

**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:**

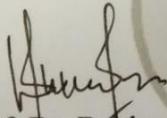
**ERVIANI RUSMAN**

**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

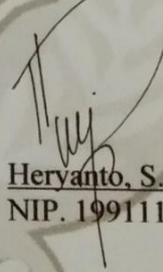
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



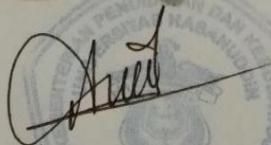
Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.  
NIP. 197509072000031006

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

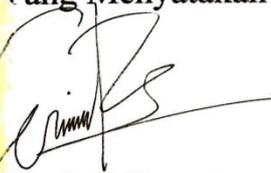
***Green Synthesis ZnO/TiO<sub>2</sub> Berbasis Ekstrak Daun Kacang Kalopo  
(*Calopogonium mucunoides*) untuk Meningkatkan Efektivitas Fotodegradasi  
Congo Red***

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**

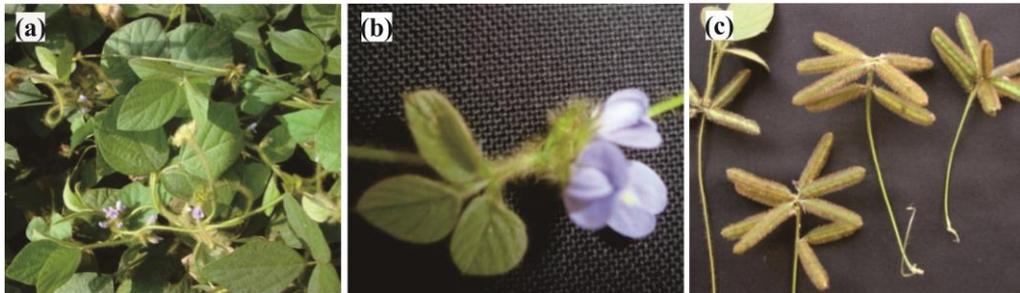
1. Mensintesis komposit ZnO/TiO<sub>2</sub> menggunakan ekstrak daun kacang kalopo (*Calopogonium mucunoides*) dengan metode *green synthesis*.
2. Menganalisis pengaruh suhu kalsinasi ZnO/TiO<sub>2</sub> terhadap efektivitas degradasi *congo red*.
3. Menganalisis pengaruh perbedaan konsentrasi TiO<sub>2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

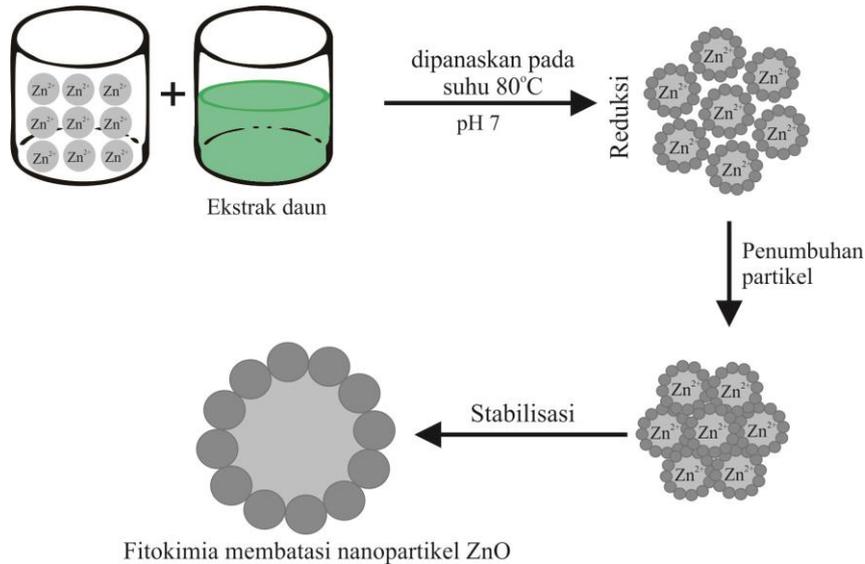
ZnO merupakan semikonduktor tipe-n yang memiliki energi ikat eksiton tinggi (60 meV) dan energi *band gap* 3,37 eV. Struktur kristal ZnO yaitu *wurtzite* heksagonal. Material ini memiliki potensi dalam aplikasi di berbagai bidang teknologi [24]. Semikonduktor ini memiliki sifat biokompatibilitas, fotokimia 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].

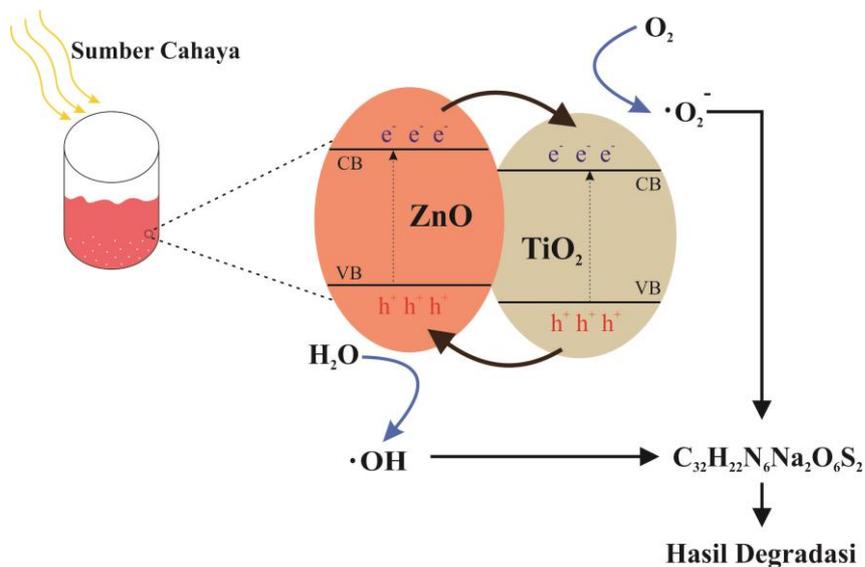
## II.6 Fotokatalis

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]:

