.1 Kesimpulan**

1. Komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> disintesis menggunakan metode *green synthesis* dengan memanfaatkan ekstrak daun kacang kalopo (*Calopogonium mucunoides*). Hasil sintesis ZnO/TiO<sub>2</sub> sebagai material fotokatalis berhasil dilakukan. Hal ini dibuktikan dengan hasil fotodegradasi zat pewarna *congo red* dengan persentase degradasi lebih dari 94%.
2. Kemampuan komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> dalam mendegradasi *congo red* dipengaruhi oleh suhu kalsinasi selama proses sintesis. Pada penelitian ini diperoleh efektivitas tertinggi dari ZnO/TiO<sub>2</sub> sebagai katalisator dalam mendegradasi *congo red* yaitu sebesar 98,26% dalam waktu 10 menit. Sintesis komposit dengan suhu rendah memerlukan waktu yang lebih lama dalam proses fotodegradasi.
3. Komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi TiO<sub>2</sub> yang lebih banyak memiliki konstanta laju kinetik yang meningkat seiring penambahan suhu. Pada ZnO/TiO<sub>2</sub> (2,5 g) kemampuan fotodegradasi dari beberapa sampel membutuhkan waktu degradasi yang lebih lama dibandingkan pada sampel ZnO/TiO<sub>2</sub> (5 g). Berdasarkan uji fotokatalis menunjukkan komposit dengan konsentrasi TiO<sub>2</sub> sebanyak 5 g dengan suhu 800°C memiliki persentase degradasi yang paling tinggi dibandingkan sampel lainnya.

#### **V.2 Saran**

Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat dilakukan pengembangan pada jenis ekstrak tanaman yang digunakan dan menguji kandungan fitokimianya. Selain itu efektivitas fotodegradasi dapat dikaji lebih lanjut dengan memvariasikan pH komposit dan konsentrasi polutan yang digunakan dalam uji fotokatalis.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] A. Habibi-Yangjeh, M. Pirhashemi, S. Ghosh, ZnO/ZnBi<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanocomposites with p-n heterojunction as durable visible-lightactivated photocatalysts for efficient removal of organic pollutants, *Journal of Alloys and Compounds* 826 (2020) 154229.
- [2] J. Singh, S. Kumar, Rishikesh, A. K. Manna, R. K. Soni, Fabrication of ZnO-TiO<sub>2</sub> nanohybrids for rapid sunlight driven photodegradation of textile dyes and antibiotic residue molecules, *Optical Materials* 107 (2020) 110138.
- [3] C. A. S. Robles, P. A. Luque, C. M. G. Gutiérrez, O. Nava, A. R. V. Nestor, E. L. Medina, R. Ranjithkumar, A. C. Beltrán, Study on the effect of the concentration of Hibiscus sabdariffa extract on the green synthesis of ZnO nanoparticles, *Results in Physics* 15 (2019) 102807.
- [4] S. M. T. H. Moghaddas, B. Elahi, V. Javanbakht, Biosynthesis of pure zinc oxide nanoparticles using quince seed mucilage for photocatalytic dye degradation, *Journal of Alloys and Compounds* 821 (2020) 1-9.
- [5] S. A. Bhat, F. Zafar, A. H. Mondal, A. Kareem, A. U. Mirza, S. Khan, A. Mohammad, Q. M. R. Haq, N. Nishat, Photocatalytic degradation of carcinogenic congo red dye in aqueous solution, antioxidant activity and bactericidal effect of NiO nanoparticles, *Journal of the Iranian Chemical Society* 17 (1) (2020) 215-227.
- [6] D. Tekin, H. Kiziltas, H. Urgan, Kinetic evaluation of ZnO/TiO<sub>2</sub> thin film photocatalyst in photocatalytic degradation of Orange G, *Journal of Molecular Liquids* 306 (2020) 112905.
- [7] A. H. Zyoud, A. Zubi, S. Hejjawi, S. H. Zyoud, M. H. Helal, S. H. Zyoud, N. Qamhiehe, A. R. Hajamohideen, H. S. Hilal, Removal of acetaminophen from water by simulated solar light photodegradation with ZnO and TiO<sub>2</sub> nanoparticles: catalytic efficiency assessment for future prospects, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 8 (2020) 104038.
- [8] M. Rezaee, M. Kazemini, M. Fattahi, A. M. Rashidi, L. Vafajoo, Oxidation of H<sub>2</sub>S to elemental sulfur over alumina based nanocatalysts: synthesis and physiochemical evaluations, *Sci. Iran.* 23 (2016) 1160-1174.

