

TESIS

**SINTESIS BIO-KOMPOSIT $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ /KITOSAN/AC MENGGUNAKAN
METODE *MECHANICAL ALLOYING* SEBAGAI MATERIAL
FOTOKATALIS LIMBAH CAIR**

ANDI TESSIWOJA TENRI OLA

H032221009



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**SINTESIS BIO-KOMPOSIT $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ /KITOSAN/AC MENGGUNAKAN METODE
MECHANICAL ALLOYING SEBAGAI MATERIAL FOTOKATALIS LIMBAH CAIR**

T E S I S

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

ANDI TESSIWOJA TENRI OLA

H032221009

**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**SINTESIS BIO-KOMPOSIT $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ /KITOSAN/AC MENGGUNAKAN METODE
MECHANICAL ALLOYING SEBAGAI MATERIAL FOTOKATALIS LIMBAH CAIR**

Disusun dan diajukan oleh

ANDI TESSIWOJA TENRI OLA

H032221009

Telah Dipertahankan di Hadapan Panitia Ujian yang Dibentuk dalam Rangka Penyelesaian
Studi Program Magister Program Studi Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu
Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin
Pada Tahun 2023
Dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Kelulusan

Menyetujui

Penasehat Utama,

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

Penasehat Pendamping,

Prof. Dr. Ir. Bidayatul Armynah, M.T.
NIP. 19630830 18903 2 001

Ketua Program Studi,

Prof. Dr. Ir. Bidayatul Armynah, M.T.
NIP. 19630830 18903 2 001



Dr. Eng. Amiruddin, M.Si.
NIP. 19720515 199702 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andi Tessiwoja Tenri Ola
NIM : H032221009
Program Studi : Fisika
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**SINTESIS BIO-KOMPOSIT $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ /KITOSAN/AC MENGGUNAKAN
METODE *MECHANICAL ALLOYING* SEBAGAI MATERIAL
FOTOKATALIS LIMBAH CAIR**

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

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut,

Makassar, 24 November 2023

Yang Menyatakan,


05AKX704264477
Andi Tessiwoja Tenri Ola

ABSTRAK

Proses produksi dari industri pewarna menarik perhatian dengan menghasilkan produk yang membantu pekerjaan manusia. Pewarna yang digunakan dibuang ke badan air sehingga menimbulkan dampak negatif pada ekosistem air dan mengurangi ketersediaan air bersih. Salah satu cara dalam mengatasi masalah limbah cair pewarna yaitu dengan proses fotokatalis. Penelitian ini berfokus pada material fotokatalis memanfaatkan sinar tampak yaitu $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ yang dicampurkan dengan Kitosan/AC untuk mendegradasi polutan pewarna *Congo Red*. Material $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ dicampurkan Kitosan/AC dengan variasi komposisi massa 30%, 50%, dan 70% dengan metode *Mechanical Alloying*. Hasil karakterisasi XRD memperlihatkan campuran $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ /Kitosan/AC memiliki jarak antar atom semakin besar dan ukuran kristal seiring bertambahnya komposisi massa campuran Kitosan/AC. Hasil karakterisasi FTIR memperlihatkan material $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ dan Kitosan/AC tercampur dengan terbentuknya ikatan Fe-O-Ca dan terjadi pergeseran puncak ke gugus fungsi N-H. Hasil karakterisasi UV-Vis memperlihatkan nilai absorbansi setelah pengujian fotokatalis mengalami penurunan. Aktivitas fotokatalis dilakukan menggunakan polutan *Congo Red* dan didapatkan hasil yang optimal yaitu persentase degradasi 95,176% menggunakan material katalis $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ dengan komposisi massa katalis 0,500 g pada durasi penyinaran 10 menit didukung dengan laju kinetik fotodegradasi yang tinggi. Akan tetapi, penggunaan komposisi campuran Kitosan/AC pada material $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ /50%(Kitosan/AC) dan $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ /70%(Kitosan/AC) mengalami ternyata menurunkan persentase degradasi polutan *Congo Red*. Secara keseluruhan, penelitian ini mengatasi masalah dengan mendegradasi polutan air diakibatkan limbah cair pewarna menggunakan material katalis yang mampu bekerja pada sinar tampak.

