

**DEGRADASI ZAT WARNA *METHYL ORANGE* DENGAN  
KATALIS ZnO/Co MENGGUNAKAN METODE  
FOTOSONOLISIS**

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar  
Sarjana Sains (S.Si)*



**Oleh :  
LAILA SURYANI  
NIM/TM. 17036021/2017**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2021**

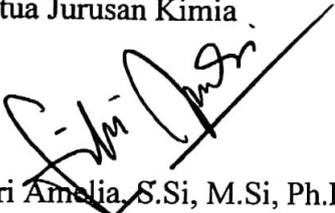
## PERSETUJUAN SKRIPSI

### DEGRADASI ZAT WARNA *METHYL ORANGE* DENGAN KATALIS $ZnO/Co$ MENGGUNAKAN METODE FOTOSONOLISIS

Nama : Laila Suryani  
NIM : 17036021  
Program Studi : Kimia  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 2 Juni 2021

Mengetahui:  
Ketua Jurusan Kimia

  
Fitri Amelia, S.Si, M.Si, Ph.D  
NIP. 19800819 200912 2 002

Disetujui Oleh:  
Pembimbing

  
Hary Sanjaya, M.Si  
NIP. 19830428 200912 1 007

## PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Laila Suryani  
NIM : 17036021  
Program Studi : Kimia  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

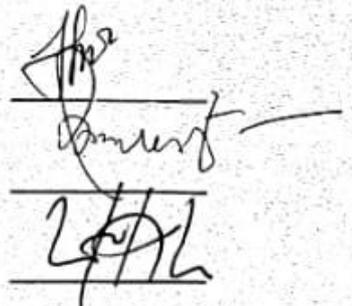
### DEGRADASI ZAT WARNA *METHYL ORANGE* DENGAN KATALIS ZnO/Co MENGGUNAKAN METODE FOTOSONOLISIS

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi  
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Padang

Padang, 2 Juni 2021

Tim Penguji	
	Nama
Ketua	: Hary Sanjaya, M.Si
Anggota	: Dr. Indang Dewata, M. Si
Anggota	: Umar Kalmar Nizar, S.Si,M.Si.,Ph.D

Tanda tangan



Three handwritten signatures are present, each on a horizontal line. The first signature is the most legible, appearing to be 'Hary Sanjaya'. The second signature is less legible, and the third signature is also less legible.

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis saya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul “Degradasi Zat Warna *Methyl Orange* Dengan Katalis ZnO/Co Menggunakan Metode Fotosonolisis”, adalah asli karya sendiri.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya, tanpa bantuan pihak lain, kecuali pembimbing.
3. Di dalam karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada kepustakaan.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, 2 Juni 2021

Yang membuat pernyataan



Laila Suryani

17036021

## ABSTRAK

Degradasi metil jingga dilakukan dengan variasi waktu 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 menit dan variasi konsentrasi katalis doped 5%, 10%, 15%, 20%, 25% menggunakan metode fotosonolisis. Hasil penelitian menunjukkan waktu degradasi *methyl orange* maksimum 210 menit dengan persentase degradasi 76,1216%. Variasi konsentrasi katalis untuk degradasi *methyl orange* diperoleh konsentrasi maksimum 5% dengan persentase degradasi 20,1045%. Karakterisasi dengan XRD diperoleh ukuran kristal berkisar antara ZnO/Co 5% 14,0436 – 38,0873 nm. Nilai celah pita katalis ZnO/Co 5% yang dilakukan menggunakan UV-Vis *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS) adalah 3,15 eV.

**Kata kunci :** degradasi, *methyl orange*, ZnO/Co, fotosonolisis

## KATA PENGANTAR

*Assalaamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh*

Puji dan Syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Degradasi Zat Warna *Methyl Orange* Dengan Katalis ZnO/Co Menggunakan Metode Fotosonolisis”. Proposal ini diajukan untuk memenuhi persyaratan mata kuliah Seminar Hasil di Program Studi Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, petunjuk, arahan, dan masukan yang berharga dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada :

1. Allah SWT, Tuhan Semesta Alam, yang telah memberikan nikmat menuntut ilmu sehingga penulis dapat menambah wawasan di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
2. Kedua orang tua dan saudara penulis tercinta yang telah memberikan semangat, dorongan dan do'a kepada penulis dalam melakukan penelitian.
3. Bapak Hary Sanjaya, S.Si, M.Si selaku pembimbing sekaligus penasehat akademik.
4. Ibu Fitri Amelia, S.Si, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.
5. Bapak Umar Kalmar Nizar, S.Si, M.Si, Ph.D selaku Ketua Prodi Kimia Universitas Negeri Padang.

6. Bapak Dr. Indang Dewata, M. Si dan Bapak Umar Kalmar Nizar, S.Si, M.Si, Ph.D selaku Dosen Penguji.
7. Kakek, tante dan paman yang telah memberikan semangat dan do'a kepada penulis dalam melaksanakan penelitian.
8. Abang, kakak dan teman-teman jurusan kimia tahun 2017 yang telah memberikan masukan dan semangat kepada penulis dalam pelaksanaan penelitian.
9. Tim Fotosonolisis yang telah membantu dan bekerja sama dalam menyelesaikan penelitian bersama ini.
10. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis berpedoman kepada buku Panduan Penulisan Skripsi Non Kependidikan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang. Untuk kesempurnaan proposal ini, maka dengan kerendahan hati penulis mengharapkan masukan, kritikan dan saran yang membangun dari semua pihak. Atas masukan dan saran yang diberikan penulis haturkan terima kasih.

*Wassalaamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh*

Padang, Mei 2021

Laila Suryani

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN .....	vii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Rumusan Masalah .....	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II .....	6
2.1 <i>Methyl Orange</i> (MO).....	6
2.2 <i>Zinc Oxide</i> (ZnO) .....	7
2.3 Dopan Cobalt.....	10
2.4 Fotokatalisis.....	11
2.4.1 Fotokatalis ZnO/Co.....	14
2.5 Fotolisis .....	15
2.6 Sonolisis .....	16
2.7 Fotosonolisis.....	18
2.8 Spektrofotometer UV-Vis .....	19
2.9 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	20
2.10 <i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-Vis DRS).....	23
BAB III .....	25
3.1 Waktu dan Tempat .....	25
3.2 Objek Penelitian .....	25
3.3 Variabel Penelitian .....	25

3.4 Alat dan Bahan .....	26
3.4.1 Alat-alat yang digunakan .....	26
3.4.2 Bahan-bahan yang digunakan .....	26
3.5 Prosedur Penelitian .....	26
3.5.1 Preparasi katalis ZnO/Co .....	26
3.5.2 Pembuatan model limbah <i>methyl orange</i> .....	27
3.5.3 Uji aktivitas katalitik ZnO/Co dengan zat warna <i>methyl orange</i> .....	27
3.5.4 Karakterisasi katalis menggunakan XRD .....	28
3.5.5 Karakterisasi katalis menggunakan UV-Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-DRS) .....	28
3.5.6 Teknis analisis data .....	28
3.6 Skema Alat .....	30
3.7 Skema Penelitian .....	31
BAB IV .....	32
4.1 Degradasi <i>Methyl Orange</i> dengan Metode Fotosonolisis .....	32
4.1.1 Degradasi <i>Methyl Orange</i> Dengan Variasi Waktu Penyinaran Menggunakan Katalis ZnO Secara Fotosonolisis .....	32
4.1.2 Degradasi <i>Methyl Orange</i> Dengan Variasi Konsentrasi Katalis ZnO/Co Secara Fotosonolisis .....	35
4.2 Karakterisasi Katalis .....	37
4.2.1 Karakterisasi Katalis ZnO/Co dengan XRD .....	37
4.2.2 Karakterisasi Katalis ZnO/Co dengan UV-Vis DRS .....	39
BAB V .....	41
5.1 Kesimpulan .....	41
5.2 Saran .....	41
DAFTAR PUSTAKA .....	42
LAMPIRAN .....	48