- [9] L. Munguti, F. Dejene, Influence of annealing temperature on structural, optical, and photocatalytic properties of ZnO-TiO<sub>2</sub> composites for application in dye removal in water, *Nano-Structures & Nano-Objects* 24 (2020) 100594.
- [10] G. Madhumitha, J. Fowsiya, N. Gupta, A. Kumar, M. Singh, Green synthesis, characterization and antifungal and photocatalytic activity of *Pithecellobium dulce* peel-mediated ZnO nanoparticles, *J. Phys. Chem. Solids* 127 (2019) 43-51.
- [11] K. V. Dhandapani, D. Anbumani, A. D. Gandhi, P. Annamalai, B. S. Muthuvenkatachalam, P. Kavitha, B. Ranganathan, Green route for the synthesis of seng oksida nanoparticles from *Melia azedarach* leaf extract and evaluation of their antioxidant and antibacterial activities, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 24 (2020) 10151.
- [12] K. Rambabu, G. Bharath, F. Banat, P. L. Show, Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Phoenix dactylifera* waste as bioreductant for effective dye degradation and antibacterial performance in wastewater treatment, *Journal of Hazardous Materials* 402 (2020) 123560.
- [13] A. Mari, R. Mookkaiah, M. Elayaperumal, *Embllica officinalis* leaf extract mediated synthesis of zinc oxide nanoparticles for antibacterial and photocatalytic activities, *Asian Journal of Green Chemistry* 3 (2019) 418-431.
- [14] S. S. R. Albeladi, M. A. Malik, S. A. Al-thabaiti, Facile biofabrication of silver nanoparticles using *Salvia officinalis* leaf extract and its catalytic activity towards congo red degradation, *Journal of Materials Research and Technology* 9 (5) (2020) 10031-10044.
- [15] H. Kamani, S. Nasser, M. Khoobi, R. N. Nodehi, A. H. Mahvi, Sonocatalytic degradation of humic acid by N-doped TiO<sub>2</sub> nano-particle in aqueous solution, *J. Environ. Health Sci. Eng.* 14 (2016) 1-9.
- [16] R. Ashouri, P. Ghasemipoor, B. Rasekh, F. Yazdin, S. Mofradnia, The effect of ZnO based carbonaceous materials for degradation of benzoic pollutants: a review, *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 16 (2019) 1729-1740.

- [17] J. Singha, S. Kumara, Rishiksha, A. K. Mannab, R. K. Sonia, Fabrication of ZnO–TiO<sub>2</sub> nanohybrids for rapid sunlight driven photodegradation of textile dyes and antibiotic residue molecules, *Optical Materials* 107 (2020) 110138.
- [18] M. Hosseini, A. Haghightazadeh, B. Mazinani, Enhanced photocatalytic performance in heterogeneous wurtzite ZnO/ anatase TiO<sub>2</sub> core/ shell nanostructures via controlled TiO<sub>2</sub> shell thickness, *Optical Materials* 92 (2019) 1-10.
- [19] D. Gupta, R. Chauhan, N. Kumar, V. Singh, V. C. Srivastava, P. Mohanty, T. K. Mandal, Enhancing photocatalytic degradation of quinoline by ZnO/TiO<sub>2</sub> mixed oxide: optimization of operating parameters and mechanistic study, *Journal of Environmental Management* 158 (2020) 110032
- [20] B. Ndemangou, V. T. Sielinou, J. C. Vardamides, M. S. Ali, M. Lateef, L. Iqbal, N. Afza, A. E. Nkengfack, Urease inhibitory isoflavonoids from different parts of *Calopogonium mucunoides* (fabaceae), *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry* 6 (2013) 1156–1161.
- [21] O. T. Osuntokun, O. S. Bakare, O. M. Bankole, O. A. Ayodele, Comparative study of *Ocimum gratissimum* mediated nanoparticles and conventional antibiotics against endophytic leguminous bacteria and selected clinical isolates, *Asian Journal of Advanced Research and Reports* 1 (2020) 42-59.
- [22] M. Pereira, E. Fantine, J. Sousa, Prenylated flavonoids from seeds of *Calopogonium mucunoides*, *Phytochem* 21 (1982) 448–449.
- [23] R. C. Misra, D. R. Pani, Note on *Calopogonium mucunoides* desv. (fabaceae): a new species record for eastern and central India, *Proc. National Academic of Science, India Section B Biological Sciences*, 86 (1) (2016) 211-216.
- [24] A. Maddu, C. A. Basuki, Irmansyah, S. Pramudito, Struktur dan sifat optik film ZnO hasil deposisi dengan teknik spin-coating melalui proses sol-gel, *Indonesian Journal of Materials Science* 3 (7) (2006) 85-90.