Kata kunci: $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$, Kitosan, *Activated Carbon*, *Mechanical Alloying*, Fotokatalis, *Congo Red*.

ABSTRACT

The production process of the dye industry attracts attention by producing products that help human work. The dyes used are thrown into water bodies, causing a negative impact on the water ecosystem and reducing the availability of clean water. One way to overcome the problem of liquid dye waste is with a photocatalyst process. This research focuses on photocatalyst materials using visible light, namely $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ which is mixed with Chitosan/AC to degrade dye pollutants Congo Red. Material $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ mixed Chitosan/AC with variations in mass composition of 30%, 50%, and 70% using the method Mechanical Alloying. The XRD characterization results show a mixture of $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ /Chitosan/AC has an increasing interatomic distance and crystal size as the mass composition of the Chitosan/AC mixture increases. FTIR characterization results show that the material is $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ and Chitosan/AC is mixed with the formation of Fe-O-Ca bonds and a peak shift occurs to the N-H functional group. The UV-Vis characterization results show that the absorbance value after photocatalyst testing has decreased. Photocatalytic activity is carried out using pollutants Congo Red and obtained optimal results, namely a degradation percentage of 95.176% using catalyst material $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ with a catalyst mass composition of 0.500 g at a irradiation duration of 10 minutes supported by a high kinetic rate of photodegradation. However, the use of a Chitosan/AC mixture composition on $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ / 50%(Chitosan/AC) and $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ / 70%(Chitosan/AC has apparently reduced the percentage of pollutant degradation Congo Red. Overall, this research overcomes the problem by degrading water pollutants caused by liquid dye waste using a catalyst material that is able to work on visible light.

Keywords: $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$, Chitosan, Activated Carbon, Mechanical Alloying, Photocatalyst, Congo Red.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur atas kehadiran **Allah SWT** atas berkah, rahmat dan karunia-Nya, Tuhan Yang Maha Kuasa. Salawat serta salam panjatkan kepada baginda **Rasulullah Nabi Muhammad SAW**, Nabi yang membaea syafaat kepada umat Islam. *Alhamdulillahirabbil Alamin*, penulis telah diberikan kesehatan dan kesempatan sehingga dapat menyelesaikan penyusunan tesis dengan judul **“Sintesis Bio-Komposit $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ /Kitosan/AC Menggunakan Metode *Mechanical Alloying* sebagai Material Fotokatalis Limbah Cair”** yang merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Magister Sains di Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Dalam penyelesaian tesis penulis telah mengalami pembelajaran baru dari tahap awal penelitian hingga tahap penyusunan tesis. Oleh karena itu, penulis menyadari bahwa penulisan tesis ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan pengetahuan yang dimiliki oleh penulis. Namun atas kehendak-Nya dan dukungan dari banyak pihak yang sangat berarti sehingga penulis mampu dan semangat untuk menyelesaikan penyusunan tesis ini. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada: Orang tua tercinta, Ayahanda **Alm. Ahmad Khaeruddin** dan Ibunda **Andi Rasdiyanti** yang selalu mengirimkan doa, memberikan kasih sayang, perhatian, semangat, nasehat dan dukungan baik secara moral maupun materi. Tesis ini dibuat khusus agar kedua orang tua tetap semangat dan senang tiasa diberi Kesehatan dari Allah SWT serta meridhoi penulis untuk senang tiasa membanggakan dan membahagiakan beliau.

1. **Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.** selaku Dosen Penasehat Utama, Kepala Labaoratorium Material dan Energi, Kepala Tim PMC University dan **Prof. Dr. Ir. Bidayatul Armynah, M.T.** selaku Dosen Penasehat Akademik (PA),

Dosen Penasehat Pendamping, Ketua Prodi Magister Fisika yang telah banyak membantu dalam segala aspek baik akademik maupun *non* akademik, membimbing dan meluangkan waktu, tenaga, serta pemikirannya untuk penulis sehingga tesis ini dapat terselesaikan baik.