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur <i>methyl orange</i> .....	6
Gambar 2. Struktur ZnO .....	8
Gambar 3. Degradasi polutan organik oleh ZnO dengan adanya cahaya matahari .....	12
Gambar 4. Diagram skematis untuk mekanisme fotokatalitik sampel ZnO yang didoping .....	15
Gambar 5. Pola difraksi sinar-X dari nanopartikel ZnO doping 7% Co <sup>2+</sup> pada suhu 400°C .....	22
Gambar 6. Skema alat fotosonolisis.....	30
Gambar 7. Kurva degradasi <i>methyl orange</i> dengan variasi waktu penyinaran secara fotosonolisis .....	32
Gambar 8. Kurva degradasi <i>methyl orange</i> dengan variasi konsentrasi katalis secara fotosonolisis .....	36
Gambar 9. Pola XRD ZnO/Co 5% .....	37
Gambar 10. Grafik band gap ZnO/Co 5% dengan UV-Vis DRS .....	40

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan preparasi katalis ZnO/Co.....	48
Lampiran 2. Preparasi katalis ZnO/Co.....	50
Lampiran 3. Pembuatan larutan <i>methyl orange</i> .....	51
Lampiran 4. Degradasi <i>methyl orange</i> dengan variasi waktu radiasi secara fotosonolisis .....	52
Lampiran 5. Degradasi <i>methyl orange</i> dengan variasi konsentrasi katalis ZnO/Co secara fotosonolisis .....	53
Lampiran 6. Kurva absorbansi <i>methyl orange</i> sebelum degradasi dengan spektrofotometer UV-Vis.....	54
Lampiran 7. Absorbansi <i>methyl orange</i> setelah proses degradasi pada variasi waktu radiasi menggunakan katalis ZnO secara fotosonolisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.....	55
Lampiran 8. Hasil degradasi <i>methyl orange</i> variasi waktu radiasi menggunakan katalis ZnO secara fotosonolisis.....	58
Lampiran 9. Absorbansi <i>methyl orange</i> setelah proses degradasi pada variasi konsentrasi katalis ZnO/Co secara fotosonolisis dengan spektrofotometer UV-Vis .....	59
Lampiran 10. Hasil degradasi <i>methyl orange</i> variasi konsentrasi katalis ZnO/Co secara fotosonolisis .....	61
Lampiran 11. Reflaktan ZnO/Co 5% .....	62

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri tekstil dari tahun ke tahun di Indonesia mengalami pertumbuhan produksi yang sangat pesat. Selain memberikan banyak manfaat bagi kehidupan manusia, perkembangan industri ini juga menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Dampak negatif ini diakibatkan oleh limbah industri tekstil yang dihasilkan, salah satunya yaitu limbah zat warna hasil dari proses pewarnaan tekstil (Nurlaili et al., 2017). Industri tekstil mengeluarkan air yang mengandung zat warna dalam jumlah besar di mana pewarna azo yang paling umum digunakan (70% dari semua zat warna). Pewarna azo sangat sulit didegradasi karena struktur dan stabilitasnya yang kompleks (Mahamallik & Pal, 2019).

Senyawa azo dalam industri tekstil dipakai sebagai bahan celup, yang disebut dengan azo *dyes*. Keberadaan pewarna azo di dalam air atau lingkungan berpotensi memberikan dampak buruk, karena akan menjadi sumber penyakit yang disebabkan oleh tidak hanya zat warnanya tetapi juga sifat karsinogenik (Nurlaili et al., 2017), toksisitas, non-biodegradabilitas, dan sifat mutageniknya (Mahamallik & Pal, 2019). Salah satu pewarna azo yang biasa digunakan dalam proses pencelupan adalah zat warna *methyl orange* (MO).

*Methyl orange* merupakan senyawa organik yang memiliki rumus  $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$ , biasanya juga dipakai sebagai indikator pada titrasi asam basa. *Methyl orange* dibuat dengan asam sulfanilat dan N, N-dimethylaniline (Nurlaili et al., 2017). *Methyl Orange* (MO) adalah salah satu pewarna azo yang penting

dan banyak digunakan di perusahaan tekstil, makanan, kulit, farmasi, pulp dan kertas. MO juga digunakan sebagai pewarna untuk penentuan gas hidrogen dan hidroklorida (Bhatti et al., 2019; Mehra et al., 2012). Aspek yang paling buruk dari penggunaan MO adalah sifat toksik, mutagenik dan karsinogeniknya. Aspek buruk ini menjadi perhatian besar bahwa MO masuk ke dalam air yang menyebabkan dampak besar pada kualitas air dan berbahaya bagi kehidupan makhluk hidup maupun lingkungan disekitarnya (Bhatti et al., 2019; Komala et al., 2008). MO sulit untuk di degradasi. Oleh karena itu, metode selektif diperlukan untuk degradasinya (Bhatti et al., 2019).

Berberapa metode sudah dilakukan untuk menyelesaikan persoalan limbah zat warna, diantaranya yaitu metode kimia (ozonasi, klorinasi, fotosonolisis) dan metode fisika (pengendapan, osmosis terbalik, adsorpsi). Dari beberapa metode ini, yang dapat dikatakan efektif untuk dipakai dalam mendegradasi zat warna yaitu fotosonolisis, sebab metode tersebut merupakan jenis metode *Advance Oxidation Processes* (AOPs) dimana metode ini mengkombinasikan antara metode sonolisis dan fotolisis. Pada sonolisis gelombang mekanik dihasilkan dengan mempengaruhi efek kavitasi pada air sedangkan pada fotolisis terjadi interaksi antara molekul air dengan sinar matahari (UV/*Visible*) (Sanjaya, 2018). Pada metode fotosonolisis digunakan katalis semikonduktor yang dapat bekerja lebih cepat dalam mendegradasi limbah zat warna (Salehi et al., 2012).

Salah satu material yang dapat dikembangkan adalah material semikonduktor nanopartikel yaitu *Zink Oxide* (ZnO). ZnO merupakan semikonduktor yang banyak diminati juga dikembangkan sebagai nanomaterial luminisens karena mempunyai sifat yang unik, dimana material ini memiliki celah

pita langsung dari golongan semikonduktor II-VI (Ningsih et al., 2017). ZnO dianggap sebagai salah satu bahan oksida terpenting karena fitur uniknya dan berbagai aplikasi penting secara teknologi. ZnO adalah semikonduktor dengan *band gap* (celah pita) 3,37 eV, energi pengikat eksiton besar 60 MeV juga stabil secara kimiawi dan termal (Omri et al., 2014). Selain itu, harganya murah dan ramah lingkungan dibandingkan dengan oksida logam lainnya. Sifat ini menjadikannya sebagai salah satu semikonduktor terbaik untuk berbagai aplikasi di bidang, seperti sensor gas, sel surya, variabel resistors, perangkat pemancar cahaya, fotokatalis, aktivitas antibakteri dan pengobatan kanker (Singhal et al., 2012).

