

**SKRIPSI**

**KARBON AKTIF DOPING CU SEBAGAI KATALIS METILEN BIRU**

**Disusun dan diajukan oleh**

**FATMA SYAM**

**H021 20 1015**



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

**MAKASSAR**

**202**

**KARBON AKTIF DOPING CU SEBAGAI KATALIS METILEN BIRU**

**SKRIPSI**



*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat*

*Memperoleh Gelar Sarjana Sains*

*Pada Program Studi Fisika Departemen Fisika*

*Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*

*Universitas Hasanuddin*

**FATMA SYAM  
H021 20 1015**

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

**2024**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**KARBON AKTIF DOPING CU SEBAGAI KATALIS METILEN BIRU**

**Disusun dan diajukan oleh:**

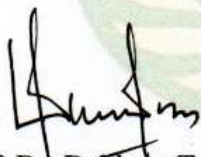
**FATMA SYAM**

**H021 20 1015**

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 14 Maret 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

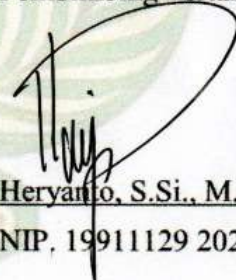
Menyetujui

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pertama,



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 : Fatma Syam  
NIM : H021201015  
Program Studi : Fisika  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

### **KARBON AKTIF DOPING CU SEBAGAI KATALIS METILEN BIRU**

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

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, 15 Maret 2024

Yang Menyatakan



**Fatma Syam**  
**H021201015**

## ABSTRAK

Dalam upaya meningkatkan efisiensi penguraian air limbah yang mengandung metilen biru, sebuah penelitian mengembangkan material fotokatalis dengan menggunakan karbon aktif yang berasal dari limbah ampas kopi dan mengintegrasikan tembaga (Cu) ke dalamnya dengan menggunakan metode milling. Sifat struktur, ukuran kristal, gugus fungsi, dan degradasi limbah menggunakan cahaya dikarakterisasi menggunakan difraktometer sinar-X (XRD), Fourier transform-inframerah (FTIR), dan spektrofotometer ultra violet visibel (UV-Vis). Analisis difraksi sinar-X menunjukkan regangan struktur kristal Cu yang tidak seragam yang diperoleh dari waktu penggilingan yang berbeda yang digunakan sebelum dikompositkan dengan karbon aktif. Ditemukan bahwa, komposit AC/Cu(4h) dengan dosis 1 gram dan waktu penyinaran 15 menit mencapai tingkat efisiensi fotokatalisis sebesar 76,41%, dan celah pita menyempit menjadi 4,68 eV sebagai hasil dari komposit Cu(4h) ini.

**Kata kunci :** *Fotokatalisis, Karbon aktif, Ampas kopi, Tembaga (Cu), Metilen Biru (MB)*

## ABSTRACT

*In an effort to improve the efficiency of decomposing wastewater containing methylene blue, a study developed a photocatalyst material by using activated carbon derived from coffee grounds waste and integrating copper (Cu) into it using the milling method. The structural properties, crystal size, functional groups, and degradation of the waste using light were characterized using X-ray diffractometer (XRD), Fourier transform-infrared (FTIR), and ultra violet visible spectrophotometer (UV-Vis). X-ray diffraction analysis showed non-uniform strain of Cu crystal structure obtained from the different milling time used before compositing with activated carbon. It was found that, the AC/Cu(4h) composite with a dosage of 1 gram and an irradiation time of 15 minutes achieved a photocatalysis efficiency level of 76.41%, and the band gap narrowed to 4.68 eV as a result of this Cu(4h) composite.*