2. **Prof. Dr. Paulus Lobo Gareso, M. Sc, Prof. Dr. rer-nat Wira Bahari Nurdin dan Prof. Dr. Sri Suryani, DEA.** selaku Dosen Penguji ramah yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan saran dan ilmu untuk menjadikan tesis ini lebih baik.
3. **Prof. Dr. Arifin, MT** selaku Ketua Departemen Fisika serta **Bapak dan Ibu Dosen Pengajar Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin**, terima kasih telah senantiasa memberikan ilmu yang bermafaat dan menjadi bekal yang bermanfaat untuk masa depan.
4. **Bapak/Ibu Staf Pegawai FMIPA UNHAS**, terutama **Staf Departemen Fisika; Ibu Evi dan Kakak Rana** yang selalu membantu selama proses administrasi di departemen hingga kampus dan keramahan serta cemilannya.
5. Anggota PMC University, **Kak Heryanto, Kak Inayatul Mutmainnah, Kak Muftihaturrahmi, Kak Fahrul Bakri, Kak Febrianti Mahrani Kolly, Kak Andi Uswatun Hasanah, Kak Nursafitri, Kak Nurvadillah Angraini, Ardiansyah, Yusnita Sari, Nurul Fajri R. Tang, Muhammad Azlan, Syarifuddin, Nasroh dan Syahrul** terima kasih banyak atas FGD-nya, bantuan, motivasi, keseruannya, dan menjadi *charger mood*.
6. **Asosiasi Wanita (H021171013, H021171018, H021171303, H021171501, H021171513, dan H021171514), H061171006, H021171310, H021171515, H021171003, H021171016, H061171004, H021171017, H021171015, H021171301, H021171507 dan H021171004** terima kasih banyak atas suka dan duka, motivasi, bantuan dan cerita selama ini.
7. **Kakak-kakak keren (Kak Inayatul Mutmainnah, Kak Nurul Awaliyah Muhammad, Kak Rahma Anugrahwidya, Kak Elisabeth Clara Sampebatu, Kak Fitria Mujtahid, Kak Ainun Jariah, Kak Nurul Amalia Humaerah, Kak Destalina, Kak Lorna, Kak Sasa Harkiah, Kak Nurafiah,**

Kak Rosmilasari, Kak Nurul Mutmainnah Amal, Kak Fatmawati Sudarman, Kak Nurhania, Kak Rekawaty, Kak Titin Fatmawati, Kak Ida Laila, Kak Mirfauddin, Kak Nurjannah) yang selalu memberikan bantuan selama proses penelitian, presentasi, pengolahan data, masukan-masukan yang sangat bermanfaat, serta kebahagiaan mengenang masa lalu.

