

SKRIPSI

**KOMPOSIT ZNO/MG/KARBON AKTIF SEBAGAI KATALIS LIMBAH
CAIR METILEN BIRU**

Disusun dan diajukan oleh:

REZKI AMELIA PUTRI

H021201064



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

2024

**KOMPOSIT ZNO/MG/KARBON AKTIF SEBAGAI KATALIS LIMBAH
CAIR 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*

**REZKI AMELIA PUTRI
H021201064**

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

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**KOMPOSIT ZNO/MG/KARBON AKTIF SEBAGAI KATALIS LIMBAH
CAIR METILEN BIRU**

Disusun dan diajukan oleh:

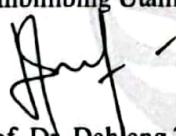
REZKI AMELIA PUTRI

H021201064

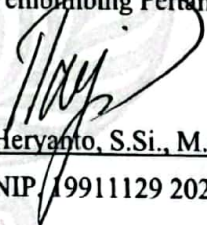
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Fisika Fakultas Matematika
dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin
pada tanggal 05 Juni 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

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 : Rezki Amelia Putri
NIM : H021201064
Program Studi : Fisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

KOMPOSIT ZNO/MG/KARBON AKTIF SEBAGAI KATALIS LIMBAH CAIR 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, 05 Juni 2024



Yang Menyatakan

Rezki Amelia Putri

H021201064

ABSTRAK

Seiring perkembangan zaman, risiko pencemaran lingkungan yang besar dapat mengganggu keseimbangan ekosistem. Oleh karena itu, diperlukan inovasi baru untuk mengatasi masalah ini. Penelitian ini menggunakan material komposit ZnO/Mg/AC yang disintesis dengan metode sol-gel. Sampel dikarakterisasi menggunakan X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared (FTIR), dan UV-Visible (UV-Vis). Analisis kuantitatif spektrum XRD menunjukkan ukuran kristal terendah dengan diameter 22,67 nm pada (ZnO/Mg/AC 1 gr). Spektrum FTIR menunjukkan vibrasi ikatan Mg-O dan Zn-O pada bilangan gelombang 673 cm^{-1} dan 467 cm^{-1} , dengan penambahan Mg ke dalam ZnO yang meningkatkan bandgap. Persentase degradasi terbaik ditunjukkan oleh ukuran kristal kecil dan serapan inframerah tinggi oleh ikatan O-H. Berdasarkan hasil ini, komposit ZnO/Mg/Karbon aktif merupakan material katalis yang menjanjikan dan potensial untuk mengatasi pencemaran limbah industri, khususnya metilen biru.

Kata kunci : Fotokatalis, ZnO, Mg, Karbon aktif, Metlin Biru (MB)

ABSTRACT

As time goes by, the risk of large environmental pollution can disrupt the balance of the ecosystem. Therefore, new innovations are needed to overcome this problem. This research uses ZnO/Mg/AC composite material synthesized by sol-gel method. The samples were characterized using X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared (FTIR), and UV-Visible (UV-Vis). Quantitative analysis of XRD spectra showed the lowest crystal size with a diameter of 22.67 nm in (ZnO/Mg/AC 1 g). FTIR spectra showed Mg-O and Zn-O bond vibrations at wave numbers 673 cm^{-1} and 467 cm^{-1} , with the addition of Mg into ZnO increasing the bandgap. The best degradation percentage was shown by small crystal size and high infra-red absorption by O-H bond. Based on these results, ZnO/Mg/activated carbon composite is a promising and potential catalyst material to address industrial waste pollution, especially methylene blue.