- [25] S. Ma, J. Xue, Y. Zhou, Z. Zhang, Photochemical synthesis of ZnO/Ag<sub>2</sub>O heterostructures with enhanced ultraviolet and visible photocatalytic activity, *J. Mater. Chem. A* 2 (2014) 7272-7280.
- [26] D. Ma, J. W. Shi, Y. Zou, Z. Fan, X. Ji, C. Niu, Highly efficient photocatalyst based on CdS quantum dots/ZnO nanosheets 0D/2D heterojunction for hydrogen evolution from water splitting, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 9 (2017) 25377-25386.
- [27] F. A. M. Al-Zahrani, R. M. El-Shishtawy, N. S. E. Ahmed, N. S. Awwad, M. S. Hamdy, A. M. Asiri, Photocatalytic decolourization of a new water-insoluble organic dye based on phenothiazine by ZnO and TiO<sub>2</sub> nanoparticles, *Arabian Journal of Chemistry* 13 (2020) 3633-3638.
- [28] P. S. Basavarajappa, S. B. Patil, N. Ganganagappa, K. R. Reddy, A. V. Raghu, C. V. Reddy, Recent progress in metal-doped TiO<sub>2</sub>, non-nanometal doped/codoped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> nanostructured hybrids for enhanced photocatalysis, *International Journal of Hydrogen Energy* 45 (13) (2020) 7764-7778.
- [29] U. Widiatannur, T. Usman, W. Rahmalia, Sintesis komposit berbasis TiO<sub>2</sub>-kitosan menggunakan metode hidrotomal, *Journal of Chemical Process Engineering* 2 (5) (2020) 37-43.
- [30] G. S. Guo, C. N. He, Z. H. Wang, F. B. Gu, D. M. Han, Synthesis of titania and titanate nanomaterials and their application in environmental analytical chemistry, *Talanta* 72 (2007) 1687-1692.
- [31] A. Z. Y. Qu, S. Ali, N. Sun, H. Lu, R. Yan, X. Zhang, L. Jing, Improved visible-light activities for degrading pollutants on TiO<sub>2</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanocomposites by decorating SPR Au nanoparticles and 2,4-dichlorophenol decomposition path, *J. Hazard. Mater.* 342 (2018) 715-723.
- [32] A. Gouthaman, J. A. Asir, A. Gnanaprakasam, V. M. Sivakumar, M. Thirumarimurugan, M. A. R. Ahamed, R. S. Azarudeen, Enhanced dye removal using polymeric nanocomposite through incorporation of Ag doped

- ZnO nanoparticles: synthesis and characterization, *Journal of Hazardous Materials* 373 (2019) 493-503.
- [33] M. B. Shekardasht, M. H. Givianrad, P. Gharbani, Z. Mirjafary, A. Mehrizad, Preparation of a novel Z-scheme g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/RGO/Bi<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>O<sub>9</sub> nanophotocatalyst for degradation of congo red dye under visible light, *Diamond & Related Materials* 109 (2020) 108008.
- [34] X. Wang, B. Deng, L. Yu, E. Cui, Z. Xiang, W. Lu. Degradation of azo dyes congo red by MnBi alloy powders: performance, kinetics, and mechanism, *Materials Chemistry and Physics* 251 (2020) 123096.
- [35] N. Suganthi, S. Thangavel, K. Kannan, Hibiscus subdariffa leaf extract mediated 2-D fern-like ZnO/TiO<sub>2</sub> hierarchical nanoleaf for photocatalytic degradation, *FlatChem* 24 (2020) 1-9.
- [36] M. A. Rauf, S. S. Ashraf, Fundamental principles and application of heterogeneous photocatalytic degradation of dyes in solution, *Chemical Engineering Journal* 151 (2009) 10-18.
- [37] B. Ulum, S. Ilyas, A. N. Fahri, I. Mutmainna, M. A. Anugrah, N. Yudasari, E. B. Demmalino, D. Tahir, Composite carbon-lignin/ zinc oxide nanocrystalline ball-like hexagonal mediated from *Jatropha curcas* L leaf as photocatalyst for industrial dye degradation, *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials* 30 (12) (2020) 4905-4916.
- [38] S. Yedurkar, C. Maurya, P. Mahanwar, Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles using *Coccinea* leaf extract –a green approach, *Open Journal of Synthesis and Applications* 1(5) (2016) 1-14.
- [39] D. Wu, C. Li, Q. Kong, S. Zaifeng, D. Zhang, L. Wang, L. Han, X. Zhang, Q. Lin, Photocatalytic activity of Lu<sup>3+</sup>/TiO<sub>2</sub> prepared by ball milling method, *Journal of Rare Earths* 8 (36) (2018) 819-825.
- [40] I. Choudhary, R. Shukla, A. Sharma, K Raina, Effect of excitation wavelength and europium doping on the optical properties of nanoscale zinc oxide, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 31 (2020) 20033-20042.