8. Seluruh anggota **Laboratorium Material dan Energi 2017; H021171513, H021171018, H021171501, H021171001, H021171305, H021171509, H021171017, H021171504, H021171014, H021171304, H021171012, H021171011, dan H021171007** yang menjadi teman seperjuangan penelitian pada masanya, google penelitian, tukar pikiran penelitian, pengurusan data dan alat lab, penghibur.
9. **Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) FMIPA Unhas** terima kasih telah membentuk karakter **Keras, Kuat, Cerdas dan Berani**.
10. Seluruh kawan **Himafi 2017** terima kasih kepada manusia-manusia hebat (**80 orang**) untuk semua kenangan kebersamaan yang diukir bersama dari masa mahasiswa baru sampai saat ini, dan menyatakan pentingnya sebuah peran teman. Sebuah keistimewaan bagian dari kalian. Semoga tetap **Teguh dalam Keyakinan, Kukuh dalam Kebersamaan** dan solid.
11. Seluruh anggota **KPA OMEGA FMIPA Unhas** terutama anggota hebat **Diksar XXIII** (Kak Yadin, Tsaqif, Kak Oland, Owl, Kak Hasrina, Kak Ida, Kak Boi, Callu, Cammai, Kak Uni, Kak Aso, Rachel, Gabe, Padang, Kak Lili, Kak Kasma, dan Kak Agung) yang telah saling memaklumi sikap asli teman dalam mendaki dan menjadikan kenangan yang keren hidup bersama alam.
12. **Seluruh Fisika UH angkatan 2017** banyak cerita telah dilalui bersama dari mahasiswa baru hingga sekarang satu persatu telah menyelesaikan masa studinya. Semoga kita semua sukses dimasa mendatang dan silaturahmi diantara kita tetap terjalin.
13. **Seluruh Kakak-Kakak Himafi 2015, Kakak-Kakak Himafi 2013** (Kak Azizul, Kak Ilham, Kak Mugni, Kak Boi, Kak Ami, Kak Aznur, Kak Cholid, Kak Takdir, dan Kak Wahyudin) **Kakak-kakak Himafi 2011** (Kak Yayat, Kak John dan Kak Ucok) dan **Kakak-Kakak Himafi 2016** (Kak Winda, Kak Hira,

Kak Uni, Kak Hasrina, Kak Arief dan Kak Kasma) yang telah banyak memberikan arahan dan masukan selama saya menjadi mahasiswa, baik akademik maupun *non-akademik*.

14. Adik-adik **Himafi 2018** (Adik Minions Nunu dan Vika) dan adik-adik **Himafi 2019**, terima kasih atas dukungan dan motivasi yang diberikan.
15. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan semangat, dukungan serta doa sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.

Harapan dari penulis tesis, hasil penelitian yang telah dilakukan semoga dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca. Memohon maaf atas segala kekurangan yang terdapat dalam tesis. Semoga ilmu yang diperoleh menjadi berkah, Aamiin.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, 24 November 2023



Andi Tessiwoja Tenri Ola

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Limbah Cair Pewarna	4
II.2 <i>Congo Red</i> (CR) $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$	4
II.3 Fotokatalis.....	4
II.4 Dicalcium Diiron Pentaoxide ($Ca_2Fe_2O_5$).....	5
II.5 Kalsium Karbonat ($CaCO_3$).....	5
II.6 Besi (III) Oksida (Fe_2O_3)	6
II.7 Kitosan ($C_6H_{11}NO_4$)	6
II.8 <i>Activated Carbon</i> (AC)/Karbon Aktif	6
II.9 <i>Mechanical Alloying</i> (MA)	7
BAB III METODE PENELITIAN	8
III.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	8