Keywords: *Photocatalyst, ZnO, Mg, Activated carbon, Methylene Blue (MB)*

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Komposit ZnO/Mg/Karbon Aktif sebagai Katalis Limbah Cair Metilen Biru” yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Departemen Fisika Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Lantunan sholawat dikirimkan kepada Nabi Muhammad Shalallahu Alaihi Wassalaam, yang membawa umatnya dari alam kegelapan menuju alam yang terang benderang seperti yang dirasakan saat ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak terlepas dari adanya hambatan dan jauh dari kata sempurna. Hal ini terjadi karena pengetahuan dan kemampuan dari penulis yang penuh dengan keterbatasan. Oleh karena itu, skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Ucapan terima kasih yang tiada tara kepada kedua orang tua penulis, Ayahanda **Sumantri** dan Ibunda **Hasnidah** yang telah menjadi orang tua terhebat sejagad raya, yang selalu menuruti permintaan penulis, memberikan motivasi, nasehat, cinta, perhatian, kasih sayang, serta kesabaran yang sangat luar biasa dalam setiap langkah penulis serta doa yang tak akan bisa penulis balas satu per satu. Skripsi ini dibuat khusus agar kedua orang tua tetap semangat dan senantiasa diberi Kesehatan dari Allah SWT serta meridhai penulis untuk selalu membanggakan dan membahagiakan beliau.
2. Terima kasih kepada semua keluarga besar yang tidak sempat penulis sebut satu persatu, yang telah menemani penulis selama menduduki bangku perkuliahan sampai berhasil dalam penyusunan skripsi, perhatian dan dukungan yang tulus diberikan kepada penulis yang tiada hentinya.
3. **Prof. Dr. Dahlang Tahir., S.Si., M.Si.**, selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Kepala Labaorium Material dan Energi, dan Bapak **Heryanto, S.Si., M.Si.**, selaku Dosen Pembing Kedua yang telah banyak membimbing, memberikan

nasehat dan meluangkan waktu, tenaga, serta pemikirannya untuk penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan baik.

4. **Prof. Paulus Lobo Gareso** 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. **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 bermanfaat dan menjadi bekal yang bermanfaat untuk masa depan. Kepada Staf Pegawai Departemen Fisika FMIPA UNHAS, yang telah membantu dalam pengurusan administrasi penulis.
6. Staf Departemen Fisika **Bu Rana, Bu Evi** dan **Pak Syukur** yang selalu memberikan saran serta membantu penulis selama proses administrasi di kampus.
7. Kepada partner preparasi sampel, **Fatma Syam**, terima kasih atas segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis. Terima kasih juga kepada **kak Syarif, kak Azlan** dan **Kak Nunu** yang telah banyak membantu penulis mulai dari preparasi sampel sampai selesai.
8. Terima kasih kepada bestie Pejuang S.Si keluarga kedua penulis, **Indriani Noviagel, Jenella, Novra Gabriella, Ebi Binti Yohanes** yang selalu membangkitkan semangat kepada penulis, menghibur dikala penulis sedang galau dan sudah jadi tempat penulis berkeluh kesah. Terima kasih sudah mau selalu ada disamping penulis baik itu suka maupun duka.
9. Terima kasih kepada Kak **Inayah** yang telah membantu penulis dalam mengurus surat dan dalam preparasi sampel dan Kak **Ardi** yang telah membantu penulis dalam Uji XRD.
10. Terima kasih **Himafi 2020, Fauzi, Adnan, Vicram, Dirga, Yuni, Nindy, Isma, Nidia, Astrid, Nurul Fadilla, Bisman, Rifaldi** dan semua teman lainnya yang telah bersama-sama menghadapi suka dan duka, untuk semua cerita yang telah dilalui dari masa pengumpulan hingga saat ini, Sebuah

keistimewaan dapat bagian dari kalian. Semoga tetap “eratkan genggamannya”
kuatkan kebersamaan.