**Keywords :** *Photocatalysis, Activated carbon, Coffee grounds, Copper (Cu), Methylene Blue*

## KATA PENGANTAR

*Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabaraktuh*

Alhamdulillah Rabbil 'Aalamiin, segala puji dan syukur tiada hentinya penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. Dialah awal yang tak berawal, dialah akhir yang tak berakhir. Dan hanya kepada-Nya lah kita akan kembali suatu saat nanti. Dialah yang Maha pemberi petunjuk. Dialah yang Maha pemberi anugerah, nikmat serta rahmat. Atas karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Karbon Aktif Doping Cu Sebagai Katalis Metilen Biru”, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Departemen Fisika Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Dalam pengerjaan skripsi penulis telah mengalami berbagai hambatan mulai dari tahap awal penelitian sampai akhir penyusunan skripsi. Oleh karena itu, penulis sadar betul bahwa karya skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, mengingat keterbatasan pengetahuan yang dimiliki. Namun, berkat kehendak-Nya serta bantuan, bimbingan, nasehat dan dukungan yang tulus dari berbagai pihak, penulis tetap termotivasi dan penuh semangat untuk menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orangtua tercinta, Ibunda **Rosnaini**, ayahanda **Syamsul Syarif**, serta saudara laki-lakiku satu-satunya **Ismail Syam** yang dengan segala pengorbanan dan kasih sayang mereka yang tak henti-hentinya mendoakan dan memberikan motivasi kepada penulis. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kesehatan, keberkahan, dan meridhoi penulis untuk selalu membahagiakan dan membanggakan.
2. Kepada seluruh keluarga besar yang selalu memberikan saran, motivasi, dan mendukung penulis berupa moril maupun material, semoga Allah senantiasa memberikan kesehatan dan keselamatan.
3. **Prof. Dr. Dahlang Tahir, S.Si., M.Si.**, selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak **Heryanto, S.Si., M.Si.**, selaku Dosen Pembimbing Pertama yang telah

banyak mendukung, membimbing dan meluangkan waktu, tenaga, serta pemikirannya untuk penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

4. **Prof. Dr. Sri Suryani, DEA.** dan Bapak **Eko Juarlin, S.Si., M.Si.**, selaku Dosen Penguji yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan saran, diskusi, dan ilmu untuk menjadikan skripsi ini lebih baik.
5. Ibu/Bapak **Dosen Pengajar** yang telah senantiasa memberikan ilmu yang bermanfaat dan menjadi bekal penulis untuk masa depan.
6. Staf Departemen Fisika **Pak Syukur, Bu Rana** dan **Bu Evi** yang selalu memberikan saran serta membantu penulis selama proses administrasi di kampus.
7. Saudari Perriviewan, **Duo Siti, Tripel “A”, Si Paling Sehat, Si Kecil, Si Higienis, dan Si Lakikk** terima kasih atas kehadiran kalian dalam hidup penulis, selalu mendengarkan keluh kesah, memberikan saran yang berharga, dan menjadi bagian penting dalam pencapaian tugas akhir ini.
8. Kakak-kakak di Laboratorium Material dan Energi, **Kak Inayah, Kak Nunu, Kak Syarif, Kak Ardi, Kak Azlan, Kak Asira**, dan **kak Sire** yang telah membantu dan mengarahkan penulis dalam pengerjaan tugas akhir serta memberi saran dan masukan kepada penulis.
9. Teman sepeneguran **Novia Putri Safira**, yang menemani penulis dalam menyelesaikan tugas-tugas kuliah dan tugas akhir dan hal lainnya hingga kita mendapatkan gelar sarjana bersama.
10. Teman Penelitian di Laboratorium, **Rezki Amelia Putri** dan **Indriani Noviagel**, yang membersamai penulis dalam menyelesaikan sampel penelitian selama di Laboratorium
11. Teman seperjuangan di Laboratorium Material dan Energi, **Novra, Jenella, Ebi, Epy, Inul, Andri, Abe COMEL** dll. Teman seperjuangan dari Lab Elins, Optik, dan Teori, **Uceng, Riyan, Yusria, Sulis, Faqih**, dan **Bayu**. Terima kasih sudah menemani dan mendukung penulis selama melakukan preparasi sampel di Laboratorium.
12. Teman seperjuangan Fisika 2020 (RE20NANSI), **Nisa, Fathul, Yuni, Ispat, Nindy, Harmi, Nidia, Khafifa, Nurul, Bisman, Rifaldi, Vicram, Adnan,**



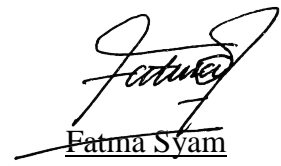
dan semua teman lainnya yang telah bersama-sama menghadapi segala lika-liku di perkuliahan dan di Himpunan. Penulis sangat berterima kasih atas segala dukungan dan bantuan kalian.

