

*Skripsi*

**SINTESIS KOMPOSIT  $\text{GeO}_2$ /KARBON AKTIF SEBAGAI KATALIS  
DEGRADASI POLUTAN ORGANIK DI BAWAH CAHAYA TAMPAK**

**YULIA FAJRIANI**

**H021 18 1005**



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

**2022**

**SINTESIS KOMPOSIT  $\text{GeO}_2$ /KARBON AKTIF SEBAGAI KATALIS  
DEGRADASI POLUTAN ORGANIK DI BAWAH CAHAYA TAMPAK**

**SKRIPSI**

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

**YULIA FAJRIANI  
H021181005**

**DEPARTEMEN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2022**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**SINTESIS KOMPOSIT GeO<sub>2</sub>/KARBON AKTIF SEBAGAI KATALIS  
DEGRADASI POLUTAN ORGANIK DI BAWAH CAHAYA TAMPAK**

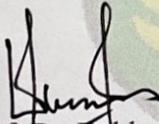
Disusun dan diajukan oleh:

**YULIA FAJRIANI**  
**H021181005**

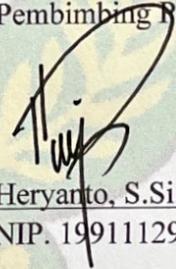
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin  
Pada 28 November 2022  
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

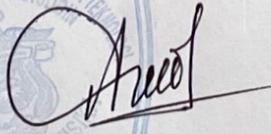
Pembimbing Utama

  
Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.  
NIP. 19750907 200003 1 006

Pembimbing Bertama

  
Heryanto, S.Si., M.Si.  
NIP. 19911129 202005 3 001

Ketua Program Studi,

  
Prof. Dr. Arifin, M.T  
NIP. 19670520 199403 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yulia Fajriani

NIM : H021181005

Program Studi : Fisika

Jenjang : S1

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa karya tulisan saya yang berjudul:

### **SINTESIS KATALIS $\text{GeO}_2$ /KARBON AKTIF SEBAGAI KATALIS DEGRADASI POLUTAN ORGANIK DI BAWAH CAHAYA TAMPAK**

Adalah karya tulis berdasarkan hasil pemikiran dan penelitian saya, bukan merupakan hasil pengambil alihan tulisan maupun pemikiran orang lain. Jika terdapat karya orang lain dalam skripsi ini, maka akan dicantumkan sumber yang benar dan jelas. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, jika dikemudian hari terdapat ketidakbenaran dan penyimpangan dalam pernyataan ini, maka saya berhak menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 28 November 2022



**Yulia Fajriani**  
**H021181005**

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

أَلْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ، اللَّهُمَّ صَلِّ عَلَى نَبِيِّكَ الْهَاسِمِيِّ مُحَمَّدٍ وَعَلَىٰ عِيَالِهِ وَسَلَّمَ تَسْلِيمًا

Segala puji penulis panjatkan kepada Allah *subhaanahu wa ta'ala*, Tuhan Pencipta Alam Semesta, Yang Mahaperkasa, Maha Mengetahui, Maha Melihat, Maha Mendengar, yang atas pertolongan-Nya penulis mampu menyelesaikan babak akhir pendidikan sarjana penulis. Shalawat dan salam penuliskan kirimkan kepada Rasulullah *shallallahu 'alaihi wa sallam* dan keluarga serta sahabatnya, yang darinyalah penulis mendapat contoh bagaimana cara bersikap terhadap berbagai macam kondisi dan situasi yang terjadi dalam kehidupan di dunia.

Berawal dari rasa ingin tahu lebih dalam mengenai energi terbarukan, penulis memutuskan untuk memilih Laboratorium Material dan Energi sebagai pintu terakhir sebelum menyelesaikan pendidikan di Universitas Hasanuddin. Atas izin Allah *subhaanahu wa ta'ala*, penulis diberi amanah untuk melakukan penelitian mengenai fotokatalis hingga akhirnya rampung menjadi sebuah skripsi dengan judul “**Sintesis Komposit GeO<sub>2</sub>/Karbon Aktif Sebagai Katalis Degradasi Polutan Organik di Bawah Cahaya Tampak**”. Selama proses penelitian, penulis mengalami banyak rintangan yang tidak hanya menguji kemampuan berpikir dan analisis, tetapi juga menguji kesabaran, mental, dan kedewasaan. Oleh karena itu, melalui ini penulis ingin menghaturkan rasa syukur dan terima kasih kepada pihak yang telah mendukung dan membantu penulis hingga terselesaikannya skripsi ini:

1. Kepada orang tua: Ayah **Alismar** dan Ibu **Asna**, yang tidak pernah berhenti mendo'akan kebaikan, kesuksesan, dan kekuatan untuk penulis. Terima kasih Ayah dan Ibu, karena telah sabar menunggu penulis menyelesaikan penelitian, terima kasih karena tidak pernah menyalahkan penulis akan keterlambatan penulis, terima kasih atas kepercayaan yang diberikan kepada penulis, dan terima kasih atas dukungan materinya selama ini.
2. Kepada kedua saudari: Kakak **Siti Ragiba Fih** dan Adik **Khairunnisa Azzahra**, yang selalu memberi dukungan kepada penulis. Terkhusus kepada Kakak (uni), terima kasih karena telah menjadi sahabat penulis, menemani

penulis ketika sakit, menjenguk ketika dalam kondisi tidak baik, memberi hadiah-hadiah sebagai penyemangat, dan secara tidak langsung menjadi contoh bagi penulis untuk menjadi sosok yang tangguh, manusia yang beradab, sopan dan santun.

3. Kepada Dosen Pembimbing: Bapak **Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.**, dan Bapak **Heryanto, S.Si., M.Si.**, terima kasih atas kesabarannya selama ini, terima kasih atas ilmu yang dibagikan, waktu yang diberikan, kepercayaan yang diamanatkan, dan contoh yang ditunjukkan tentang bagaimana menjadi seorang peneliti sekaligus pengajar.
4. Kepada Dosen Penguji: Bapak **Prof. Dr. Paulus Lobo Gareso, M.Sc.**, dan Bapak **Prof. Dr. Arifin, M.T.**, terima kasih atas waktu yang telah diluangkan, pertanyaan dan saran yang diberikan, serta ketika penulis masih berada di semester awal perkuliahan selalu memberikan dukungan, dorongan, dan kepercayaan yang membuat penulis termotivasi untuk menjadi mahasiswa yang lebih baik.
5. Kepada Dosen Pembimbing Akademik: Ibu **Prof. Dr. Sri Suryani, DEA.**, terima kasih atas arahan dan masukan yang diberikan selama masa perkuliahan penulis.
6. Kepada Bapak & Ibu **Dosen Departemen Fisika**, terima kasih atas ilmu yang diajarkan, pengalaman yang dibagikan untuk dijadikan sebagai motivasi dan bukti bahwa dimana ada keinginan di situ ada jalan, dan atas kebaikan serta kesabarannya selama masa perkuliahan penulis.
7. Kepada Ibu & Bapak Staf Departemen Fisika: **Bu Rana, Bu Evi**, dan **Pak Syukur** (serta **Pak Ali**), terima kasih karena telah membantu penulis selama proses pengurusan berkas dan dokumen, terima kasih karena telah peduli dan mendukung penulis, dan terima kasih untuk canda dan tawa yang dibagikan kepada penulis. Terima kasih pula kepada Bapak & Ibu **Staf FMIPA** yang telah membantu dan memudahkan penulis selama proses pengurusan berkas di tingkat Fakultas.
8. Kepada **Muhammad Nur Nasyrah**, terima kasih karena telah menjadi seseorang yang datang dan membantu mengatasi fobia sosial penulis sedikit

demi sedikit, mengajak penulis untuk membahas artikel tentang material, serta memberikan dorongan dan dukungan kepada penulis untuk menyelesaikan penulisan skripsi.

9. Kepada Tim PDPA: **Dei Erwina, Vika Sri Anti,** dan **Nurul Fajri Ramadhani Tang**, terima kasih atas kerjasamanya selama ini, mulai dari awal penelitian, pengolahan dan analisis data, pengurusan berkas, hingga artikel yang berhasil di-*Submit*. Terima kasih karena telah menjadi teman yang suportif dan peduli terhadap kondisi penulis.
10. Kepada **Siti Nurhayati** dan **Nur Aqila Ismail**, terima kasih karena bersedia menjadi sahabat penulis, bukan hanya di dunia tetapi juga di akhirat *in shaa Allah*. Terima kasih karena selalu mengingatkan penulis untuk bertawakkal kepada Allah *subhaanahu wa ta'ala*. Terima kasih atas ilmu agama yang diajarkan, dan terima kasih atas dukungan mental dan spiritualnya, yang dengan itu penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan hati yang tenang dan ikhlas.
11. Kepada Teman Fisika 2018: **Maya, Syarif, Hadi, Raudha, Gebi, Yuni, Hilal, Ten** a.k.a. **Dayat, Indra**, dan seluruh teman-teman yang tidak dituliskan namanya satu per satu, terima kasih atas dukungan dan bantuan yang diberikan pada penulis selama ini. Terima kasih karena telah menjadi teman seperjuangan mulai dari mahasiswa baru hingga mahasiswa tingkat akhir.
12. Kepada Senior di Laboratorium Material dan Energi: **Kak Roni, Kak Naya, Kak Fahri, Kak Ola**, dan senior yang tidak dituliskan namanya satu per satu, terima kasih atas kebaikannya selama penulis melaksanakan penelitian. Terima kasih atas pengalaman yang dibagikan, motivasi yang ditanamkan, cerita-cerita yang dikisahkan, dan bantuan yang diberikan kepada penulis.

Makassar, 20 November 2022

Penulis  
Yulia Fajriani

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	2
I.3 Tujuan Penelitian .....	2
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>3</b>
II.1 Fotokatalis.....	3
II.2 Metode <i>Sol-Gel</i> .....	4
II.3 Karbon Aktif .....	4
II.4 Germanium Dioksida (GeO <sub>2</sub> ) .....	5
II.3 Metilen Biru .....	5
II.4 <i>Congo Red</i> .....	6
<b>BAB III. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>7</b>
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	7
III.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	7
III.2.1 Alat .....	7
III.2.2 Bahan.....	7
III.3 Prosedur Penelitian.....	8
III.3.1 Preparasi Katalis GeO <sub>2</sub> /Karbon Aktif .....	8

III.3.2 Uji Fotokatalis .....	8
III.4 Karakterisasi Material .....	9
III.5 Bagan Alir Penelitian .....	10
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>11</b>
IV.1 Analisis XRD .....	11
IV.2 Analisis FTIR .....	12
IV.3 Analisis UV-Vis .....	13
IV.4 Aktivitas Fotokatalitik.....	14
IV.5 Kemampuan Adsorpsi .....	15
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>17</b>
V.1 Kesimpulan.....	17
V.2 Saran .....	17
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>18</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>22</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Skema dari mekanisme fotokatalisis .....	4
<b>Gambar 2.2</b> Proyeksi struktur <i><math>\alpha</math>-quartz-like</i> (kiri) dan <i>rutile-like</i> (kanan) .....	5
<b>Gambar 2.3</b> Struktur molekul metilen biru.....	6
<b>Gambar 2.4</b> Struktur molekul sintesis pewarna <i>congo red</i> .....	6
<b>Gambar 3.1</b> Bagan alir penelitian .....	10
<b>Gambar 4.1</b> Spektrum XRD katalis G-0 dan G-5 (a) pada $2\theta = 20-70^\circ$ , dan (b) pada $2\theta = 26,3-27,5^\circ$ .....	11
<b>Gambar 4.2</b> Spektrum FTIR katalis G-0, G-1, G-3, dan G-5 pada Panjang gelombang: (a) $3698-300\text{ cm}^{-1}$ , dan (b) $670-300\text{ cm}^{-1}$ .....	12
<b>Gambar 4.3</b> Spektrum hasil karakterisasi Spektroskopi UV-Visible (a) polutan MB pada rentang panjang gelombang 380-720 nm, dan (b) polutan CR pada rentang panjang gelombang 380-680 nm .....	13
<b>Gambar 4.4</b> Grafik kuantitas adsorpsi katalis G-0, G-1, G-3, dan G-5 untuk polutan (a) MB, dan (b) CR.....	16

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b> Nilai jarak antar kisi ( <i>d-spacing</i> ), lebar puncak (FWHM), dan ukuran kristal katalis G-0 dan G-5.....	12
<b>Tabel 4.2</b> Nilai energi celah pita dan panjang gelombang tepi absorpsi katalis ...	14
<b>Tabel 4.3</b> Persentasi degradasi G-0, G-1, G-3, dan G-5 untuk polutan MB dan CR .....	15
<b>Tabel 4.4</b> Kuantitas adsorpsi G-0, G-1, G-3, dan G-5 untuk polutan MB dan CR .....	16

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Perhitungan Ukuran Kristal dari Data XRD.....	22
<b>Lampiran 2</b> Perhitungan Nilai <i>Bandgap</i> Sampel.....	23
<b>Lampiran 3</b> Perhitungan Persentase Degradasi Polutan MB dan CR .....	24
<b>Lampiran 4</b> Perhitungan Kuantitas Adsorpsi Polutan MB dan CR.....	27
<b>Lampiran 5</b> Dokumentasi Penelitian .....	30
<b>Lampiran 6</b> Skema Penelitian.....	31

## ABSTRAK

Telah dilakukan sintesis komposit GeO<sub>2</sub>/Karbon Aktif melalui metode *sol-gel* yang digunakan sebagai katalis fotodegradasi polutan organik metilen biru dan *congo red*. Komposit dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD) untuk mengetahui struktur komposit, dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) *Spectroscopy* untuk menganalisis ikatan kimia dan gugus fungsi dalam material komposit. Rentang absorpsi komposit yang diperoleh dari uji *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis) *Spectrophotometer* berada pada panjang gelombang 550-700 nm untuk metilen biru, dan 450-550 nm untuk *congo red*. Energi celah pita komposit dihitung dan diperoleh nilai di bawah 4,5 eV. Diketahui kemampuan adsorpsi komposit meningkat seiring peningkatan waktu iradiasi polutan.

***Kata Kunci:*** Fotokatalisis, metilen biru, congo red, degradasi, adsorpsi

## ABSTRACT

*Synthesis of GeO<sub>2</sub>/Activated Carbon composites has been carried out using the sol-gel method which is used as a catalyst for the photodegradation of organic pollutants methylene blue and congo red. Composites were characterized using X-Ray Diffractometer (XRD) to determine the composite structure, and Fourier Transform Infra-Red (FTIR) Spectroscopy to analyze chemical bonds and functional groups in composite materials. The absorption range of the composites obtained from the Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spectrophotometer test is at a wavelength of 550-700 nm for methylene blue, and 450-550 nm for congo red. The band gap energy of the composite is calculated and the value is below 4.5 eV. It is known that the adsorption ability of the composite increases with the increase in pollutant irradiation time.*

**Keywords:** *Photocatalysis, methylene blue, congo red, degradation, adsorption*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Pencemaran air telah menjadi salah satu masalah global yang mempengaruhi kesehatan dan kualitas hidup manusia yang bersumber dari aktivitas alam dan aktivitas manusia. Aktivitas manusia seperti industri pewarna tekstil menghasilkan air limbah yang mengandung zat beracun seperti pewarna kationik dan pewarna azo yang langsung dibuang ke sungai tanpa mengalami pengolahan terlebih dahulu. Salah satu upaya pengolahan air limbah industri yaitu melalui sistem *Advanced Oxidation Process* (AOP). Senyawa organik kompleks dalam air limbah yang sukar terdegradasi secara biologis akan dioksidasi menjadi senyawa sederhana yang tidak berbahaya. Proses fotokatalis semikonduktor menjadi salah satu upaya yang berkembang pesat dalam mendegradasi air limbah karena keunggulannya seperti ramah lingkungan, efisiensi tinggi, dan biaya rendah [1-3].

Aktivitas fotokatalis dapat berlangsung jika tidak terjadi rekombinasi elektron-*hole* [4], agar proses oksidasi dan reduksi muatan berlangsung. Material seperti seperti TiO<sub>2</sub>, ZnO, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> umum digunakan pada aktivitas fotokatalis karena memiliki celah pita yang lebar sehingga dapat mencegah rekombinasi elektron-*hole* [5]. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik suatu material yaitu dengan mengatur lebar celah pita dari material itu sendiri. Melalui pengaturan celah pita, rekombinasi elektron-*hole* dapat diminimalkan [6]. Namun perlu dikembangkan material-material lain yang memiliki kemampuan yang lebih baik dari material-material yang telah digunakan sebelumnya.

Bahan karbon baik material makro, mikro maupun nano biasa digunakan sebagai zat pendukung semikonduktor untuk fotokatalis. Karbon aktif merupakan salah satu jenis karbon yang banyak digunakan dalam mengadsorpsi molekul karena luas permukaannya yang besar dan strukturnya yang berpori [7]. Berdasarkan penelitian [8], karbon aktif yang akan digunakan memiliki nilai celah pita 4,5 eV. Meskipun pada penelitian sebelumnya karbon aktif digunakan sebagai material pendukung, pada penelitian ini karbon aktif akan digunakan sebagai

matriks komposit. Sedangkan material pengisi yang digunakan yaitu germanium dioksida ( $\text{GeO}_2$ ) dengan celah pita  $\sim 5$  eV [9].  $\text{GeO}_2$  sebagai zat yang memiliki toksisitas rendah [10] diharapkan mampu menggantikan material semikonduktor lain yang telah banyak digunakan.

Metode yang akan digunakan yaitu *sol-gel*, dimana karbon aktif akan disintesis bersama  $\text{GeO}_2$  dengan komposisi  $\text{GeO}_2$  0, 1, 3, dan 5%. Melalui penambahan  $\text{GeO}_2$  sebagai material pengisi karbon aktif, diharapkan dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik melalui penurunan nilai celah pita, sehingga dapat meningkatkan transfer elektron dan *hole* ke permukaan material semikonduktor. Aktivitas fotokatalitik akan diuji menggunakan zat pewarna metilen biru (MB) dan *congo red* (CR) di bawah sinar tampak. Pengambilan sampel untuk pewarna MB dilakukan setiap satu menit selama lima menit, sedangkan untuk pewarna CR dilakukan setiap 10 menit selama 30 menit. Kemudian akan digunakan Spektrofotometer Ultraviolet-Visible untuk mengukur spektrum absorbansi katalis. Nilai absorbansi kemudian akan digunakan untuk menghitung persentase degradasi dan kuantitas adsorpsi katalis.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kemampuan komposit  $\text{GeO}_2$ /Karbon Aktif dalam mendegradasi metilen biru dan *congo red*?
2. Bagaimana kemampuan adsorpsi komposit  $\text{GeO}_2$ /Karbon Aktif?

## **I.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian sebagai berikut:

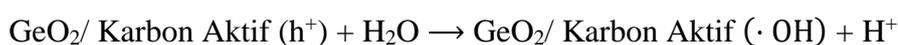
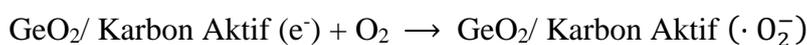
1. Menganalisis kemampuan komposit  $\text{GeO}_2$ /Karbon Aktif dalam mendegradasi metilen biru dan *congo red*.
2. Menganalisis kemampuan adsorpsi komposit  $\text{GeO}_2$ /Karbon Aktif.

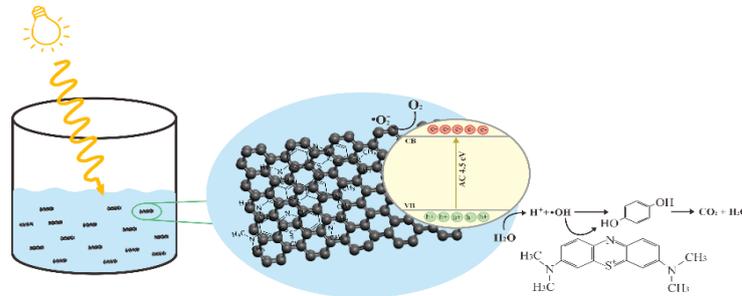
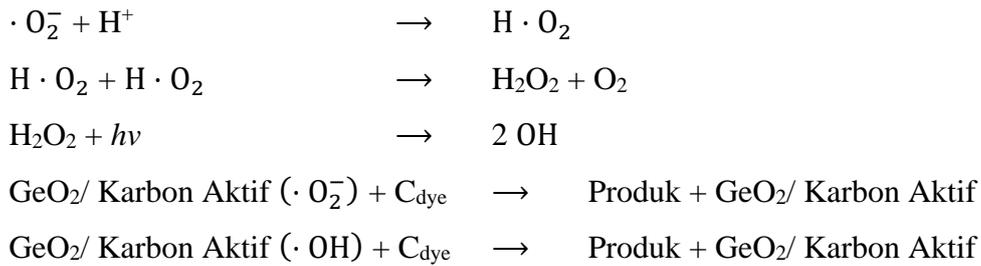
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### II.1 Fotokatalis

Fotokatalis merupakan proses mempercepat reaksi kimia yang diinisiasi oleh keberadaan cahaya. Material yang digunakan pada proses fotokatalis disebut material fotokatalis. Berdasarkan terminologi, fotokatalis terdiri dari kata foton dan katalis. Foton berarti cahaya, katalis artinya bahan yang dapat mempercepat terjadinya suatu reaksi tanpa ikut dalam reaksi itu sendiri [5].

Hal yang menjadikan proses fotokatalis penting karena dapat menjalankan reaksi oksidasi dan reduksi secara bersamaan. Proses fotokatalis diawali dengan datangnya foton mengenai permukaan material fotokatalis, dan melakukan transfer energi dari foton ke muatan yang ada pada pita valensi material. Jika energi yang ditransfer oleh foton lebih besar atau sama dengan energi celah antara tepi pita valensi atas dan pita konduksi bawah, maka muatan elektron yang ada pada pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi. Elektron yang meninggalkan pita valensi akan menyisakan *hole* pada pita valensi. Dari proses ini, dihasilkan pasangan elektron-*hole*. Umumnya pada material semikonduktor, elektron dan *hole* akan melakukan rekombinasi sehingga elektron yang ada pada pita konduksi akan kembali ke pita valensi. Akan tetapi, apabila terjadi rekombinasi elektron-*hole*, proses fotokatalis tidak dapat dilanjutkan. Agar proses fotokatalis dapat berlanjut, harus ada muatan yang dapat menarik elektron dan *hole* ke permukaan material. Dalam hal ini, karena proses fotokatalis dilakukan di dalam air, maka akan ada molekul H<sub>2</sub>O dan O<sub>2</sub> di dalam air. Masing-masing dari molekul tersebut menarik muatan elektron dan *hole* ke permukaan material. H<sub>2</sub>O menarik *hole*, O<sub>2</sub> menarik elektron. Akibat dari reaksi dari H<sub>2</sub>O-*hole*, dan O<sub>2</sub>-elektron, akan dihasilkan radikal hidroksil dan radikal anion superoksida, berturut-turut. Kedua radikal tersebut bertugas memutus ikatan kimia polutan (yaitu MB dan CR). Reaksi kimia dari proses fotokatalis lebih jelasnya dapat dilihat pada reaksi berikut.





**Gambar 2.1** Skema dari mekanisme fotokatalisis.

## II.2 Metode *Sol-Gel*

Salah satu metode sintesis katalis yang banyak digunakan yaitu *sol-gel*. *Sol* singkatan dari *solution* memiliki arti suspensi molekul dari partikel padat ion dalam pelarut, yang kemudian membentuk jaringan yang koheren (*gel*) ketika pelarut mulai menguap dan molekul dari partikel padat ion yang tertinggal mulai bergabung antara satu sama lain [11].

Metode *sol-gel* termasuk metode yang ramah lingkungan dan berbiaya rendah. Keuntungan lain dari metode ini yaitu dapat menghasilkan material dengan luas permukaan yang tinggi dan stabil [12]. Metode ini juga efektif dalam memodifikasi permukaan material yang disintesis karena dapat mengatur komposisi kimia dan struktur mikro material [12,13], serta menghasilkan material campuran dengan tingkat homogenitas yang tinggi [14]. Berdasarkan hal tersebut, metode *sol-gel* berpotensi menghasilkan material katalis yang memiliki aktivitas fotokatalitik yang tinggi dalam mendegradasi polutan yang terkandung di dalam air limbah industri pewarna tekstil.

## II.3 Karbon Aktif

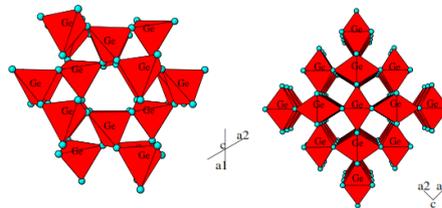
Karbon aktif memiliki struktur berpori dan luas permukaan partikel yang besar. Struktur ini diperoleh melalui dua langkah preparasi: langkah pertama yaitu pembakaran material organik seperti kelapa, kayu, atau kulit kenari. Langkah kedua

(aktivasi material) dilakukan dengan pemaparan material hasil pembakaran pada suhu tinggi dengan gas pengoksidasi (contohnya, CO<sub>2</sub> atau uap). Struktur tersebut menjadikan karbon aktif sebagai penyerap (*adsorbent*) yang paling banyak digunakan [15].

Karakteristik yang dimiliki oleh karbon aktif yaitu permukaannya hidrofobik, artinya tidak dapat menyerap air dengan baik. Hal ini menjadikannya sebagai *adsorbent* yang selektif ketika digunakan di dalam air. Sehingga energi yang dibutuhkan dalam mengadsorpsi molekul organik relatif sedikit bila dibandingkan dengan *adsorbent* lain [15].

#### II.4 Germanium Dioksida (GeO<sub>2</sub>)

Ketika berada dalam tekanan dan suhu ambien, krsital GeO<sub>2</sub> memiliki dua bentuk polimorf, yaitu struktur trigonal (heksagonal) *α-quartz-like* atau struktur tetragonal *rutile-like* [16].



**Gambar 2.2** Proyeksi struktur *α-quartz-like* (kiri) dan *rutile-like* (kanan) [16].

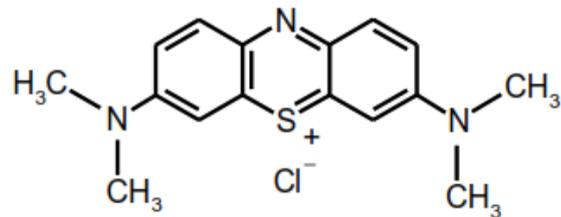
Polimorf GeO<sub>2</sub> berstruktur *rutile-like* terbentuk ketika berada pada suhu ruang yang stabil. Struktur ini akan berubah menjadi struktur *α-quartz-like* ketika berada pada suhu 1281 K. Ketika berada dalam bentuk *rutile-like*, kompresi struktur terjadi melalui kemiringan (*tilting*) tetrahedra, yang ditandai dengan perubahan sudut O-Ge-O. Sedangkan *α-quartz-like* mengalami kompresi struktur dimana ikatan oksigen mengalami perubahan sudut [17].

Pada penelitian yang akan dilakukan, GeO<sub>2</sub> akan dijadikan sebagai material pengisi pada karbon aktif, untuk diaplikasikan sebagai fotokatalis dalam proses degradasi limbah tekstil, yaitu MB dan CR.

#### II.5 Metilen Biru

Metilen biru merupakan pewarna kationik dengan formula C<sub>16</sub>H<sub>18</sub>N<sub>3</sub>SCl yang pertama kali disintesis oleh Heinrich Caro dan Soda Fabrik dan digunakan pada

industri tekstil pada tahun 1876 [17]. Pewarna ini berasal dari fenotiazin yang dapat larut dalam air dan beberapa pelarut organik, memiliki warna bubuk hijau gelap dan berubah menjadi biru ketika dilarutkan dalam air [18]. Pewarna ini dapat menyebabkan cedera permanen pada mata manusia, iritasi pada saluran pencernaan, dan iritasi kulit [19].

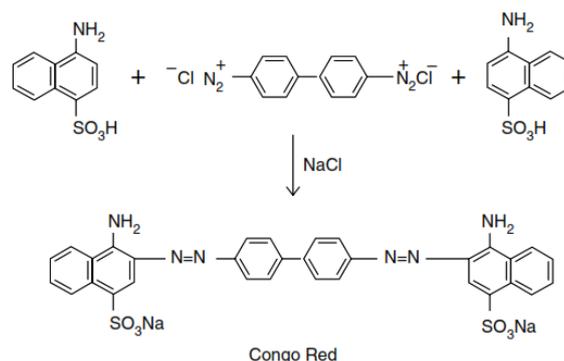


**Gambar 2.3** Struktur molekul metilen biru [19].

## II.6 Congo Red

*Congo red* merupakan pewarna langsung pertama yang ditemukan pada tahun 1883 oleh Paul Bottinger. Sintesis *congo red* dilakukan melalui pencampuran dua molekul asam naftenat dengan benzidin bis-diazotisasi. Hasil campuran ini berupa pewarna dengan warna biru. Pewarna ini kemudian dicampurkan dengan natrium klorida, mengubah warna biru yang awalnya diperoleh menjadi warna merah (Gambar 2.4) [20].

Pewarna ini memiliki stabilitas fisik, optik, kimia, dan termal yang tinggi disebabkan oleh struktur aromatikanya yang kompleks, sehingga sulit bagi air limbah industri tekstil yang mengandung pewarna *congo red* untuk terdegradasi [21]. Selain sukar terdegradasi, *congo red* juga berbahaya bagi manusia karena mengandung benzidin yang memiliki efek karsinogenik [20,21], yang dapat memicu pertumbuhan sel kanker dalam tubuh.



**Gambar 2.4** Struktur molekul sintesis pewarna *congo red* [20].