11. Teman seperjuangan di Laboratorium Material dan Energi, **Anika, Andrianus, Epy, Abe, Inul, Andi Akmal, Novi, Asti, Alif dll.** Teman seperjuangan dari Lab Elins, **Tasya, Waode, Uceng, Dirga dll.** Teman seperjuangan dari Lab Optik, **Sulis, Nisa, Priyandi, Fathul, Eunike, Nanda dll.** Teman seperjuangan dari Lab Teori, **Faqih, Bayu, Uci, Stevan** dan **Eka** Terima kasih sudah menemani dan mendukung penulis selama melakukan preparasi sampel di Laboratorium.
12. Terima kasih kepada teman-teman pondok muslimah yang selalu ada dan bantu saya di kos terutama **Nur Azizah** dan **Fahira** yang sering menemani dan menghibur penulis ketika di kos.
13. Terima kasih kepada HENPUR (**Harmi, Emar, Naya, Putri**) yang selalu membantu penulis mulai dari Maba sampai sekarang.
14. Terima kasih kepada seseorang yang spesial beserta dengan keluarganya yang sangat baik dan yang penulis tidak bisa sebut namanya, yang telah menjadi sosok pendamping serta pendengar yang setia dalam segala hal, yang selalu meluangkan waktunya, menemani dan mendukung bahkan menghibur dalam kesedihan walaupun ldr. Tak hentinya memberikan semangat untuk terus maju tanpa kenal kata menyerah dan meraih apa yang sudah menjadi impian penulis.
15. Teman-teman KKN Posko Panaikang Sinjai 110, **Indri, Jihan, Awi, Risna, Ica, Deis, Agung, Putu, dan Iyan** terima kasih atas hiburan dan dukungan teman-teman selama di posko saat penulis stress memikirkan skripsi.
16. Teman Alumni XII IPA 4, **Dini, Accung, Mita, Wina dll,** erimakasih atas hiburan dan dukungan kalian selama penulis dalam menyelesaikan tugas ini.
17. Kakak Fisika **2019** dan adik-adik **2021** terima kasih atas dukungan, arahan dan saran yang telah diberi kepada penulis.
18. Terima Kasih juga kepada adik-adik saya **Sarah, Ulfa, Ifa, Iccang** yang selalu ada membantu dan memberi semangat kepada penulis serta mengajak penulis buat jalan-jalan agar tidak bosan.

- 19.** Terimakasih juga kepada Kakak **S2, Kak Rifqah, Kak aul, dan Kak Itto** yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini dan mengurus berkas.
- 20.** Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih dan memberikan apresiasi untuk diri sendiri yang tetap semangat, pantang menyerah, dan tetap konsisten dalam penulisan skripsi ini. Sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dan menyelesaikan perkuliahan sesuai dengan keinginan.
- 21.** Terima Kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.
- Semoga segala bantuan, bimbingan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis mendapat ridho dari Allah SWT, dan semoga skripsi ini bermanfaat kepada setiap pembaca semoga ilmu yang di peroleh menjadi berkah. Amiin Ya Robbal Alamiin.

Makassar, 05 Juni 2024

Rezki Amelia Putri

H021201064

DAFTAR ISI

Halaman Judul

KOMPOSIT ZNO/MG/KARBON AKTIF SEBAGAI KATALIS LIMBAH CAIR METILEN BIRU	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	i
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Limbah Cair.....	4
II. 2 Seng Oksida (ZnO).....	4
II. 3 Magnesium (Mg).....	5
II.4 Fotokatalis	5
II. 5 Metilen Biru.....	6
II.6 Sol-Gel.....	7
II.7 <i>Mechanical Alloying</i>	8
II. 8 Karbon Aktif.....	9
BAB III METODE PENELITIAN	10
III.1 Tempat dan waktu	10
III.2 Alat dan Bahan	10
III.2.1 Alat.....	10
III.2.2 Bahan	10
III.3 Prosedur Penelitian	11
III.3.1 Preparasi Sampel.....	11
III.3.2 Sintesis ZnO/Mg	11
III.3.3 Sintesis ZnO/Mg dan Karbon Aktif.....	11
III.3.4 Uji Fotokatalis.....	12

III.3.5 Karakterisasi	12
III.4 Bagan Alir Penelitian	13
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	14
IV.1 Analisis Forrier Transform Infared (FTIR).....	14
IV.2 Analisis X-Ray <i>Diffraction</i> (XRD).....	15
IV.3 Analisis <i>Band Gap</i>	17
IV. 4 Analisis Fotokatalis ZnO/Mg dengan variasi Karbon Menggunakan Metilen Biru.....	19
IV. 5 Mekanisme Fotokatalis	21
BAB V PENUTUP	23
V. 1 Kesimpulan.....	23
V. 2 Saran.....	23
DAFTAR PUSTAKA	24
LAMPIRAN.....	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema proses fotokatalis	6
Gambar 2.2 Struktur molekul pewarna Metilen Biru	6
Gambar 2.3 Tahapan metode Sol-Gel	8
Gambar 4.1 Spektrum FTIR dari komposit ZnO/Mg dengan variasi karbon aktif yang berbeda.	14
Gambar 4.2 Kurva X-Ray Diffraction (XRD) dari sintesis komposit ZnO/Mg dengan variasi karbon yang berbeda	15
Gambar 4.3 Band gap komposit ZnO/Mg dengan variasi karbon aktif yang berbeda.	18
Gambar 4.4 Kurva UV-Vis komposit ZnO/Mg dengan variasi karbon aktif yang berbeda.	19
Gambar 4.5 Skema proses degradasi Metilen Biru menggunakan material ZnO/Mg/Karbon Aktif	21

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Daerah serapan sintesis komposit ZnO/Mg dengan variasi karbon aktif berbeda	14
Tabel 4.2 Rata-rata ukuran kristal dari sintesis komposit ZnO/Mg dengan variasi karbon aktif yang berbeda.....	16
Tabel 4.3 Rata-rata degradasi, Konstanta laju kinetik (K_r) dari sintesis komposit ZnO/Mg/Karbon aktif.	20

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisis Data.....	30
Lampiran 2. Prosedur Percobaan.....	31
Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian	32

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran lingkungan bukan hal baru meskipun telah berkembang menjadi masalah terbesar yang dihadapi umat manusia. Pencemaran lingkungan global terutama disebabkan oleh aktivitas manusia melalui urbanisasi, industrialisasi, pertambangan, dan eksplorasi. Pencemaran air juga menjadi masalah yang semakin serius. Sumber utama senyawa organik dan anorganik dan pencemaran air berasal dari limbah dari industri seperti pewarna tekstil, farmasi, dan industri kertas [1],[2]. Limbah industri seringkali mengandung komponen beracun seperti pewarna non-stabil, senyawa organik, dan logam berat. Jika tidak ditangani dengan baik, limbah ini dapat menyebabkan ancaman serius terhadap toksisitas dan estetika ekosistem. Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan ini, salah satunya adalah melalui penggunaan fotokatalisis.

Fotokatalis adalah zat atau material yang dapat mempercepat reaksi kimia dengan menggunakan energi cahaya, seperti sinar matahari. Di antara berbagai jenis fotokatalis, semikonduktor oksida logam seperti ZnO sangat populer dan banyak digunakan karena fotosensitifitas[3]. ZnO sebagai semikonduktor anorganik dengan celah pita optik yang lebar ($\sim 3,37$ eV) dan energi pengikatan eksiton yang besar (~ 60 mV) telah mendapatkan minat yang signifikan sebagai fotokatalis karena keramahan lingkungan, dan murah sehingga dapat digunakan sebagai bahan katalis.[4] Kekurangan dari bahan tersebut terletak pada aktivitas fotokatalis yang rendah, yang disebabkan oleh tingginya tingkat rekombinasi pasangan elektron-hole. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik dengan mengintegrasikan ZnO dengan material lain yang memiliki energi celah pita yang berbeda, sehingga dapat memisahkan pasangan elektron-hole yang dihasilkan oleh paparan cahaya [2] contohnya dengan menambahkan TiO₂, Ag, WO₃ dan Mg.

Sebuah sistem material ZnO yang didoping Mg yang murah dan ramah lingkungan sedang diselidiki untuk berbagai aplikasi. Aplikasi utama dari sistem ini adalah pelebaran celah pita ZnO dengan memadukannya dengan MgO. Ini

terjadi dengan mengubah kandungan Mg, meningkatkan celah pita langsung semikonduktor ZnO yang didoping Mg dari 3,37 eV menjadi 6,27 eV. ZnO yang didoping Mg adalah bahan yang mungkin menarik untuk digunakan dalam perangkat optoelektronik dan nanoelektronik baru [5].

Karbon aktif diakui sebagai adsorben yang efektif dalam menghilangkan polutan karena memiliki luas permukaan yang tinggi dan struktur berpori, dengan biaya yang rendah dan tidak beracun. Penggunaan nanopartikel telah menjadi pendekatan utama dalam degradasi fotokatalitik polutan, yang dapat lebih ditingkatkan dengan memuatnya pada permukaan karbon aktif. Hal ini telah menarik minat yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir dalam pengolahan air limbah. Secara khusus, nanopartikel Seng Oksida (ZnO-NPs) menarik perhatian karena sifatnya yang tidak beracun, efektif, dan murah untuk diproduksi, serta memiliki beragam aplikasi, termasuk dalam degradasi fotokatalitik [6].