III.2 Alat dan Bahan	8
III.2.1 Alat.....	8
III.2.2 Bahan	8
III.3 Prosedur Penelitian	9
III.3.1 Preparasi Material.....	9
III.3.2 Preparasi Polutan	9
III.4 Mekanisme Fotokatalis	9
III.5 Karakterisasi Material.....	10
III.6 Bagan Alir Penelitian	11
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	12
IV.1 Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	12
IV.2 Analisis <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	13
IV.3 Analisis Fotokatalis Komposit $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$/Kitosan/AC	15
BAB V PENUTUP	18
V.1 Kesimpulan.....	18
V.2 Saran	18
DAFTAR PUSTAKA.....	19
LAMPIRAN.....	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mekanisme Fotokatalis.....	5
Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian.....	11
Gambar 4. 1 Spektra X-Ray Diffraction (XRD) (a) Spektra X-Ray Diffraction (XRD), (b) Pembesaran spektra pada $2\theta = 32,5^\circ - 34^\circ$, dan (c) Ukuran kristal untuk material A0 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$), A3 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(30\% \text{ Kitosan/AC})$), A5 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(50\% \text{ Kitosan/AC})$), dan A7 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(70\% \text{ Kitosan/AC})$).....	12
Gambar 4. 2 Spektra <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR) (a) Spektra <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR), (b) Pembesaran spektra pada bilangan gelombang $3750 \text{ cm}^{-1} - 3250 \text{ cm}^{-1}$ untuk material A0 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$), A3 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(30\% \text{ Kitosan/AC})$), A5 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(50\% \text{ Kitosan/AC})$), dan A7 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(70\% \text{ Kitosan/AC})$).....	13
Gambar 4. 3 (a) Spektra absorbansi hasil pengujian fotokatalis dan (b) Kurva persentase degradasi <i>Congo Red</i> (30 mg/1000 ml) menggunakan material A0 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$), A3 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(30\% \text{ Kitosan/AC})$), A5 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(50\% \text{ Kitosan/AC})$), dan A7 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(70\% \text{ Kitosan/AC})$).....	15
Gambar 4. 4 (a) Kurva aktivitas fotokatalis dan (b) diagram batang laju kinetik fotodegradasi material A0 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$), A3 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(30\% \text{ Kitosan/AC})$), A5 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(50\% \text{ Kitosan/AC})$), dan A7 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(70\% \text{ Kitosan/AC})$) pada <i>Congo Red</i> (30 mg/1000 ml).....	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Kode material dan massa katalis pada proses fotokatalis.	10
Tabel 4. 1 Persentase degradasi <i>Congo Red</i> (30 mg/1000 ml) menggunakan material A0 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$), A3 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(30\%\text{Kitosan}/\text{AC})$), A5 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(50\%\text{Kitosan}/\text{AC})$), dan A7 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(70\%\text{Kitosan}/\text{AC})$).	16
Tabel 4. 2 Laju kinetik fotodegradasi (k_r) degradasi <i>Congo Red</i> (30 mg/1000 ml) menggunakan Material A0 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$), A3 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(30\%\text{Kitosan}/\text{AC})$), A5 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(50\%\text{Kitosan}/\text{AC})$), dan A7 ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/(70\%\text{Kitosan}/\text{AC})$).....	Error! Bookmark not defined.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Proses produksi dari industri pewarna menarik perhatian dan penggunaannya secara luas dengan menghasilkan produk yang membantu pekerjaan manusia. Akan tetapi, cairan pewarna yang digunakan pada industri pewarna dalam jumlah banyak dan langsung disalurkan ke badan air sehingga memberikan dampak negatif sebagai polutan air bersih [1]–[6]. Keberadaan limbah cair pewarna menurunkan tingkat cahaya matahari ke permukaan air menyebabkan nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) meningkat yang merujuk banyaknya oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mengurai senyawa organik di dalam air. Kandungan senyawa organik mampu merusak ekosistem air sehingga menyebabkan kerusakan lingkungan serta menimbulkan penyakit bagi manusia dikarenakan sifatnya yang tidak terurai secara alami dan tidak larut dalam air [2], [4], [7], [8]. Salah satu limbah cair pewarna diazo anionik yang berbahaya dengan kandungan ikatan fenil yang sifatnya tidak terurai secara alami seperti *Congo Red*. *Congo Red* digunakan pada tren penelitian seperti pewarna histologis dan mikrobiologi, maupun pewarna tekstil pada kertas. Akan tetapi, *Congo Red* memiliki sifat toksisitas bagi kesehatan seperti iritasi pada sistem pernafasan, mutagenik, karsinogenik, dan merusak sistem saraf [2], [9], [10].

Penelitian terkait penghilangan komponen limbah cair pewarna yang berbahaya, fotokatalis menjadi salah satu teknik baik dalam mengatasi masalah polutan air. Fotokatalis akan menguraikan molekul polutan menjadi molekul kecil dari hasil produk reaksi yang terjadi pada material fotokatalis saat diberikan penyinaran cahaya [11]. Fotokatalis berbasis semikonduktor berpotensi dengan memanfaatkan radiasi ultraviolet ataupun cahaya tampak yang terdapat pada spektrum cahaya matahari [12]–[15]. Dicalcium Diiron Pentoxide ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$) material yang optimal dalam proses fotokatalis yang bekerja pada sinar tampak dengan *bandgap energy* sekitaran 1,8-2,2 eV [16]. Material $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ hasil campuran dari Kalsium Karbonat (CaCO_3) yang memiliki sifat tidak menimbulkan