Walaupun memiliki aplikasi yang banyak ZnO murni memiliki keterbatasan pada ukuran partikelnya yang relatif besar menjadikan nilai celah pitanya besar, sehingga dengan nilai *band gap* besar yang mana kurang sesuai jika di aplikasikan pada cahaya tampak (Ningsih et al., 2020). Maka dari itu perlu dilakukan modifikasi terhadap ZnO untuk mengoptimalkannya dengan cara melakukan pendopongan. Ion logam transisi yang telah digunakan sebagai dopan untuk ZnO yaitu  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ , dan  $\text{Fe}^{3+}$  (Ciciliati et al., 2015).

Ion cobalt (II) ( $\text{Co}^{2+}$ ) dapat digunakan sebagai dopan terhadap ZnO, karena cobalt adalah suatu dopan yang paling efektif dan memiliki pengaruh yang sangat kecil terhadap struktur kisi ZnO (Ningsih et al., 2020). Doping ZnO dengan Cobalt ( $\text{Co}^{2+}$ ) juga telah mendapat perhatian yang banyak dikarenakan atom-atom dari logam tersebut bisa meningkatkan proses degradasi dan reduksi fotokatalitik. Penambahan ion cobalt ( $\text{Co}^{2+}$ ) pada lapisan tipis ZnO bisa menurunkan *band gap* atau energi celah pita, sehingga mampu bekerja di cahaya tampak sampai dengan

panjang gelombang 550 nm, sehingga energi yang digunakan menjadi lebih efisien (Reddy B et al., 2013). Efisiensi energi ini terjadi karena ion cobalt bisa berperan sebagai penyerap untuk mengumpulkan fotoelektron yang ZnO hasilkan dari pita konduksinya (Kumar et al., 2015).

Berdasarkan uraian diatas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Degradasi Zat Warna *Methyl Orange* Dengan Katalis ZnO/Co Menggunakan Metode Fotosonolisis”. Degradasi *methyl orange* dapat dipengaruhi oleh variasi konsentrasi doping  $\text{Co}^{2+}$  sebagai katalis dan lama waktu radiasi degradasi yang berlangsung (Awual et al., 2020).

Pada penelitian ini diharapkan dengan menggunakan metode fotosonolisis dapat mengetahui keefektifan dalam mendegradasi zat warna *methyl orange* menggunakan katalis ZnO dan ZnO doping  $\text{Co}^{2+}$  (ZnO/Co). Hasil degradasi akan dikarakterisasi dengan Spektrofotometer UV-Vis, UV-Vis DRS dan XRD.

## 1.2 Identifikasi Masalah

1. *Methyl orange* merupakan pewarna sintetis yang sulit di degradasi.
2. Beberapa metode telah digunakan dalam penguraian zat warna sintetis, namun upaya tersebut dirasa masih kurang efektif dan efisien.

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Temperatur kalsinasi dilakukan pada suhu  $500^{\circ}\text{C}$
2. Pembuatan larutan *methyl orange* pada konsentrasi 10 ppm
3. Variasi konsentrasi dopan  $\text{Co}^{2+}$  adalah 5, 10, 15, 20 dan 25%
4. Variasi lama waktu penyinaran adalah 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 dan 240 menit

#### 1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka perumusan masalah untuk penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu penyinaran lampu UV yang digunakan terhadap degradasi zat warna *methyl orange* secara fotolisis?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi dopan  $\text{Co}^{2+}$  terhadap degradasi zat warna *methyl orange* secara fotolisis?
3. Bagaimana karakterisasi ZnO/Co maksimum menggunakan XRD dan UV-Vis DRS?

#### 1.5 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh waktu penyinaran dengan lampu UV terhadap degradasi *methyl orange* secara fotolisis.
2. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi dopan  $\text{Co}^{2+}$  terhadap proses degradasi zat warna *methyl orange* secara fotolisis.
3. Untuk mengetahui hasil karakterisasi katalis ZnO/Co menggunakan XRD dan UV-Vis DRS.

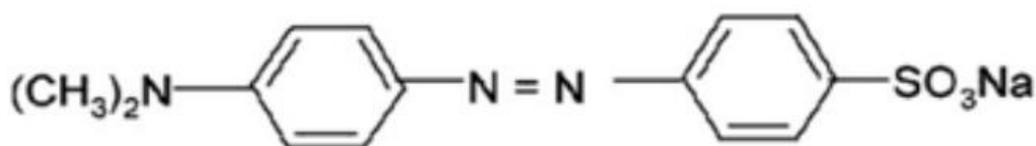
#### 1.6 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan bisa menambah ilmu pengetahuan di bidang fotokatalis yang mengembangkan metode fotolisis untuk mendegradasi zat warna sintesis pada industri secara efektif juga efisien serta bisa dijadikan sebagai sumber referensi untuk penelitian berikutnya.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Methyl Orange* (MO)

*Methyl orange* adalah pewarna azo turunan gugus benzena dengan rumus molekul  $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$  dan massa molekul 327,34 gram/n yang bersifat *non-biodegradable* (Mehra et al., 2012; Obeid et al., 2013; Wardhani et al., 2015). *Methyl orange* merupakan pewarna sintetis yang berbentuk kristal berwarna kuning kemerahan (Suirta, 2010). *Methyl orange* banyak digunakan dalam dunia industri sebagai pewarna kain, karena zat warna ini memiliki sifat paling reaktif dalam proses pencelupan bahan tekstil. *Methyl orange* juga digunakan di laboratorium sebagai indikator pada proses titrasi asam dan basa kuat (berubah warna dari merah menjadi kuning pada kisaran pH 3,1-4,4) (Dhamayanti et al., 2005; Mehra et al., 2012; Obeid et al., 2013). Adapun struktur dari *methyl orange* dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Struktur *Methyl Orange* (sodium-4-dimethyl amino-azo benzene-4 sulfonate) (Mehra et al., 2012)

*Methyl orange* mempunyai panjang gelombang maksimum ( $\lambda_{maks}$ ) sekitar 465 nm (Oakes & Gratton, 1998). *Methyl orange* merupakan penyebab utama dalam pencemaran air (Dhir, 2020). Keberadaan zat warna ini di dalam perairan dapat menyebabkan kerusakan bagi lingkungan, karena warna yang ditimbulkan dapat mengurangi serapan cahaya matahari sehingga dapat mengganggu proses

fotosintesis tanaman dan mengakibatkan kadar  $O_2$  berkurang dalam air (Madjid et al., 2015), kemudian ditambah oleh pengaruh sifat toksik dan mutageniknya (Komala et al., 2008), sehingga sangat mempengaruhi pertumbuhan kehidupan air dan menyebabkan efek kesehatan jangka panjang (Dhir, 2020).

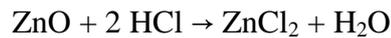
## **2.2 Zinc Oxide (ZnO)**

*Zinc Oxide* adalah senyawa anorganik yang memiliki rumus ZnO. Biasanya muncul sebagai bubuk putih yang biasa dikenal sebagai seng putih atau sebagai mineral *zincite*. Mineral tersebut biasanya mengandung sejumlah mangan dan unsur-unsur lainnya dan berwarna kuning sampai merah, hampir tidak larut dalam air. Serbuk ini banyak digunakan sebagai aditif pada berbagai bahan dan produk termasuk plastik, keramik, kaca, semen, karet (misalnya ban mobil), pelumas, cat, salep, perekat, sealant, pigmen, makanan (sumber nutrisi Zn), baterai, ferit, penghambat api, dll. ZnO hadir di kerak bumi sebagai mineral *zincite* namun, sebagian besar ZnO yang digunakan secara komersial diproduksi secara sintetis.