Sintesis material komposit memiliki banyak cara contohnya hydrothermal dan combustion. Namun, kedua metode tersebut memerlukan kondisi reaksi yang sulit dilakukan seperti reaksi suhu tinggi kecuali sol-gel, teknik yang canggih, bahan baku yang mahal dan sebagainya. Sehingga, penelitian ini menggunakan metode sol-gel karena cukup sederhana, memiliki biaya rendah, dan sering digunakan karena hasil degradasi fotokatalik lebih tinggi dari metode yang lainnya [7][8]. Penelitian ini menggunakan polutan metilen biru (MB) sebagai fotokatalis. Polutan ini sering digunakan dalam industri tekstil dan memerlukan perhatian khusus karena sifat beracunnya dan sulit terurai, yang merupakan masalah bagi kesehatan lingkungan. Ini juga merupakan salah satu warna dasar dari senyawa kimia aromatik heterosiklik yang dapat menyebabkan iritasi dan alergi pada kulit [9].

Berdasarkan uraian diatas maka dalam penelitian ini akan mensintesis ZnO dengan doping Mg 0.4 gr atau 8% yang akan digunakan untuk membuat komposit ZnO/Mg/Karbon aktif dengan komposisi karbon aktif sebanyak 0 gr, 0,1 gr, 0,5 gr dan 1 gr akan dianalisa sifat strukturnya menggunakan XRD, gugus fungsinya menggunakan FTIR, serta nilai bandgap dan uji fotokatalis menggunakan UV-Vis. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan solusi permasalahan dalam penguraian limbah cair.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sifat struktur, nilai bandgap, dan gugus fungsi pada ZnO/Mg/ Karbon aktif ?
2. Bagaimana pengaruh variasi doping terhadap kemampuan degradasi limbah cair menggunakan Uv-Vis ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan khusus yang melatar belakangi penelitian ini adalah:

1. Menganalisis perubahan sifat struktur, nilai bandgap, dan gugus fungsi pada ZnO/Mg/ Karbon aktif.
2. Menganalisis pengaruh variasi doping terhadap kemampuan degradasi limbah cair menggunakan Uv-Vis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Limbah Cair

Pencemaran lingkungan, terutama pencemaran air, kini menjadi perhatian global karena adanya kontaminan organik seperti obat-obatan yang tidak dapat terurai secara alami. Pengolahan polutan air menjadi kebutuhan mendesak, mengingat kontaminan semacam itu tidak bisa sepenuhnya diatasi dengan metode pengolahan air konvensional. Globalisasi penggunaan antibiotik dan peningkatan konsentrasi antibiotik dalam air limbah menimbulkan tantangan serius, karena sebagian besar antibiotik dan metabolitnya tetap berada dalam limbah selama proses pengolahan, mencapai air permukaan, dan menghasilkan strain bakteri yang resisten terhadap antibiotik. Hal ini telah menyebabkan lebih dari 70.000 kematian setiap tahun di seluruh dunia. [10]. Polusi air adalah masalah lingkungan yang serius di dunia. Peningkatan jumlah penduduk telah membuat permintaan air bersih dan terjangkau menjadi tantangan utama bagi sebagian besar negara berkembang.

Polusi air adalah masalah yang serius dan meresahkan bagi lingkungan, terutama di negara-negara berkembang di mana populasi mereka meningkat. Pencemaran air terutama disebabkan oleh konsumsi dan pembuangan limbah harian dari industri seperti kertas, plastik, kosmetik, makanan, percetakan, farmasi, dan tekstil [11]. Limbah industri mengandung komponen beracun, seperti pewarna tidak stabil, senyawa organik, dan logam berat, yang jika tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan ancaman serius terhadap ekosistem perairan. [9].

II. 2 Seng Oksida (ZnO)

ZnO merupakan kandidat menjanjikan untuk degradasi pewarna karena energi pengikatan eksitonnya yang besar (60 meV) pada suhu kamar. Seng oksida adalah fotokatalis yang sangat baik karena aktivitas fotokatalitiknya yang tinggi, stabilitas biologis yang baik, serta sifatnya yang murah dan tidak beracun. Penelitian telah menunjukkan bahwa sifat fotokatalitik dari struktur nano seng oksida dapat ditingkatkan melalui proses doping. Faktanya, berbagai studi menunjukkan bahwa sifat fotokatalitik ZnO dapat dimodifikasi dengan mendoping menggunakan elemen seperti Co, Fe, Cu, Ni, Mg, dan Al [12].

Zinc Oxide (ZnO), sebagai semikonduktor tipe-n dengan lebar celah pita sebesar 3,2 eV, menonjol dengan sifat-sifat yang sangat baik dan dapat diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk sel surya, perangkat pendaran ultraviolet (UV), dan sebagai bahan fotokatalis. ZnO dapat dengan mudah disintesis menggunakan metode yang berbeda, seperti metode sol-gel, ko-presipitasi, teknik hidrotermal, dan mikroemulsi. Nanopartikel ZnO menawarkan prospek penelitian dan aplikasi yang menarik karena memiliki luas permukaan yang besar untuk proses degradasi fotokatalitik polutan pewarna. Selain itu, keunggulan ZnO sebagai nanomaterial yang tidak beracun dan memiliki biaya rendah membuatnya menjadi material fotokatalitik yang paling menjanjikan [13].

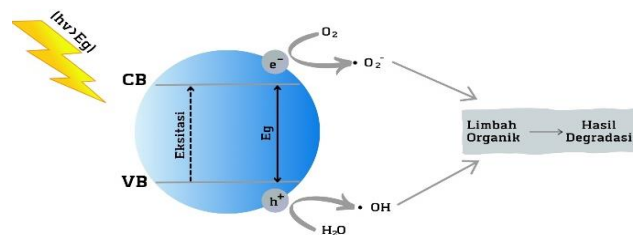
II. 3 Magnesium (Mg)

Magnesium (Mg) adalah kandidat yang menjanjikan karena memiliki radius ionik yang sama dengan Zn yang memungkinkan penggabungan Mg^{2+} ke dalam kisi kristal ZnO dan kemudian dapat meningkatkan rentang panjang gelombang serapan yang akan meningkatkan efisiensi degradasi zat warna organik. [14]. Di antara unsur-unsur yang berbeda, Magnesium (Mg) dianggap sebagai salah satu dopan yang paling menarik untuk mensintesis struktur nano ZnO yang direkayasa dengan celah pita. Doping Mg dalam ZnO lebih disukai karena beberapa alasan; (i) Jari-jari ionik Mg^{2+} ($0,72 \text{ \AA}$) sangat dekat dengan Zn^{2+} ($0,74 \text{ \AA}$). (ii) Penggabungan Mg ke dalam Zn membuat konstanta kisi hampir tidak berubah. (iii) Kelarutan padat Mg dalam ZnO tinggi. (iv) Larutan padat Mg (dengan celah pita yang lebih lebar $\sim 6,27 \text{ eV}$) dan ZnO menimbulkan peningkatan celah pita dan intensitas pendaran UV-vis dari sistem ZnO yang didoping Mg, sehingga cocok untuk aplikasi optoelektronik dan perangkat layar. Selain itu, nanopartikel ZnO yang didoping Mg dapat bertindak sebagai fotokatalis yang efisien, untuk mendegradasi polutan organik di lingkungan, dan agen antibakteri yang menjanjikan, karena celah pita optiknya yang lebih lebar [15][16].

II.4 Fotokatalis

Fotokatalisis adalah teknologi yang ramah lingkungan, ekonomis, dan berkelanjutan untuk mendegradasi polutan organik, di mana energi cahaya dapat diubah secara efektif menjadi energi kimia yang berguna [17]. Fotokatalisis