- [41] M. A. Gondal, A. M. Ilyas, U. Baig, Pulsed laser ablation in liquid synthesis of ZnO/TiO<sub>2</sub> nanocomposite catalyst with enhanced photovoltaic and photocatalytic performance, *Ceramic International* 42 (11) (2016) 13151-13160.
- [42] M. Jose, M. Elakiya, S. A. M. B. Dhas, Structural and optical properties of nanosized ZnO/ZnTiO<sub>3</sub> composite materials synthesized by a facile hydrothermal technique, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 28 (18) (2017) 13649-13658.
- [43] Y. C. Liang, C. Y. Hu, Y. C. Liang, Crystallographic phase evolution of ternary Zn-Ti-O nanomaterials during high temperature annealing of ZnO-TiO<sub>2</sub> nanocomposites, *Cryst. Eng. Comm.* 14 (2012) 5579-5584.
- [44] S. Mathur, M. Arya, R. Jain, S. K. Sharm
- [45] a, Effect of annealing temperature on structural, electrical, and optical properties of TiO<sub>2</sub> nanopowder, *J. Nanostruct.* 7 (2) (2017) 121-126.
- [46] S. Bagheri, K. Shameli, S. B. A. Hamid, Synthesis and characterization of anatase titanium dioxide nanoparticles using egg white solution via sol-gel method, *Journal of Chemistry* 2013 (2013) 848205.
- [47] N. Selvi, S. Sankar, K. Dinakaran, Effect of shell ZnO on the structure and optical property of TiO<sub>2</sub> core@shell hybrid nanoparticles, *J. Mater. Sci: Mater. Electron.* 26 (2015) 2271-2277.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian



**Gambar 1.** Proses pengeringan daun kacang kalopo (*Calopogonium mucunoides*)



**Gambar 2.** Ekstrak daun kacang kalopo (*Calopogonium mucunoides*)



**Gambar 3.** Sintesis komposit ZnO/TiO<sub>2</sub>

## Lampiran 2. Analisis Data

Tabel 1. Analisis data XRD untuk ukuran kristal komposit ZnO/TiO<sub>2</sub>

ZnO/TiO <sub>2</sub> (2,5g) 500°C						ZnO/TiO <sub>2</sub> (2,5g) 600 °C					
2θ (°)	θ (°)	θ (rad)	FWHM (°)	FWHM (rad)	D (nm)	2θ (°)	θ (°)	θ (rad)	FWHM (°)	FWHM (rad)	D (nm)
31,83	15,91	0,28	0,37	0,01	22,36	32,23	16,12	0,28	0,61	0,01	13,61
34,48	17,24	0,30	0,40	0,01	20,59	34,87	17,44	0,30	0,78	0,01	10,71
36,32	18,16	0,32	0,38	0,01	22,02	36,67	18,34	0,32	0,61	0,01	13,71
42,91	21,46	0,37	0,44	0,01	19,62	43,21	21,60	0,38	0,74	0,01	11,55
47,66	23,83	0,42	0,56	0,01	15,64	47,97	23,98	0,42	0,73	0,01	11,90
56,66	28,33	0,49	0,43	0,01	21,12	56,87	28,44	0,50	0,75	0,01	12,10
62,89	31,45	0,55	0,50	0,01	18,57	62,99	31,50	0,55	0,98	0,02	9,53
<b>Rata-rata</b>					<b>19,99</b>	<b>Rata-rata</b>					<b>11,87</b>