polusi, tidak beracun, biaya produksi murah, meningkatkan kinerja daur ulang [17], [18], serta memiliki peran sebagai akseptor *electron* untuk mengurangi laju rekombinasi *electron hole* [17], dicampurkan dengan Besi (III) Oksida (Fe_2O_3) yang memiliki *bandgap energy* 1,9-2,2 eV dan memiliki kemampuan pemisahan magnetik, pemurnian, dan pengolaan air yang baik dan dapat menurunkan jarak pengangkutan muatan yang mengarah mempermudah penginduksian *electron hole* oleh foton [7], [19]. Di sisi lain, pencampuran material seperti Kitosan ($\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO}_4$) dengan kelebihan tidak beracun, biodegradabilitas, biokompabilitas, bioaktivitas, dan antimikroba sehingga baik dalam mengurai polutan air [20]–[23]. Dicampurkan dengan *Activated Carbon* (AC) yang dikenal sebagai material menghilangkan polutan dengan struktur berpori menjadi tempat reaksi redoks yang memutuskan ikatan polutan [24]. Metode sintesis *Mechanical Alloying* (MA) menjadi salah satu metode menghasilkan material dengan ukuran partikel nanometer dengan kelebihan biaya preparasi rendah, mudah dikontrol, dan penghematan material [25].

Berdasarkan uraian sebelumnya, maka penelitian ini akan memperlihatkan proses fotokatalis limbah cair pewarna *Congo Red* (CR) dengan menggunakan material $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ dengan variasi komposisi massa Kitosan/AC 30%, 50%, dan 70% yang disintesis menggunakan metode *Mechanical Alloying* sebagai katalis dengan memanfaatkan cahaya tampak sebagai sumber radiasi.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah untuk penelitian ini adalah:

1. Berapa komposisi massa optimal campuran dan penggunaan $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ /Kitosan/AC terhadap efisiensi kinerjanya dalam mendegradasi limbah cair pewarna *Congo Red* pada proses fotokatalis?
2. Bagaimana pengaruh campuran $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ dan Kitosan/AC terhadap efisiensi kinerjanya dalam mendegradasi limbah cair pewarna *Congo Red* pada proses fotokatalis?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan potensi komposisi massa optimal campuran dan penggunaan $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ /Kitosan/AC terhadap efisiensi kinerjanya dalam mendegradasi limbah cair pewarna *Congo Red* pada proses fotokatalis.
2. Menganalisis pengaruh campuran $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ dan Kitosan/AC terhadap efisiensi kinerjanya dalam mendegradasi limbah cair pewarna *Congo Red* pada proses fotokatalis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Limbah Cair Pewarna

Limbah cair pewarna mengandung komponen berbahaya dari berbagai polutan seperti ikatan fenil yang sulit terurai secara hayati [4], [26], [27]. Keberadaan limbah cair pewarna mencegah cahaya matahari masuk ke permukaan air yang merusak ekosistem air dan menyebabkan kerusakan lingkungan [3], [5]. Limbah cair pewarna menimbulkan penyakit bagi manusia seperti iritasi kulit, masalah pernafasan, penyakit jantung, muntah-muntah, diare, dan peningkatan resiko kanker, serta mengurangi ketersediaan air bersih [5], [7], [28].