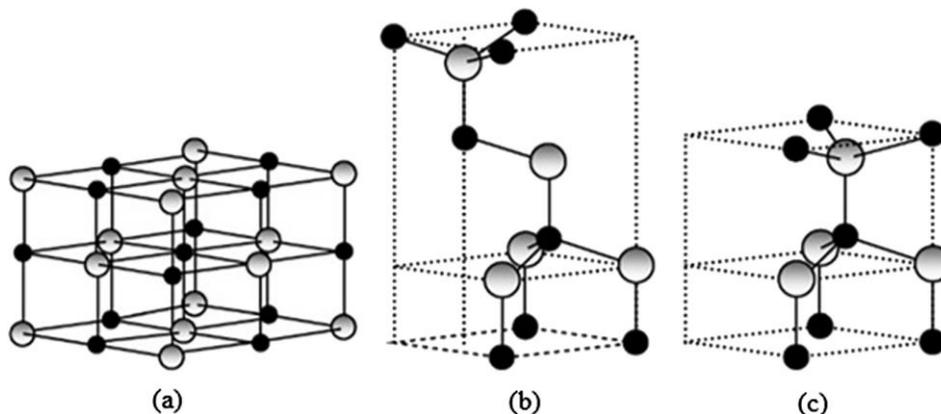
Dalam ilmu material, ZnO sering disebut semikonduktor II-VI karena seng dan oksigen masing-masing termasuk dalam kelompok ke-2 dan ke-6 dari tabel periodik. Material ini memiliki beberapa sifat yang disukai yaitu transparansi yang baik, mobilitas elektron tinggi, celah pita lebar, pendaran suhu ruangan yang kuat, dan lain sebagainya. Sifat tersebut sudah digunakan dalam aplikasi yang muncul untuk elektroda transparan dalam layar kristal cair dan di jendela hemat energi atau pelindung panas serta aplikasi elektronik.

Seng oksida kristal bersifat termokromik, berubah dari putih menjadi kuning saat dipanaskan dan di udara berubah menjadi putih saat didinginkan. Hal ini disebabkan oleh kehilangan oksigen yang sangat kecil pada temperatur tinggi

membentuk non-stoikiometri  $Zn_{1+x}O$ , dimana pada  $800^{\circ}C$ ,  $x = 0,00007$ . Seng oksida adalah oksida amfoter. Material ini hampir tidak larut dalam air dan alkohol, tetapi larut dalam (terdegradasi oleh) sebagian besar asam, seperti asam klorida :



Seng oksida mengkristal dalam tiga bentuk yaitu *hexagonal wurtzite*, *zinblende cubic*, dan *cubic rocksalt* yang jarang diamati (Behera, 2016). Struktur kristal yang paling umum dari seng oksida adalah jenis *wurtzite*, kisi heksagonal dengan ion seng dikelilingi oleh koordinasi tetragonal (Habibi & Shojaee, 2014).



**Gambar 2.** Struktur ZnO (a) rocksalt (cubic), (b) zinblende (cubic) dan (c) wurtzite (hexagonal) (Lee et al., 2016)

ZnO adalah semikonduktor tipe-n dengan energi celah pita langsung 3,37 eV (terutama menyerap sinar UV karena ambang batasnya 368 nm) dan pada suhu kamar karena ZnO memiliki energi pengikat eksitasi yang besar sebesar 60 meV. Karena memiliki celah pita energi yang lebar maka ZnO transparan terhadap sinar tampak (400-700 nm). Dengan pencahayaan ultraviolet (<400 nm) permukaan ZnO mempunyai kemampuan mengionisasi reaksi kimiawi. Absorpsi sinar UV (<400 nm) oleh ZnO akan diikuti perpindahan elektron pita valensi ke pita

konduksi dan terbentuknya pasangan elektron ( $e^-$ ) dan *hole* positif ( $h^+$ ) (Sutanto & Wibowo, 2015).

Senyawa ini dapat menyerap fraksi spektrum UV yang lebih besar dan menunjukkan kinerja fotokatalitik yang lebih besar daripada  $TiO_2$  dalam fotodegradasi polutan organik karena elektron mobilitas ( $200-300 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ )  $ZnO$  jauh lebih tinggi daripada  $TiO_2$  ( $0.1-4.0 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ), yang mempercepat transfer elektron dan dengan demikian berkontribusi pada efisiensi kuantum yang tinggi.  $ZnO$  banyak digunakan sebagai bahan baku di industri keramik, kosmetik, tekstil dan kaca (Khan et al., 2020; Qi et al., 2017).  $ZnO$  lebih efisien daripada  $TiO_2$  juga karena dalam menghasilkan  $H_2O_2$  (radikal) yang menjadi pentransformasi senyawa-senyawa kontaminan bahkan  $ZnO$  lebih ramah terhadap lingkungan daripada  $TiO_2$  sehingga  $ZnO$  dapat diaplikasikan sebagai sumber  $H_2O_2$  dalam fototransformasi senyawa-senyawa kontaminan (Yu et al., 2013).

$ZnO$  adalah semikonduktor oksida yang sangat baik yang memiliki sifat listrik, mekanik dan optik yang sangat baik, mirip dengan  $TiO_2$ . Selain itu,  $ZnO$  tidak hanya memiliki sifat antifouling dan antibakteri, tetapi juga memiliki aktivitas fotokatalitik yang baik, transparansi yang baik, potensi redoks tinggi, tidak beracun serta fitur ramah lingkungan. Biaya produksi  $ZnO$  juga lebih rendah hingga 75% dibandingkan dengan nanopartikel  $TiO_2$  dan  $Al_2O_3$  (Bachvarova-Nedelcheva et al., 2020; Ong et al., 2018; Qi et al., 2017).

**Tabel 1.** Sifat-sifat dari material ZnO (Ningsih & Khair, 2015)

<b>Karakteristik</b>	<b>Nilai</b>
Berat molekul	81,4 g/mol
Berat jenis	5,6 g/mL
Indeks bias	2,0041
Titik didih	2.360 °C
Titik leleh	1.975 °C
Warna	Putih

### 2.3 Dopan Cobalt

Di antara logam transisi, kobalt adalah bahan yang menjanjikan untuk doping ZnO karena jari-jari ioniknya yang serupa, keadaan elektronik yang melimpah, dan keadaan divalen. Selain itu, sampel ZnO yang didoping kobalt menunjukkan perilaku optik dan magnetik yang luar biasa bahkan untuk konsentrasi kecil substitusi kobalt dalam struktur ZnO (<2.0 pada.%) (Kaphle et al., 2019). Kobalt (Co) memiliki transmitansi optik yang besar dan radius ionik yang serupa dengan ZnO ( $\text{Co}^{2+} \sim 0,08 \text{ nm}$ ,  $\text{Zn}^{2+} \sim 0,074 \text{ nm}$ ) (Bairy et al., 2019). ZnO yang didoping Co dapat meningkatkan stabilitas termal dan kelarutan yang besar hingga 30% dalam ZnO. Kelarutan yang besar ini bergantung pada perbedaan kecil antara jari-jari ionik kobalt  $\text{Co}^{2+}$  divalen spin tinggi dan seng divalen  $\text{Zn}^{2+}$  dalam koordinat tetrahedral. (Azab et al., 2018). Film tipis dan struktur nano ZnO yang didoping kobalt dapat dilakukan dengan beberapa metode deposisi termasuk sputtering, sol-gel, spin coating, solvothermal, semprotan ultrasonik, dan metode deposisi laser berdenyut (Kaphle et al., 2019).