ZnO/TiO <sub>2</sub> (2,5g) 700°C						ZnO/TiO <sub>2</sub> (2,5g) 800°C					
2θ (°)	θ (°)	θ (rad)	FWHM (°)	FWHM (rad)	D (nm)	2θ (°)	θ (°)	θ (rad)	FWHM (°)	FWHM (rad)	D (nm)
32,20	16,10	0,28	1,56	0,03	5,32	31,94	15,97	0,28	0,54	0,01	15,45
34,71	17,35	0,30	1,21	0,02	6,89	34,64	17,32	0,30	0,54	0,01	15,56
36,54	18,27	0,32	1,02	0,02	8,22	36,41	18,21	0,32	0,49	0,01	17,16
43,12	21,56	0,38	0,89	0,02	9,55	42,91	21,45	0,37	0,46	0,01	18,59
47,88	23,94	0,42	1,00	0,02	8,73	47,91	23,95	0,42	0,45	0,01	19,32
56,86	28,43	0,50	1,12	0,02	8,07	56,59	28,30	0,49	0,53	0,01	16,88
62,90	31,45	0,55	1,41	0,02	6,61	63,02	31,51	0,55	0,45	0,01	20,88
<b>Rata-rata</b>						<b>Rata-rata</b>					
<b>ZnO/TiO<sub>2</sub> (5g) 500°C</b>						<b>ZnO/TiO<sub>2</sub> (5g) 600°C</b>					
20 (°)	θ (°)	θ (rad)	FWHM (°)	FWHM (rad)	D (nm)	20 (°)	θ (°)	θ (rad)	FWHM (°)	FWHM (rad)	D (nm)
32,03	16,01	0,28	0,47	0,01	17,69	32,14	16,07	0,28	0,48	0,01	17,18
34,66	17,33	0,30	0,56	0,01	14,89	34,83	17,41	0,30	0,62	0,01	13,45
36,50	18,25	0,32	0,52	0,01	16,13	36,62	18,31	0,32	0,50	0,01	16,86
43,10	21,55	0,38	0,59	0,01	14,43	43,22	21,61	0,38	0,58	0,01	14,66
47,84	23,92	0,42	0,61	0,01	14,18	47,94	23,97	0,42	0,59	0,01	14,86
56,79	28,40	0,50	0,63	0,01	14,25	56,90	28,45	0,50	0,60	0,01	15,14
63,08	31,54	0,55	0,50	0,01	18,52	63,14	31,57	0,55	0,65	0,01	14,32
<b>Rata-rata</b>						<b>Rata-rata</b>					
<b>15,73</b>						<b>15,21</b>					

ZnO/TiO <sub>2</sub> (5g) 700°C						ZnO/TiO <sub>2</sub> (5g) 800°C					
20 (°)	θ (°)	θ (rad)	FWHM (°)	FWHM (rad)	D (mm)	20 (°)	θ (°)	θ (rad)	FWHM (°)	FWHM (rad)	D (mm)
32,02	16,01	0,28	1,11	0,02	7,45	31,91	15,96	0,28	1,34	0,02	6,16
34,89	17,44	0,30	1,04	0,02	7,99	35,14	17,57	0,31	1,58	0,03	5,28
36,62	18,31	0,32	0,85	0,01	9,85	36,68	18,34	0,32	0,81	0,01	10,32
43,21	21,60	0,38	0,80	0,01	10,68	43,19	21,59	0,38	0,77	0,01	11,12
47,89	23,94	0,42	0,90	0,02	9,69	47,94	23,97	0,42	0,78	0,01	11,10
56,82	28,41	0,50	1,00	0,02	9,03	56,92	28,46	0,50	0,95	0,02	9,51
62,75	31,37	0,55	1,27	0,02	7,35	62,59	31,30	0,55	1,03	0,02	9,07
<b>Rata-rata</b>					<b>8,86</b>	<b>Rata-rata</b>					<b>8,94</b>

**Tabel 2.** Analisis data UV-Vis untuk persentase degradasi *congo red*

Sampel	Suhu (°C)	C <sub>0</sub>	C <sub>t</sub>							%D=[(C <sub>0</sub> -C <sub>t</sub> )/C <sub>0</sub> ].100						
			5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min		
ZnO/TiO <sub>2</sub> (2,5 g)	500	1,08	0,15	0,06	0,04	0,04	0,03	0,03	86,31	94,61	96,52	96,63	96,85	97,17		
	600	1,08	0,10	0,05	0,04	-	-	-	90,48	95,06	96,31	-	-	-		
	700	1,08	0,13	0,06	-	-	-	-	87,82	94,35	-	-	-	-		
ZnO/TiO <sub>2</sub> (5 g)	800	1,08	0,14	0,12	0,05	-	-	-	87,36	88,93	95,39	-	-	-		
	500	1,08	0,08	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	92,48	94,83	95,74	96,41	96,63	96,63		
	600	1,08	0,09	0,07	0,05	-	-	-	91,73	93,67	95,29	-	-	-		
ZnO/TiO <sub>2</sub> (5 g)	700	1,08	0,05	0,04	-	-	-	-	95,26	96,56	-	-	-	-		
	800	1,08	0,04	0,02	-	-	-	-	95,92	98,26	-	-	-	-		