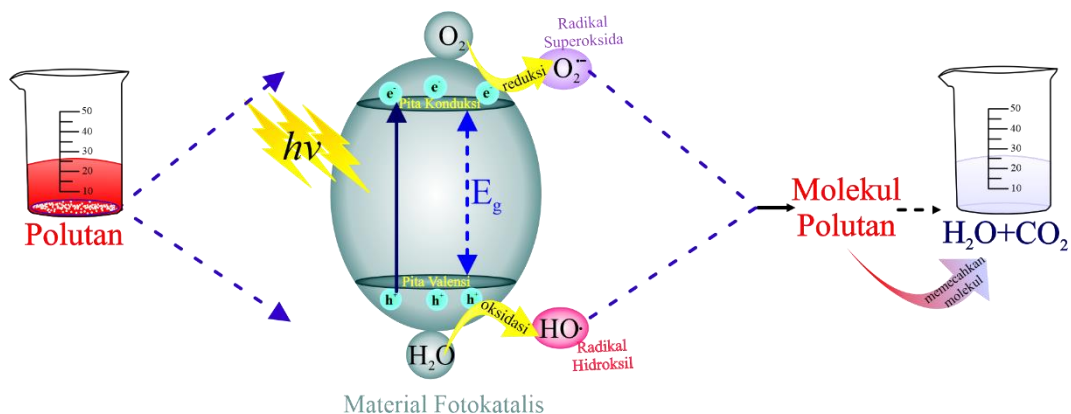
II.2 Congo Red (CR) $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$

Congo Red (CR) adalah pewarna yang termasuk kategori pewarna diazo anionik yang biasa digunakan sebagai pewarna kertas, dan plastik,[9]. Pewarna anionik berbahaya karena memiliki warna yang cerah, sifat reaktif, dan sifat asam yang larut dalam air [3], [29]. CR memiliki sifat sulit diurai secara alami, stabilitas kimia yang tinggi, dan menimbulkan masalah bagi kesehatan seperti diare, muntah, pusing, iritasi/sensasi terbakar, disfungsi ginjal hingga karsinogenik, mutagenik, dan merusak sistem saraf [2], [30]–[32].

II.3 Fotokatalis

Fotokatalis dikenal sebagai proses mineralisasi limbah cair dengan cara menguraikan polutan organik menjadi molekul kecil seperti CO_2 dan H_2O melalui radikal aktif yang dihasilkan saat diberikan penyinaran cahaya [11], [33]. Fotokatalis memiliki kelebihan seperti menggunakan tidak beracun, bebas polutan, aman bagi lingkungan, penggunaan kembali, efisiensi tinggi, dan pemanfaatan spektrum cahaya matahari [3], [20]. Fotokatalis berbasis material semikonduktor yang dimodifikasi berpotensi bekerja pada radiasi ultraviolet ataupun sinar tampak yang berada pada spektrum cahaya matahari, yang diketahui cahaya matahari terdiri dari 5% radiasi ultraviolet (UV) dan 45% cahaya campak [12], [13], [15]. Ketika material semikonduktor diberikan radiasi dengan foton yang memiliki energi lebih

besar dari *bandgap energy*, akan menginduksi *electron* (e^-) dan *hole* (h^+) [34]. *Bandgap energy* adalah perbedaan energi antara tingkat energi pita konduksi dan tingkat energi pita valensi [3]. Ketika diberikan radiasi, *electron* (e^-) pada pita valensi tereksitasi ke pita konduksi dan di pita konduksi terjadi pembentukan radikal superoksida (O_2^-) dari reaksi reduksi antara *electron* (e^-) dengan oksigen (O_2), sedangkan di pita valensi terjadi pembentukan radikal hidroksil ($\bullet OH$) dari reaksi oksidasi antara air (H_2O) dengan *hole* (h^+). Radikal superoksida dan radikal hidroksil akan bergerak dalam molekul polutan untuk memecahkan ikatan dengan produksi akhir yaitu H_2O dan CO_2 sehingga menjadi zat yang tidak berbahaya [35], [36].



Gambar 2. 1 Mekanisme Fotokatalis [37].

II.4 Dicalcium Diiron Pentaoxide ($Ca_2Fe_2O_5$)

Dicalcium Diiron Pentoxide ($Ca_2Fe_2O_5$) adalah material semikonduktor dengan *bandgap energy* sekitaran 1,8-2,2 eV [16]. $Ca_2Fe_2O_5$ memiliki sifat tidak beracun dan stabil pada suhu tinggi hingga $\sim 973^\circ K$ [34], [38]. Dalam fotokatalis, $Ca_2Fe_2O_5$ mampu mendegradasi polutan organik dengan membakar senyawa organik yang mudah menguap [39].