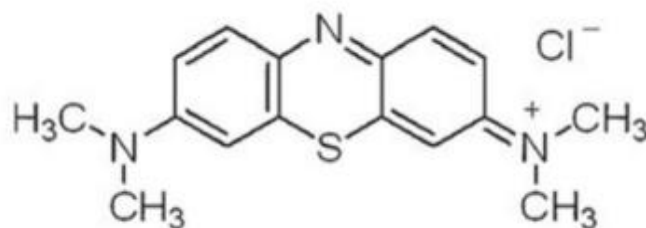
merupakan proses oksidasi tingkat lanjut yang mampu menghilangkan bahan organik beracun, bakteri, dan polutan lingkungan melalui fotodegradasi. Dari berbagai jenis fotokatalis yang tersedia, semikonduktor oksida logam seperti ZnO menjadi yang paling populer dan banyak digunakan [3]. Mekanisme proses fotokatalisis terjadi ketika material katalis menyerap jumlah energi cahaya yang lebih besar atau sama dengan celah pita energi pada semikonduktor, terjadi eksitasi elektron menuju pita konduksi dan pembentukan lubang (h^+) pada pita valensi. Selanjutnya, elektron (e^-) mengoksidasi oksigen (O_2) dan membentuk radikal superoksida ($\bullet O_2^-$), yang berfungsi sebagai reduktor. Lubang kemudian akan mereduksi molekul air (H_2O) dan menghasilkan proses fotokatalisis. [18].



Gambar 2.1 Skema proses fotokatalis

II. 5 Metilen Biru

Metilen Biru adalah pewarna tiazin kationik dan primer yang terkenal dengan rumus molekul $C_{16}H_{18}ClN_3S$, memiliki λ maks 663 nm. Pewarna ini sangat larut dalam air, dan karenanya membentuk larutan yang stabil dengan air pada suhu kamar. Metilen Biru berada di bawah kelas pewarna polymethine dengan unit autokrom amino dan merupakan senyawa bermuatan positif. Model dan struktur molekul MB ditunjukkan pada Gambar 2.2 Metilen Biru adalah indikator redoks dan bukan indikator pH [19].



Gambar 2.2 Struktur molekul pewarna Metilen Biru

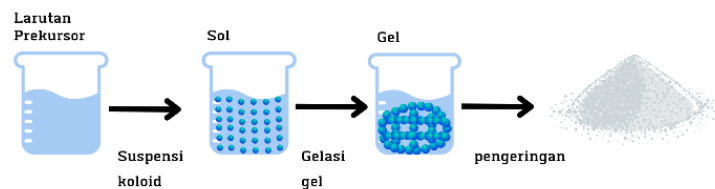
Sebagian besar metode konvensional untuk menghilangkan Metilen Biru memiliki keterbatasan karena menghasilkan hal-hal mahal seperti proses membran atau polutan sekunder seperti mekanisme adsorpsi dan biosorpsi. Karena keunggulannya yang unik tanpa menghasilkan polutan sekunder, teknik fotokatalitik menjadi sangat penting untuk degradasi bahan berbahaya. Fotokatalis mengubah zat berbahaya menjadi bagian yang ramah lingkungan seperti karbon dioksida dan air. Khususnya, dengan sifat magnetiknya, fotokatalis mudah digunakan berulang kali [20].

II.6 Sol-Gel

Metode sol-gel, metode kimiawi basah, memungkinkan pembentukan berbagai struktur nano, khususnya nanopartikel oksida logam. Metode ini menggunakan prekursor molekuler (biasanya logam alkoksida) untuk dilarutkan dalam air atau alkohol dan kemudian diubah menjadi gel dengan memanaskan dan mengaduk dengan hidrolisis atau alkoholisis. Gel yang dihasilkan dari proses ini bersifat basah atau lembap, jadi metode pengeringannya harus dipilih sesuai dengan sifat dan tujuan gel. Metode sol-gel adalah pilihan yang murah dan memiliki suhu reaksi yang rendah yang memungkinkan kontrol yang baik atas komposisi kimia produk [21].

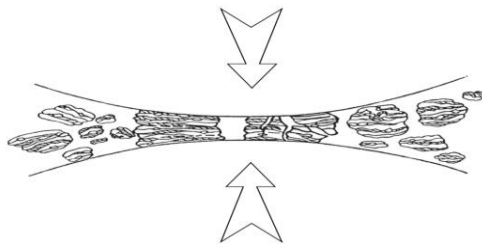
Metode sol-gel adalah pendekatan sintesis yang banyak digunakan untuk persiapan bahan anorganik (nano). Keuntungan dari metode sol-gel termasuk toleransinya terhadap variasi prekursor, kondisi reaksi yang ringan, dan peningkatan skala yang mudah. Berbagai macam oksida logam berstruktur nano, silikat, dan kompositnya telah berhasil diperoleh melalui metode sol-gel, mulai dari nanopartikel, nanorods, nanofibres atau nanotube, hingga material dengan pori-pori dalam skala nano, yang dapat dibagi lagi menjadi material mikropori (diameter pori, $dp < 2 \text{ nm}$), mesopori ($2 \text{ nm} \leq dp \leq 50 \text{ nm}$), dan makropori ($dp > 50 \text{ nm}$). Proses sintesis sol-gel biasanya dimulai dengan langkah hidrolisis dan kondensasi yang mengarah pada pembentukan larutan koloid (sol). Setelah kondensasi lebih lanjut, sol berevolusi menjadi jaringan terintegrasi (gel), di dalam rongga/pori-pori tempat