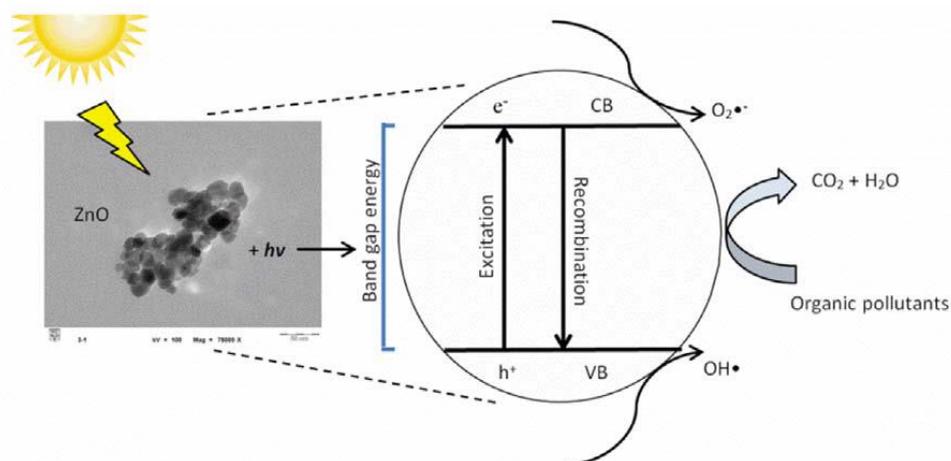
Ion cobalt (II) ( $\text{Co}^{2+}$ ) dapat digunakan sebagai dopan terhadap ZnO, karena cobalt adalah suatu dopan yang paling efektif dan memiliki pengaruh yang sangat kecil terhadap struktur kisi ZnO (Ningsih et al., 2020). Doping ZnO dengan Cobalt ( $\text{Co}^{2+}$ ) juga telah mendapat perhatian yang banyak dikarenakan atom-atom dari logam tersebut bisa meningkatkan proses degradasi dan reduksi fotokatalitik. Penambahan ion cobalt ( $\text{Co}^{2+}$ ) pada lapisan tipis ZnO bisa menurunkan *band gap* atau energi celah pita, sehingga mampu bekerja di cahaya tampak sampai dengan panjang gelombang 550nm, sehingga energi yang digunakan menjadi lebih efisien (Reddy B et al., 2013). Hal ini terjadi karena ion cobalt bisa berperan sebagai penyerap untuk mengumpulkan fotoelektron yang ZnO hasilkan dari pita konduksinya (Kumar et al., 2015).

#### **2.4 Fotokatalisis**

Metoda AOPs (*Advanced Oxidation Processes*) merupakan metoda yang menggunakan katalis untuk menghasilkan radikal hidroksil yang memiliki efektivitas tinggi dalam proses oksidasi senyawa organik. Mekanisme AOP dapat diklasifikasikan sebagai fotokatalisis homogen atau heterogen. Fotokatalisis homogen menggunakan reagen Fenton, yang merupakan campuran hidrogen peroksida dan garam  $\text{Fe}^{2+}$  untuk menghasilkan radikal hidroksil di bawah iradiasi UV pada panjang gelombang di atas 300 nm. Sebaliknya, fotokatalisis heterogen menggunakan oksida semikonduktor sebagai fotokatalis (Ong et al., 2018). Fotokatalis menghasilkan produk berupa pengolahan limbah yang tidak berbahaya bagi lingkungan yakni  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Sumber cahaya pada proses fotokatalis ini berupa sinar matahari dan lampu ultraviolet (UV). Katalis yang digunakan

umumnya adalah bahan semikonduktor karena mampu menyerap foton (Linsebigler et al., 1995).

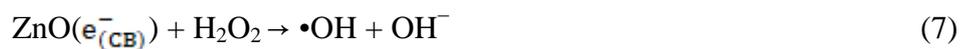
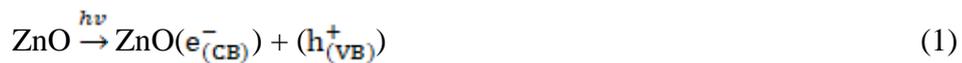
Fotokatalis secara umum didefinisikan sebagai proses transformasi kimia dengan adanya katalis dan bantuan cahaya. Fotokatalis dalam reaksinya melibatkan pasangan elektron-hole ( $e^-$  dan  $h^+$ ). Fotokatalis memanfaatkan cahaya untuk mengaktifkan katalis yang kemudian bereaksi dengan senyawa kimia yang berada di dekat ataupun di permukaan katalis. Material fotokatalis dapat dimanfaatkan dalam penjernihan air dari pencemaran polutan organik dan juga polutan anorganik menjadi senyawa-senyawa yang tidak berbahaya (Sutanto & Wibowo, 2015). Fotokatalis mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dan dalam prosesnya akan menghasilkan hidroksil yang radikal akan bereaksi redoks dengan senyawa organik (polutan), sehingga air akan kembali jernih karena terpisahkan dari limbah cair (Suchaya et al., 2016).



**Gambar 3.** Degradasi polutan organik oleh ZnO dengan adanya cahaya matahari (Ong et al., 2018)

Gambar 3 mengilustrasikan reaksi redoks yang terjadi selama fotokatalisis. Ketika ZnO diinduksi oleh cahaya matahari dengan energi fotonik ( $h\nu$ ) sama atau lebih besar dari energi eksitasi ( $E_g$ ),  $e^-$  dari pita valensi terisi (VB) dipromosikan menjadi pita konduksi kosong (CB). Proses yang diinduksi foto ini menghasilkan

pasangan lubang elektron ( $e^- / h^+$ ) seperti yang ditunjukkan dalam (Persamaan (1)). Pasangan lubang elektron dapat bermigrasi ke permukaan ZnO dan terlibat dalam reaksi redoks seperti yang ditunjukkan pada (Persamaan (2) - (4)), dimana  $H^+$  bereaksi dengan air dan ion hidroksida menghasilkan radikal hidroksil sedangkan  $e^-$  bereaksi dengan oksigen untuk menghasilkan anion radikal superoksida kemudian hidrogen peroksida (Persamaan (5)). Hidrogen peroksida kemudian akan bereaksi dengan radikal superoksida membentuk radikal hidroksil (Persamaan (7) - (9)). Kemudian, radikal hidroksil yang dihasilkan, yang merupakan oksidator kuat, akan menyerang polutan yang teradsorpsi pada permukaan ZnO untuk menghasilkan senyawa antara dengan cepat. Bahan antara pada akhirnya akan diubah menjadi senyawa hijau seperti  $CO_2$ ,  $H_2O$  dan asam mineral seperti yang ditunjukkan pada (Persamaan (11)). Mekanisme fotodegradasi senyawa organik dengan adanya radiasi matahari melalui reaksi redoks dapat diringkas sebagai berikut (Ong et al., 2018).





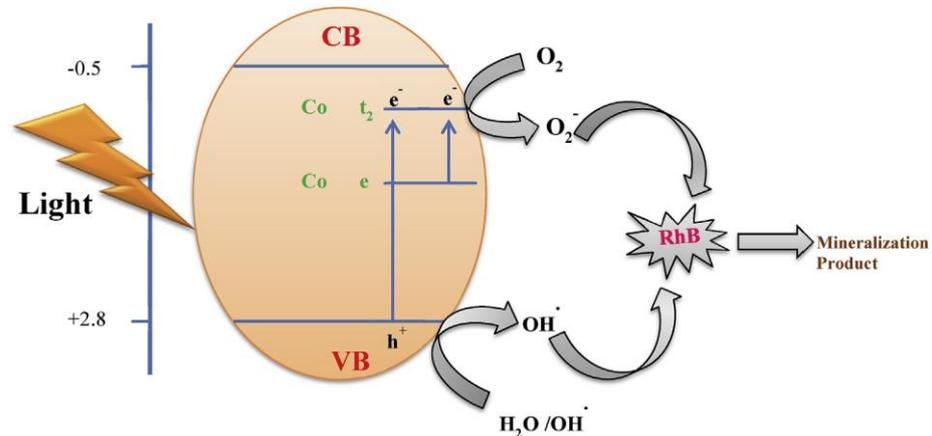
#### 2.4.1 Fotokatalis ZnO/Co

ZnO murni memiliki keterbatasan pada ukuran partikelnya yang relatif besar menjadikan nilai celah pitaanya besar, sehingga dengan nilai celah pita besar yang kurang sesuai jika diaplikasikan pada cahaya tampak (Ningsih et al., 2020). Maka dari itu perlu dilakukan modifikasi terhadap ZnO untuk mengoptimalkannya dengan cara melakukan pendopingan (Ciciliati et al., 2015).

Ion cobalt (II) ( $\text{Co}^{2+}$ ) dapat digunakan sebagai dopan terhadap ZnO, karena cobalt adalah suatu dopan yang paling efektif dan memiliki pengaruh yang sangat kecil terhadap struktur kisi ZnO (Ningsih et al., 2020). Doping ZnO dengan Cobalt ( $\text{Co}^{2+}$ ) juga telah mendapat perhatian yang banyak dikarenakan atom-atom dari logam tersebut bisa meningkatkan proses degradasi dan reduksi fotokatalitik. Penambahan ion cobalt ( $\text{Co}^{2+}$ ) pada lapisan tipis ZnO bisa menurunkan *band gap* atau energi celah pita, sehingga mampu bekerja di cahaya tampak sampai dengan panjang gelombang 550nm, sehingga energi yang digunakan menjadi lebih efisien (Reddy B et al., 2013). Hal ini terjadi karena ion cobalt bisa berperan sebagai penyerap untuk mengumpulkan fotoelektron yang ZnO hasilkan dari pita konduksinya (Kumar et al., 2015).

Fotokatalis ZnO yang didoping menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang lebih tinggi daripada ZnO yang tidak terurai. Hal ini mungkin disebabkan oleh kinerja penyerapan yang lebih baik dalam kisaran cahaya

tampak dan kandungan oksigen yang kosong atau cacat yang lebih besar yang dihasilkan oleh doping  $\text{Co}^{2+}$ . Jadi hal ini menunjukkan bahwa doping  $\text{Co}^{2+}$  dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik ZnO (Cao et al., 2010). Nanopartikel ZnO doping  $\text{Co}^{2+}$  dapat disintesis dengan metode sol-gel (Ningsih et al., 2020).



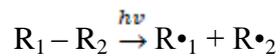
**Gambar 4.** Diagram skematis untuk mekanisme fotokatalitik sampel ZnO yang didoping (Poornaprakash et al., 2019)

Aktivitas fotokatalitik yang bertambah dicapai dalam nanoroda Co-doped melalui degradasi polutan pewarna organik RhB dalam waktu singkat, menunjukkan potensi sampel dalam remediasi air limbah (Poornaprakash et al., 2019).

## 2.5 Fotolisis

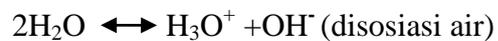
Fotolisis merupakan suatu proses degradasi zat yang dibantu oleh adanya cahaya dan katalis material atau proses pemutusan ikatan dari suatu senyawa organik dengan bantuan energi foton sinar ultraviolet yang sesuai. Ketika material fotolisis disinari cahaya, bahan tersebut menyerap energi foton dan menyebabkan berbagai reaksi kimia. Penyerapan sinar matahari (UV) oleh partikel fotokatalis akan membentuk 2 pasang elektron dan hole (Bhernama et al., 2015). Reaksi

fotolisis langsung (*direct photolysis*) yang terlibat dituliskan sebagai berikut (Bismo, 2006):



Reaksi-reaksi fotolisis umumnya produk yang dihasilkan adalah berupa ion atau radikal yang lebih jauh dapat digunakan untuk reaksi-reaksi degradasi polutan dalam media yang dimaksudkan, yakni fasa gas atau fasa cair.

Berikut adalah reaksi dari fotolisis (Joseph et al., 2014):



Pada peristiwa fotolisis ini, jika penyerapan energi foton oleh molekul atau spesies (radikal) digunakan untuk mendegradasi atau memisahkan molekul ini, kemudian energi foton yang diserap harus lebih besar dari energi ikatan yang akan diputuskan. Hal ini berarti panjang gelombang energi foton yang paling sesuai untuk reaksi fotolisis, adalah saat cahaya digunakan sebagai sinar UV (antara 10-380 nm) (Bismo, 2006).

## 2.6 Sonolisis

Sonolisis merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mendegradasi zat warna organik dalam media air dengan menggunakan getaran ultrasonik (Safni et al., 2007). Metode sonolisis menggunakan iradiasi ultrasonik yang beroperasi pada frekuensi 20-500 kHz (Destailats et al., 2001). Getaran dari ultrasonik dengan frekwensi yang tinggi pada larutan berperan untuk membentuk gelembung kavitasi yang memberikan pengaruh dalam pembentuk spesies-spesies pengoksidasi, seperti  $H\cdot$ ,  $\cdot OH$  dan  $HO_2\cdot$ . Pada saat gelembung mengempis,

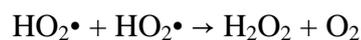
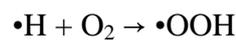
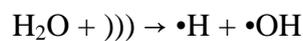
proses yang terjadi bersifat adiabatik. Pada bagian dalam rongganya akan terjadi kenaikan suhu menjadi beberapa derajat sehingga dapat memecah molekul udara dan membentuk radikal OH dan H yang dapat merusak senyawa organik dalam larutan (Safni et al., 2008). Rusaknya senyawa organik tersebut akan menghasilkan senyawa-senyawa organik intermediet dan jika sonolisis terus berlangsung maka pada akhirnya akan terjadi mineralisasi menjadi CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, HNO<sub>3</sub> dan sebagainya (Safni et al., 2007).

Efek kavitasi terjadi karena energi yang diberikan adalah energi mekanik yang tidak diserap oleh molekul. Proses kavitasi diawali dari pembentukan, pertumbuhan hingga mengembang serta mengempisnya gelembung dalam larutan. Dalam kondisi tertentu tekanan dan suhu di permukaan menjadi sangat tinggi sehingga dapat memecah molekul air menjadi radikal ( $\bullet$ H) dan radikal ( $\bullet$ OH).

Kavitasi ultrasonik terdiri dari tiga tahap utama yaitu terbentuknya gelembung (nukleasi), pertumbuhan gelembung kemudian *implosive collapse* atau pecahnya gelembung. Tahap pertama dari proses kavitasi ultrasonik ini yaitu nukleasi yaitu tahapan dimana inti kavitasi dihasilkan dari partikel gelembung mikro yang terperangkap di dalam celah-celah mikro dari partikel yang tersuspensi di dalam air. Tahap selanjutnya atau kedua yaitu gelembung-gelembung mikro tumbuh membesar disebabkan oleh adanya intensitas dari tingginya gelombang ultrasonik. Karena menggunakan ultrasonik pada intensitas yang tinggi, gelembung-gelembung mikro dengan cepat akan tumbuh. Sedangkan dengan intensitas rendah, kecepatan pertumbuhan gelembung menjadi lebih lambat. Hal ini dikarenakan gelembung akan melewati beberapa siklus akustik terlebih dahulu sebelum akhirnya membesar.

Tahap terakhir dari kavitasasi atau yang disebut dengan *catastrophic collapse* terjadi bila intensitas gelombang ultrasonic melebihi ambang batas dari kavitasasi ultrasonic (20kHz untuk cairan). Di tahap ini gelembung-gelembung mikro akan tumbuh terus hingga mencapai saat dimana gelembung ini tidak dapat lagi mengabsorb energi yang dihasilkan oleh gelombang suara secara efisien dan pada akhirnya pecah (Mahvi, 2009).

Pada oksidasi molekul oleh radikal hidroksil degradasi oleh sonolisis dihasilkan selama proses sonikasi, menurut persamaan:



)) menunjukkan sonikasi

Molekul zat terlarut yang berdifusi kedalam gelembung mikro mampu untuk mendegradasi senyawa berbahaya karena sifatnya sangat reaktif. Radikal OH adalah radikal bebas utama yang berperan dalam reaksi degradasi, namun radikal OH yang dihasilkan tersebut juga bisa bergabung satu sama lainnya membentuk  $\text{H}_2\text{O}_2$  di dalam air. Senyawa  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang terbentuk ini akan mengurangi efisiensi sonolisis. Guna meningkatkan efisiensi degradasi sonolisis perlu ditambahkan katalis yang dapat meningkatkan produksi  $\cdot\text{OH}$  sehingga dapat mempercepat pendegradasian senyawa organik (Joseph et al., 2014).

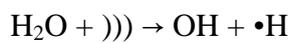
## 2.7 Fotosonolisis

*Photosonolysis* (atau *sonophotolysis*) adalah reaksi yang disebabkan oleh penggunaan gabungan dari sinar ultraviolet Iradiasi-tion (UV) dan *ultrasonication* (AS) dengan atau tanpa kehadiran katalis. Dibandingkan dengan fotolisis dan

sonolisis, *photosonolysis* adalah teknologi pengolahan air yang lebih baru dan telah dipelajari, terutama dalam penghapusan senyawa organik.

Metode fotosonolisis ini mengkombinasikan fotolisis dengan sonolisis. Fotolisis terjadi interaksi antara molekul air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) atau ion hidroksida  $\text{OH}^-$  dan radiasi sinar matahari (UV) sedangkan pada sonolisis gelombang mekanik dihasilkan dengan mempengaruhi efek kavitasi (Safni et al., 2007).

Persamaan reaksi dari proses fotosonolisis (Joseph et al., 2014):



dimana, UV menunjukkan proses sonikasi.

## 2.8 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri serapan Ultraviolet dan Visible adalah teknik yang didasarkan pada interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan zat atau molekul yang dianalisis dengan instrumen spektrofotometer UV-Vis. Radiasi ini, memiliki rentang spektral sekitar 190-800 nm, yang juga berbeda dalam hal rentang energi, dan jenis eksitasi dari daerah terkait lainnya. Hasil interaksi ini dari refleksi, hamburan, absorpsi atau gangguan. Namun, pengukuran interaksi yang akurat dapat dilakukan hanya dengan mencatat absorbansi. Dalam beberapa batasan, absorbansi sebanding dengan konsentrasi analit untuk menentukan dan dengan jarak cahaya saat melewati sampel selama penyinaran. Hubungan ini disebut hukum Beer dan umumnya ditulis sebagai,

$$A = \epsilon \times b \times c$$

di mana

A = absorbansi

$\epsilon$  = koefisien absorbansi molar ( $\text{mol}^{-1} \text{L cm}^{-1}$ )

b = panjang lintasan (cm)

c = konsentrasi absorber ( $\text{mol L}^{-1}$ )

Hubungan linier ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti karakteristik spektrofotometer, fotodegradasi molekul, adanya gangguan hamburan atau penyerapan dalam sampel, senyawa fluoresen dalam sampel, interaksi antara analit dan pelarut, dan pH (Passos & Saraiva, 2018).

Spektrofotometer UV-Vis merupakan alat yang digunakan untuk mengukur transmitansi dan absorbansi suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrofotometer terdiri dari spektrometer dan fotometer. Spektrometer menghasilkan sinar dari spektrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer sebagai alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau diabsorpsi. Spektrofotometer berfungsi untuk menghasilkan sinar dengan panjang gelombang tertentu. Absorbansi dalam spektrofotometer UV-Vis dapat digunakan untuk analisis kuantitatif dan kualitatif suatu zat kimia. (Surono & Sutanto, 2014).

## **2.9 X-Ray Diffraction (XRD)**

X-ray diffraction (XRD) merupakan teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mengetahui ukuran partikel. Prinsip difraksi sinar-X yaitu ketika sinar-X mengenai atom benda padat, sinar-X dihamburkan oleh elektron-elektron di dalam atom. Interferensi gelombang konstruktif atau destruktif terjadi di sepanjang arah yang berbeda karena gelombang yang tersebar (pola difraksi) dipancarkan oleh atom pada posisi yang berbeda. Namun, interferensi konstruktif

terjadi jika padatan memiliki susunan struktur atom yang teratur. Ada hubungan yang kuat antara pola difraksi dan struktur atom periodik kristal dalam material. Susunan atom (periodisitas) dengan jarak berulang yang jauh menyebabkan difraksi pada sudut kecil sedangkan jarak berulang pendek menyebabkan difraksi pada sudut tinggi. Posisi puncak difraksi digunakan untuk menentukan bentuk dan ukuran sel satuan sedangkan intensitas puncak difraksi menentukan posisi atom di dalam sel dan nomor atom (Ameh, 2019).

Dengan teknik khusus, difraksi sinar-X (XRD) dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal, mengkarakterisasi sampel lapisan tipis, dan membuat pengukuran tekstur, seperti orientasi butiran, dalam sampel polikristalin (Bunaciu et al., 2015). Persamaan Bragg menjadi dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal, dengan persamaan sebagai berikut (Ameh, 2019):

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

dimana :

$\lambda$  = panjang gelombang sinar-X

n = orde refleksi

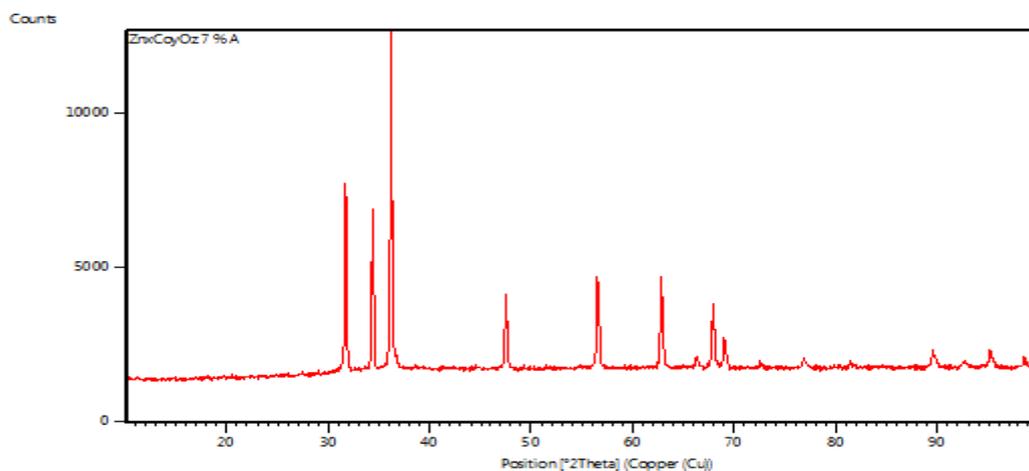
d = jarak antara dua bidang kisi

$\theta$  = sudut balok difraksi

Berdasarkan persamaan tersebut, bila seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dihasilkan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Dalam sampel, makin banyak bidang kristal yang yang diperoleh, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Masing-masing

puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu 3 dimensi. Kemudian puncak-puncak yang diperoleh dari data pengukuran ini dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material (Hastuti, 2011).

Difraksi sinar-X adalah teknik berteknologi tinggi dan tidak merusak untuk menganalisis berbagai macam bahan termasuk cairan, logam, mineral, polimer, katalis, plastik, obat-obatan, pelapis film tipis, keramik, sel surya, dan semikonduktor. Teknik ini menemukan aplikasi praktis yang tak terhitung banyaknya di berbagai industri, termasuk mikroelektronika, pembangkit listrik, dirgantara, dan banyak lagi. Analisis XRD dapat dengan mudah mendeteksi keberadaan cacat pada kristal tertentu, tingkat ketahanannya terhadap tegangan, teksturnya, ukuran dan derajat kristalinitasnya, dan hampir semua variabel lain yang berkaitan dengan struktur dasar sampel (Bunaciu et al., 2015).



**Gambar 5.** Pola difraksi sinar-X dari nanopartikel ZnO doping 7%  $\text{Co}^{2+}$  pada suhu  $400^\circ\text{C}$  (Ningsih et al., 2020)

Ada beberapa keunggulan dari difraksi sinar-X (Bunaciu et al., 2015):

1. Bertenaga dan cepat (<20 menit) untuk identifikasi mineral yang tidak diketahui

2. Memberikan penentuan mineral yang tidak ambigu dalam banyak kasus
3. Membutuhkan persiapan sampel yang minimal
4. Ketersediaan unit XRD yang luas
5. Interpretasi data yang relatif mudah

### **2.10 UV-Vis *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS)**

UV-Vis DRS adalah alat yang sangat baik dalam menganalisis sampel bubuk atau kristal dan juga dapat digunakan dalam analisis sampel padat. UV-DRS prinsipnya didasarkan pada transisi elektron yang terjadi dalam orbital molekul, atom atau ionik dalam bentuk padat.

*Band gap energy* (energi celah pita) dalam suatu senyawa dapat ditentukan dengan menggunakan spektrofotometri reflektansi difus UV-Vis yang didasarkan pada pengukuran intensitas UV-Vis yang dipantulkan oleh sampel. Karakterisasi UV-DRS digunakan untuk menentukan nilai energy gap (*band gap*). Prinsip spektrofotometer UV-DRS didasarkan pada teori Kubelka-Munk. Berdasarkan teori Kubelka-Munk, bila suatu lapisan material yang memiliki ketebalan  $x$ , diradiasikan dengan sejumlah energi foton, foton akan dihamburkan atau diserap oleh material tersebut (Wiley,1998).

Persamaan reflektansi yang telah terukur ditunjukkan sebagai berikut:

$$R'_{\infty} = \frac{R'_{\infty}(\text{sampel})}{R'_{\infty}(\text{standar})}$$

Nilai ini bisa digunakan untuk mengetahui persamaan Kubelka-Munk:

$$FR'_{\infty} = \frac{(1 - R'_{\infty})^2}{2 R'_{\infty}}$$

Hubungan reflektansi dengan absorbansi ( $A$ ) dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\text{Log} \frac{1}{R'_{\infty}} = A$$

Metode Kubelka-Munk bisa digunakan dalam mencari nilai *band gap energy* ( $E_g$ ) dengan persamaan berikut:

$$E_g = hv = \frac{hc}{\lambda}$$

Energi celah pita (*band gap*) diperoleh dari grafik hubungan antara  $hv$  (eV) vs  $(F(R'_{\infty})hv)^{1/2}$ . Misalnya energi celah pita (eV),  $h$  adalah konstanta planck ( $6,626 \times 10^{-34}$  Js),  $c$  adalah kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s) dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang (nm). Energi celah pita semikonduktor adalah besarnya  $hv$  bila  $(F(R'_{\infty})hv)^{1/2} = 0$ , yang diperoleh dari persamaan regresi linier kurva (Iskandar et al., 2014).

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Waktu maksimum untuk degradasi *methyl orange* dengan katalis ZnO secara fotosonolisis adalah pada waktu 210 menit.
2. Konsentrasi maksimum katalis untuk degradasi *methyl orange* adalah pada ZnO/Co 5%.
3. Karakterisasi katalis ZnO/Co 5% dengan XRD diperoleh ukuran kristal berkisar 14,0436-38,0873 nm dan dengan *UV-vis diffuse reflectance spectroscopy* diperoleh *band gap* 3,15 eV.

#### **5.2 Saran**

1. Mempelajari aplikasi dari degradasi zat warna secara fotosonolisis dengan menggunakan doping katalis yang berbeda.
2. Mempelajari lebih studi literatur lanjut terkait doping yang cocok agar dapat mendegradasi zat warna dengan waktu yang lebih efektif lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ameh, E. S. (2019). A review of basic crystallography and x-ray diffraction applications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04508-1>
- Andari, N. D., & Wardhani, S. (2014). Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit untuk degradasi metilen biru. *Chemistry Progress*, 7(1), 9–14. <https://doi.org/10.35799/cp.7.1.2014.4848>
- Awual, M. R., Hasan, M. M., Islam, A., Asiri, A. M., & Rahman, M. M. (2020). Optimization of an innovative composited material for effective monitoring and removal of cobalt(II) from wastewater. *Journal of Molecular Liquids*, 298(I), 112035. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112035>
- Azab, A. A., Esmail, S. A., & Abdelamksoud, M. K. (2018). Studying the Effect of Cobalt Doping on Optical and Magnetic Properties of Zinc Oxide Nanoparticles. *Silicon*. <https://doi.org/10.1007/s12633-018-9902-4>
- Bachvarova-Nedelcheva, A., Iordanova, R., Kostov, K. L., & Gegova, R. (2020). Sol-gel powder synthesis in the TiO<sub>2</sub>-TeO<sub>2</sub>-ZnO system: Structural characterization and properties. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(9), 7132–7146. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.07.018>
- Bairy, R., Patil, P. S., Maidur, S. R. M., H, V., Murari, & Bhat, U. K. (2019). The role of cobalt doping in tuning the band gap, surface morphology and third-order optical nonlinearities of ZnO nanostructures for NLO device applications. *RCS Advances*, 22302–22312. <https://doi.org/10.1039/c9ra03006a>
- Behera, J. K. (2016). Synthesis And Characterization Of ZnO Nano-Particles. *National Institute of Technology, Rourkela*, 1–36.
- Bhatti, M. A., Shah, A. A., Almani, K. F., Tahira, A., Chalanger, S. E., Chandio, A. dad, Nur, O., Willander, M., & Ibupoto, Z. H. (2019). Efficient photo catalysts based on silver doped ZnO nanorods for the photo degradation of methyl orange. *Ceramics International*, 45(17), 23289–23297. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.08.027>
- Bhernama, B. G., Syafni, & Syukri. (2015). Degradasi Zat Warna Metanil Yellow Secara Fotolisis Dan Penyinaran Matahari Dengan Penambahan Katalis TiO<sub>2</sub>-anatase dan SnO<sub>2</sub>. *Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology*, 1(1), 49–62.
- Bismo, S. (2006). *Teknologi Radiasi Sinar Ultra-Ungu (UV) dalam Rancang*