II.5 Kalsium Karbonat ($CaCO_3$)

Kalsium Karbonat ($CaCO_3$) merupakan material dengan sifatnya tidak menimbulkan polusi, tidak beracun, stabilitas pada suhu tinggi, biaya produksi yang murah dan dapat dimanfaatkan sebagai operator meningkatkan kinerja daur ulang [17], [18], [40]. Dalam fotokatalis, $CaCO_3$ dapat berperan sebagai akseptor *electron* yang dihasilkan secara fotogenerasi untuk mengurangi laju rekombinasi *electron*

hole [17]. CaCO_3 dapat sebagai adsorben untuk penghapusan anionik pewarna dari polutan air [40].

II.6 Besi (III) Oksida (Fe_2O_3)

Besi (III) Oksida (Fe_2O_3) adalah material semikonduktor dengan *bandgap energy* 1,9-2,2 eV sehingga dapat menyerap gelombang elektromagnetik hingga panjang gelombang 600 nm yang terdapat pada 40% dari spektrum sinar matahari [34]. Kelebihan lain dari Fe_2O_3 seperti biaya rendah, stabilitas kimia yang baik, pemurnian dan pengolahan air, dan kemampuan pemisahan magnetik yang baik [19], [41]. Dalam fotokatalis pemisahan magnetik memperlihatkan kemampuan daur ulang yang baik dan memiliki potensi besar untuk pengelolah air limbah [19].

II.7 Kitosan ($\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO}_4$)

Kitosan ($\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO}_4$) merupakan polisakarida alami yang dapat diperoleh dengan biaya produksi yang rendah dan sebagai bahan yang digunakan kembali dengan teknik valorisasi limbah [42]–[44]. Kitosan memiliki kelebihan sifat hipotoksitas, tidak beracun, biodegradabilitas, biokompabilitas, bioaktivitas, dan antimikroba. Kitosan terdiri dari senyawa polikationik dengan muatan positif yang membuatnya cenderung memiliki sifat dielektrik dan mampu menyimpan gelombang elektromagnetik [20], [45]–[50]. Kitosan dikenal sebagai biosorben yang baik karena aminonya dan gugus hidroksil memberikan kontribusi besar terhadap adsorpsi ion logam [51].

II.8 *Activated Carbon* (AC)/Karbon Aktif

Activated Carbon (AC) dikenal sebagai material menghilangkan polutan dalam air dengan struktur berpori karena luas permukaan spesifiknya yang besar serta material organik berlimpah sebagai sumber bahan baku di produksi pertanian. Dalam aplikasi fotokatalitik, muatan pada pori AC dapat berguna sebagai perangkat muatan dan tempat terjadi reaksi redoks yang menghasilkan atom radikal serta mudah berada di molekul polutan dan memutuskan ikatannya sehingga mempercepat efisiensi degradasi polutan [14], [24], [27], [52]–[55].

II.9 *Mechanical Alloying* (MA)

Mechanical Alloying (MA) adalah salah satu metode digunakan untuk mensintesis paduan kimia, modifikasi mikrostruktur serta persiapan bahan baru ukuran partikel nanometer [56]. Proses MA menjelaskan penumbukkan berulang dengan partikel bubuk retak antar media penumbukkan yang akan mempengaruhi ukuran partikel dan sifat material sehingga menghasilkan material yang baru dengan pencampuran yang baik [57], [58]. MA memiliki kelebihan dengan metode sintesis yang ramah lingkungan dengan tidak menggunakan pelarut yang berbahaya, persiapan biaya preparasi rendah, mudah dikontrol, penghematan material [25]. Teknik MA digunakan menghasilkan bahan berukuran nanometer, bahan intermetalik, struktur amorf, dan paduan material padat [25], [57], [59].