molekul pelarut terperangkap. Gelasi umumnya diikuti oleh penuaan dan pengeringan (Gambar 1). Selama tahap penuaan, konsolidasi struktur dicapai melalui kelanjutan reaksi kondensasi. Gel dapat dikonversi menjadi produk oksida padat akhir dengan menghilangkan pelarut melalui pencucian, pengeringan dan / atau perlakuan termal [22].



Gambar 2.3 Tahapan metode Sol-Gel

II.7 Mechanical Alloying



Gambar 2.4 Tumbukan bola-bubuk-bola dari campuran serbuk selama pemaduan mekanis [23].

Mechanical Alloying adalah paduan mekanis yang paling memungkinkan untuk memunculkan komersialisasi logam nanokristalin curah karena kemampuannya untuk menghasilkan bubuk nanokristalin dalam jumlah besar. Paduan mekanis adalah proses di mana serbuk unsur murni dan / atau serbuk pra-paduan mengalami deformasi plastis yang parah melalui tabrakan berulang antara media penggilingan dan partikel serbuk yang sering kali menghasilkan produksi struktur mikro nanokristalin atau amorf yang biasanya menunjukkan sifat mekanik yang luar biasa [24].

Di antara berbagai metode produksi bahan, *mechanical alloying* (MA) sebagai metode non-kesetimbangan memungkinkan penciptaan struktur dengan komposisi yang seragam pada suhu rendah. Metode ini relatif cepat dan sangat

cocok untuk menghasilkan fasa stabil dalam rentang kombinasi komponen yang sempit dan pada suhu rendah. Dalam metode ini, semua reaksi berlangsung dalam kondisi padat, membantu mengatasi perilaku pepadatan yang kompleks selama pengecoran konvensional. Pada paduan mekanis, struktur akhir sistem dipengaruhi oleh komposisi awal elemen, waktu penggilingan, perlakuan termal, energi penggilingan, dan beberapa parameter lainnya [25].

II. 8 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah bahan berbasis karbon dengan luas permukaan dan struktur pori internal yang besar, distribusi ukuran pori yang beragam, dan spektrum gugus fungsi teroksidasi yang luas. Pada bidang heksagonal lapisan karbon aktif, terdapat banyak gugus fungsi teroksidasi seperti karbonil, karboksil, aldehid, fenol, dan gugus organik lainnya yang berperan penting dalam reaktivitas permukaan karbon aktif. Selain itu, proses adsorpsi menggunakan karbon aktif yang sesuai menunjukkan kinerja dan selektivitas yang tinggi, fleksibilitas, serta desain yang sederhana tanpa menghasilkan produk berbahaya. Karena karakteristik ini, karbon aktif dikenal memiliki kapasitas adsorpsi yang relatif tinggi [26]. Karbon aktif dipelajari secara mendalam sebagai adsorben untuk pemurnian air. Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengubah biomassa menjadi produk berbasis karbon karena pembuatannya yang sederhana, ekonomis, dan ekologis serta memiliki luas permukaan yang sangat besar. Karbon aktif dapat diregenerasi secara fisik dengan pemanasan atau secara kimiawi dengan menggunakan berbagai pelarut. Regenerasi termal dari karbon aktif yang dimuat, di sisi lain, menghasilkan kehilangan karbon yang signifikan dan tidak dapat dilakukan secara in situ. Selain itu, keberadaan logam berat mengkatalisis hilangnya karbon melalui pemanasan. Lebih jauh lagi, regenerasi kimiawi mengurangi porositas karbon, mengurangi efisiensi fisik [27].