13. Kakak Fisika 2019, adik 2021, adik 2022, terima kasih atas dukungan, arahan dan saran yang telah diberi kepada penulis.
14. Penghuni Grub **KEKETY, Oci, Inung, Mamal, dan Alip** yang telah kebersamai mulai dari Maba hingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dan mendapat gelar, terima kasih selalu menghibur dan menjaga satu sama lain walau grub hanya penuh dengan dokumen tugas, list absen dan tugas, stiker aib wajah, dan aib masing-masing. Semoga persahabatan kita terus berlanjut dan sukses selalu menghampiri kita semua.
15. Kepada Seseorang yang tak bisa penulis sebutkan namanya yang senantiasa menemani, memberi perhatian dan kebahagiaan, masukan, semangat dan motivasi dari awal hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga tugas yang sedang dikerjakan selesai sebagaimana mestinya dan tepat waktu.
16. Teman Segrub **CIWIK**, yang telah menemani selama menyelesaikan tugas kuliah dan tugas akhir penulis. Semoga kalian diberi kesehatan dan dilancarkan dalam menyelesaikan tugas juga.
17. Teman **Fosthree, Ismi, Gio, Abbar, Ancu, Tipa, Irma, Fina, Ayu**, dan lainnya yang memberi semangat dan saran kepada penulis selama berkuliah dan selalu menanyakan wacana yang dibuat setiap libur semester walau hanya beberapa yang terlaksana.
18. Teman Sekampung dan Sepermainan, **Cici, Ani, Fitri, Rezky, Nasar, Keru, Erik, Adhe, Wawang, Sarif, Ihsan, Aswan**, dan kawan-kawan lainnya yang selalu menyemangati dan memeberi saran dan masukan, motivasi, dan petuah-petuah selama berkuliah.
19. Teman-teman KKN Posko Tongke-Tongke Sinjai 110, **Sasaaa, Ran, Wede, Irma, Puput, Nai, Akram, Fadil**, dan **Kalil** terima kasih atas keceriaan, persahabatan dan dukungan yang selalu hadir dalam perjalanan penulis serta momen-momen yang tercipta diposko yang sulit untuk diulang.

20. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga segala bantuan, dukungan dan bimbingan yang telah diberikan mendapat ridho dari Allah SWT, dan semoga skripsi ini bermanfaat kepada setiap pembaca semoga ilmu yang diperoleh menjadi berkah. Amin ya robbal alamin.

Makassar, 14 Maret 2024



Fatma Syam

H021201015

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	2
C. Tujuan Penelitian .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	3
II.1 Kopi .....	3
II.2 Tembaga (Cu) .....	3
II.3 Karbon aktif .....	4
II.4 <i>Mechanical Alloying</i> (MA) .....	4
II.5 Fotokatalis .....	5
II.6 Metilen biru .....	6
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	8
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	8
III.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	8
III.3 Prosedur Kerja .....	9
III.4 Bagan Alir Penelitian .....	11
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	12
IV. 1 Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	12
IV.2 Analisis Forrier Transform Infrared (FTIR) .....	14
IV. 3 Analisis Fotokatalis Cu/Karbon Aktif Menggunakan Metilen Biru .....	15
IV.4 Analisis <i>Band Gap</i> .....	18
IV.5 Mekanisme Fotokatalis .....	20
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	22

V.1 Kesimpulan.....	22
V.2 Saran .....	22
<b>Daftar Pustaka.....</b>	<b>23</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>31</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 4. 1</b> Rata-rata ukuran kristal .....	<b>13</b>
<b>Tabel 4. 2</b> Gugus fungsi Cu/Karbon aktif .....	<b>15</b>
<b>Tabel 4. 3</b> Rata-Rata Degradasi, Konstanta Laju Kinetik ( $K_r$ ) dan Koefisien Korelasi ( $R^2$ ).....	<b>17</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2. 1</b> Mekanisme tumbukan bola pada partikel .....	<b>5</b>
<b>Gambar 2. 2</b> Skema Fotokatalis.....	<b>6</b>
<b>Gambar 4. 1 (a)</b> Hasil XRD untuk semua sampel (b) Perbesaran bidang dari (100). .....	<b>12</b>
<b>Gambar 4. 2</b> Spectrum FTIR dari komposit Cu/Karbon aktif dengan komposisi yang bervariasi pada Cu.....	<b>14</b>
<b>Gambar 4. 3</b> Spektra UV-Vis komposit Cu/Karbon Aktif pada setiap perbandingan komposisi, massa, dan waktu .....	<b>15</b>
<b>Gambar 4. 4</b> Presentasi degradasi dari komposit Cu/Karbon aktif, dengan variasi sampel Cu dan massa sampel.....	<b>16</b>
<b>Gambar 4. 5</b> Kurva laju kinetik komposit Cu/Karbon aktif dengan variasi Cu, massa, dan waktu penyinaran.....	<b>18</b>
<b>Gambar 4. 6</b> Band gap komposit Cu/Karbon aktif dengan perbandingan variasi Tembaga (Cu).....	<b>19</b>
<b>Gambar 4. 7</b> Skema Fotokatalis.....	<b>20</b>

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Analisis Data.....	<b>31</b>
<b>Lampiran 2.</b> Prosedur Percobaan .....	<b>32</b>

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Air merupakan kebutuhan dasar yang banyak dimanfaatkan oleh makhluk hidup sehingga kualitas maupun kuantitas air harus dijaga dengan baik. Namun karena terjadinya peningkatan penduduk dan pabrik industri, Pencemaran air merupakan hal yang tidak bisa dihindari [1]. Akibat dari permintaan konsumen yang semakin meningkat khususnya pada industri pewarna seperti: tekstil, cat, pernis, kertas, dan lainnya menjadi salah satu sumber utama meningkatnya pencemaran air [2]. Tekstil adalah industri terbesar penghasil limbah yang menghasilkan sekitar 40-65 liter air limbah per proses pewarnaan [3], yang mana pewarna ini sulit terurai, berpotensi merusak lingkungan dapat mengganggu unsur hara di dalam tanah dan mengganggu proses fotosintesis yang akan memengaruhi pertumbuhan tanaman di sekitarnya, juga berbahaya bagi kesehatan manusia jika dikonsumsi karena dapat menyebabkan kanker, dan penyakit kulit, hingga kematian [4], [5].

Berbagai teknologi digunakan sebagai metode biologis, fisik, dan kimia untuk menghilangkan kontaminasi dari limbah pewarna organik yang larut [6]. Proses yang efektif telah dilakukan untuk mengolah air limbah seperti adsorpsi karbon, pengendapan kimia, penguapan, pertukaran ion, serta fotokatalis. Fotokatalis adalah salah satu proses yang telah banyak diselidiki dan layak untuk diterapkan dalam mendegradasi limbah dengan menggunakan cahaya, karena efektif untuk menghilangkan pewarna, obat-obatan, limbah industri kertas, dan polutan anorganik lainnya dari air limbah [7]. Proses fotokatalis umumnya menggunakan bahan semikonduktor salah satunya yakni Cu karena memiliki struktur elektronik atom logam dalam komposisi kimia yang bagus dan sifat adsorpsi yang tinggi dan mudah untuk disintesis, dan juga merupakan semikonduktor yang sangat reaktif dan luas permukaan volumenya yang tinggi menunjukkan aplikasi yang baik dalam katalisis [8]. Pengelolaan limbah dan pembuangan bahan yang berbahaya secara hati-hati merupakan salah satu bentuk untuk mengurangi polutan [9]. Ampas kopi memiliki kandungan yang



dimanfaatkan menjadi sumber karbon yang baik, ramah lingkungan, mudah didapat. Karbon aktif banyak digunakan dalam fotokatalis, mampu menjadi bahan adsorben untuk membantu pemurnian air limbah karena memiliki kekuatan mekanik, laju adsorpsi yang cepat karena memiliki luas permukaan yang lebar dan berpori, maka baik digunakan sebagai semikonduktor. Penambahan bahan yang mendukung pada karbon memberikan hasil yang lebih maksimal dalam proses fotokatalis [10][11].

Berdasarkan dari uraian, maka pada penelitian ini akan dikembangkan material untuk mengolah air limbah yang mengandung limbah tekstil (metil biru), material yang digunakan yakni karbon aktif sebagai bahan dasar yang mudah di dapat yakni ampas kopi dengan penambahan bahan semikonduktor Tembaga (Cu) agar degradasi air limbah semakin baik, dengan melakukan uji karakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan UV-Vis.

## **B. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana perubahan sifat struktur dan fungsi yang dimiliki karbon aktif terhadap penambahan Cu ?
2. Bagaimana efektifitas variasi Cu terhadap matriks Karbon Aktif dalam mendegradasi Metilen biru pada proses fotokatalis?

## **C. Tujuan Penelitian**

1. Menganalisis perubahan sifat struktur dan fungsi yang dimiliki karbon aktif terhadap penambahan Cu.
2. Menganalisis efektifitas variasi Cu terhadap matriks Karbon Aktif dalam mendegradasi Metilen biru pada proses fotokatalis.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Kopi**

Kopi merupakan salah satu bahan pangan pertanian yang paling banyak digunakan setelah gandum. Setiap tahunnya, produksi limbah kopi yang dihasilkan oleh industri, rumah tangga, dan restoran mencapai sekitar 6 juta ton secara global. Pada saat kopi diseduh, akan menghasilkan sisa organik berupa ampas kopi yang sudah digunakan. Limbah kopi yang telah digunakan (*Spent Coffee Waste/SCW*) terdiri dari beberapa kandungan yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk dan komponen bahan bakar biodiesel [12].

Paparan yang lama terhadap ampas kopi bekas bisa berbahaya untuk tanah dan makhluk hidup karena mengandung zat-zat seperti kafein, asam lemak, dan logam. Jika ampas kopi dibuang ke tempat sampah sanitasi seperti limbah organik lainnya, hal itu bisa menyebabkan pencemaran air yang kuat dan merugikan lingkungan. Dengan demikian, dapat memanfaatkan ampas kopi yang terbuat dari bahan organik untuk menyerap berbagai jenis polutan di sekitar kita [13].

#### **II.2 Tembaga (Cu)**

Tembaga dianggap sebagai ko-katalis yang efektif dalam meningkatkan aktivitas fotokatalitik. Fotokatalis berbasis Cu memiliki berbagai aplikasi penting dalam bidang nanoteknologi, termasuk elektrokatalisis dan fotokatalisis dibandingkan dengan logam mulia lainnya. Selain keunggulan kimia dan kelistrikkannya, tembaga juga sangat melimpah di Bumi, sehingga harganya lebih terjangkau. Selain itu, tembaga dapat ditemukan dalam berbagai tingkatan oksidasi sehingga lebih fleksibel dalam penggunaannya [14].

Aktivitas fotokatalis berbasis Cu dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pertama, komposisi fotokatalis yang mengandung Cu saja atau dikombinasikan dengan oksida logam lain memiliki pengaruh pada efisiensi fotokatalisis dan selektivitas reaksi. Selanjutnya, ukuran partikel Cu juga berperan penting, karena partikel yang lebih kecil memiliki area permukaan yang lebih besar dan dapat meningkatkan aktivitas fotokatalisis. Selain itu, sifat-sifat optoelektronik Cu,

seperti kemampuan menyerap cahaya, transisi elektronik, dan transfer muatan, juga mempengaruhi kinerja fotokatalis Cu. Terakhir, faktor-faktor lingkungan seperti kehadiran kotoran, kondisi suhu, kelembaban, tekanan, serta intensitas cahaya yang terpapar pada fotokatalis, juga memiliki dampak pada aktivitasnya [15].

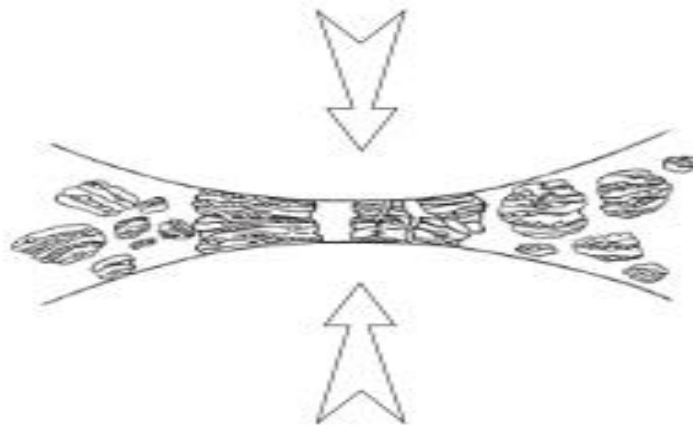
### **II.3 Karbon aktif**

Karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben untuk menyerap polutan karena memiliki kuat mekanik dan luas permukaan yang besar. Biasanya, karbon aktif dibuat dari batu bara lignit atau arang. Meskipun begitu, bahan yang murah dengan kandungan karbon yang tinggi dan sedikit bahan anorganik juga bisa digunakan sebagai bahan untuk membuat karbon aktif. Saat ini, pemanfaatan limbah organik semakin menarik minat dalam produksi karbon aktif [16].

Karbon aktif sangat efisien dalam menghilangkan zat-zat berbahaya dari air limbah karena memiliki karakteristik yang baik. Karbon aktif dipilih berdasarkan ketersediaan yang mudah dan tidak berisiko bagi lingkungan. Bahan-bahan sisa dari industri dan rumah tangga juga bisa digunakan sebagai bahan dasar untuk membuat karbon aktif yang berkualitas tinggi. Karbon aktif adalah istilah umum yang digunakan untuk menggambarkan bahan berbasis karbon yang memiliki luas permukaan besar, struktur pori internal yang sangat berkembang (terdiri dari pori dengan distribusi ukuran yang beragam), serta berbagai macam kelompok fungsional oksigen yang ada pada permukaannya [17].

### **II.4 *Mechanical Alloying* (MA)**

Teknik *Mechanical Alloying* adalah metode efisien untuk mengubah energi mekanik menjadi energi pada permukaan padatan. Melalui kompresi, geseran, dan tumbukan yang intens, proses ini mampu memicu reaksi kimia pada permukaan bahan. Tujuannya untuk menciptakan ikatan antar permukaan yang kuat pada material padat [18]. Sebagai teknik sintesis inovatif tanpa menggunakan pelarut, *Mechanical alloying* telah diterapkan untuk menciptakan bahan dengan struktur nano secara ekonomis, ramah lingkungan, dan efisien.



**Gambar 2. 1** Mekanisme tumbukan bola pada partikel [19]

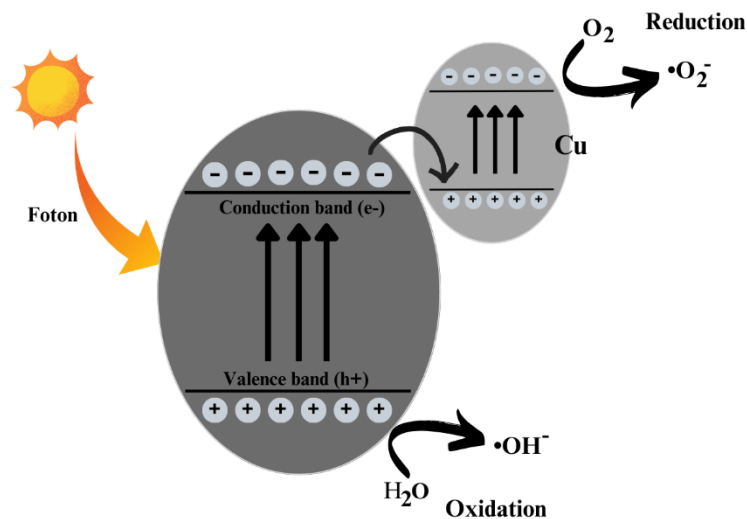
Dalam metode ini, ukuran partikel akan semakin mengecil, luas permukaannya diperbesar, dan gugus fungsi pada permukaannya akan bertambah, serta meningkatkan kemampuan adsorpsi untuk berbagai aplikasi. Proses *mechanical alloying* juga menghasilkan nanopartikel dengan ukuran yang seragam dan menambahkan cacat kisi untuk meningkatkan kinerja fotokatalitik. Dengan demikian, metode ini menunjukkan potensi sebagai metode sintesis yang sederhana dalam menciptakan komposit yang dapat meningkatkan kinerja dalam proses adsorpsi dan fotokatalisis [20].

## **II.5 Fotokatalis**

Teknologi yang digunakan untuk mengatasi pencemaran pewarna dalam air limbah, diantaranya termasuk pertukaran ion, oksidasi kimia, degradasi biologis, adsorpsi, dan fotokatalis [21]. Teknologi dalam proses oksidasi lanjutan untuk mineralisasi polutan organik adalah proses degradasi pewarna [22]. Fotokatalis adalah metode yang digunakan untuk menguraikan polutan menggunakan cahaya. Dalam proses fotokatalis, beberapa bahan semikonduktor digunakan karena harganya yang terjangkau dan mampu merespons cahaya dengan cepat, memisahkan pasangan elektron-hole, dan memiliki stabilitas kimia serta termal yang baik. [23].

Fotokatalisis memiliki potensi besar dalam mengatasi masalah pada kontaminasi pewarna, karena kemampuannya untuk mengubah senyawa pewarna organik menjadi air ( $H_2O$ ), karbon dioksida ( $CO_2$ ), dan asam mineral tanpa

menimbulkan polusi tambahan [24]. Fotokatalisis telah menjadi subjek penelitian yang intensif dalam pengolahan air limbah karena sifatnya yang tidak beracun, stabil secara fotokimia, dan biayanya yang terjangkau [25].



**Gambar 2. 2** Skema Fotokatalis [26]

Proses fotokatalisis dimulai dengan terbentuknya pasangan elektron-hole yang dihasilkan oleh eksitasi elektron yang berpindah dari pita valensi ke pita konduksi yang tidak terisi. Saat katalis terpapar oleh radiasi cahaya tampak, foton-foton dengan energi yang sama atau lebih besar dari celah pita akan menciptakan pasangan elektron dan hole. Jika hole yang terbentuk, molekul organik akan direduksi atau digabungkan dengan ion hidrogen dalam air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) untuk membentuk radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}^-$ ). Sementara itu, Elektron yang berada di tingkat energi konduksi akan bergerak ke tingkat energi valensi karbon. Setelah dilepaskan, elektron ini akan berinteraksi dengan Cu untuk membentuk radikal superoksida ( $\cdot\text{O}_2^-$ ), yang membantu proses oksidasi dan penghancuran zat warna dalam air limbah [27–29].

## II.6 Metilen biru

Senyawa organik berbahaya menjadi penyebab utama pencemaran lingkungan, terutama dalam lingkungan air. Pewarna sintetis digunakan secara luas dalam industri tekstil, plastik, makanan, dan kosmetik. Pencemaran akibat

pewarna menjadi masalah lingkungan yang serius di negara-negara berkembang dan negara-negara industri. Banyak pewarna bersifat sangat beracun, yang berdampak tidak hanya pada lingkungan sekitarnya, tetapi juga pada kesehatan manusia. Oleh karena itu, penting untuk menghilangkan pewarna dari air limbah sebelum dibuang ke lingkungan terbuka [21].

Metilen biru (MB) sering digunakan karena memiliki warna yang cerah, kelarutan yang baik, dan mudah menempel pada serat. Metilen biru sering digunakan sebagai pewarna karena memiliki beragam kegunaan, antara lain serat protein, serat sintetis, dan serat selulosa. Ketika terlarut dalam air, metilen biru menghasilkan senyawa ammonium berbahaya dan memiliki kemampuan pewarnaan yang sangat kuat sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan yang serius. Ketika digunakan sebagai pewarna dalam tekstil, metilen biru juga dapat memicu reaksi alergi, seperti iritasi kulit dan masalah pernapasan. Selain itu, beberapa penelitian telah mengindikasikan bahwa dalam dosis tinggi, metilen biru memiliki potensi untuk menjadi penyebab kanker [5], [30].