

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Terdahulu

Penyusunan tugas akhir dengan judul “Sintesis Seng Oksida – Silika Abu Tongkol Jagung ( $ZnO - SiO_2$ ) sebagai Material Fotokatalis untuk Mendegradasi Limbah Cair Batik” didasari dari beberapa penelitian terdahulu. Berikut adalah perbandingan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang yang dapat dilihat pada **Tabel 2.1.**

**Tabel 2. 1** Ringkasan Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
1	Nainggolan <i>et al.</i> , (2023)	Mengetahui karakteristik sintesis material $ZnO - SiO_2$ dengan metode sol – gel untuk mendegradasi zat warna Rhodamin B 100 ppm dengan variasi waktu kontak (1,2,3,4,5) jam dan variasi pH(3, 4, 6, 7, 8, 10) dengan	Sintesis $ZnO-SiO_2$ dengan prekursor $Zn(CH_3COO)_2$ 33 gram dan TEOS 54 ml sebagai sumber silika dan dilakukan analisis XRD, SEM dan FTIR. Hasil XRD menunjukkan puncak khas $ZnO-SiO_2$ pada daerah $2\theta = 10^\circ-30^\circ$ . Hasil SEM menunjukkan morfologi permukaan berbentuk granula. Waktu penyinaran optimum yaitu 3 jam	Variasi jenis prekursor $ZnO$ yaitu $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ , variasi sumber $SiO_2$ yaitu Abu Tongkol Jagung, langkah-langkah preparasi sampel, jumlah sampel dalam satu kali proses, variasi massa $SiO_2$ Abu Tongkol jagung yang ditambahkan, adanya proses aplikasi produk

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		penambahan HCl dan NH <sub>3</sub> sebagai pengatur pH larutan.	dengan persentase degradasi (%D) yaitu 98,96 ± 0,54 %. pH optimum proses degradasi terjadi pada pH asam yaitu pH 6 sebesar 99,10 ± 0,42%.	pada limbah cair batik.
2.	Amelia <i>et al.</i> , (2023)	Memanfaatkan SiO <sub>2</sub> dari pasir Pantai Karangwuni Kulon Progo Provinsi Yogyakarta sebagai material pendukung fotokatalis semikonduktor TiO <sub>2</sub> untuk mendegradasi zat warna sintetik <i>Naphthol Jeans</i> dengan variasi waktu kontak (24,48,72,96,1	Proses sintesis dilakukan dengan mencampurkan TiO <sub>2</sub> dengan larutan isopropanol dan air (10:10) v/v dalam 20 ml larutan, kemudian diteteskan pada larutan silika (10 gr dalam 50 ml <i>aquadest</i> ) dan dilakukan pengadukan 4 jam. Persentase rata – rata degradasi warna <i>Naphthol Jeans</i> dengan TiO <sub>2</sub> -SiO <sub>2</sub> yaitu 44,4687% dengan konsentrasi awal 100 ppm dan waktu penyinaran 120 menit.	Variasi jenis fotokatalis semikonduktor yaitu ZnO, sumber silika sebagai material pendukung yaitu abu tongkol jagung, metode sintesis, variasi waktu kontak, adanya aplikasi material fotokatalis pada limbah cair batik.

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		20) jam dan variasi konsentrasi awal <i>Naphthol Jeans</i> (100, 200, 300, 400, 500 ppm).		
3.	Sunardi & Silviana, (2022)	Pemanfaatan abu vulkanik dan limbah seng untuk membuat komposit SiO <sub>2</sub> /ZnO dengan metode sol gel, melakukan aplikasi SiO <sub>2</sub> /ZnO pada Rhodamin B dengan variasi pH (1, 2, 3, 6, 8,1 0), variasi waktu penyinaran (10, 15, 30, 45, 60, 90) menit	Komposit SiO <sub>2</sub> /ZnO degan metode sol-gel dan menghasilkan partikel berbentuk lingkaran dengan ukuran 100-200 nm. Hasil sintesis memiliki ciri khas sudut difraksi $2\theta = 30,42^\circ, 31.56^\circ,$ dan $44.40^\circ$ . Adapun persen degradasi zat warna Rhodamin B paling tinggi terjadi pada kondisi pH 3 dengan waktu pengolahan selama 60 menit diperoleh persentase degradasi sebesar 95,8690%.	Variasi sumber prekursor ZnO yaitu Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O, variasi sumber SiO <sub>2</sub> dari abu tongkol jagung sebagai material pendukung, proses sintesis, variasi lama waktu kontak, adanya aplikasi fotokatalis pada limbah cair batik.

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		dan variasi konsentrasi larutan Rhodamin B (10,15,30,45,60,90) ppm.		
4.	Rohilla <i>et al.</i> , (2021)	Menjelaskan hubungan antara struktur partikel, pH, waktu penyinaran terhadap aktivitas fotodegradasi komposit ZnO-SiO <sub>2</sub> dengan variasi penambahan material pendukung yaitu SiO <sub>2</sub> , dan diaplikasikan pada zat warna <i>Methyl Orange</i> dengan variasi suhu kalsinasi	Proses sintesis dilakukan dengan metode sol-gel menggunakan prekursor Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O sebagai sumber ZnO dan SiO <sub>2</sub> . Material fotokatalis ZnO-SiO <sub>2</sub> memiliki ukuran partikel 36,20 nm (300°C), 38,81 nm (600°C) dan 43,42(900°C) dengan persentase degradasi paling tinggi pada suhu kalsinasi 300°C yaitu 98,1% pada pH 7 selama 100 menit menggunakan lampu UV 125 <i>Watt</i> .	Variasi sumber SiO <sub>2</sub> dari Abu Tongkol Jagung, adanya aplikasi material fotokatalis pada limbah cair batik dengan perbedaan variasi waktu serta lampu UV yang digunakan sebesar 7 <i>watt</i> .

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		(300, 600, 900)°C, variasi konsentrasi ZnO/SiO <sub>2</sub> yaitu 0,1M ZnO/0,3M SiO <sub>2</sub> dan 0,05M ZnO/0,3M SiO <sub>2</sub> , perbedaan pH larutan (7, 8, 9, 10, 11, 12) dan lama waktu kontak (20, 40, 60, 80, 100) menit		
5.	Eddy <i>et al.</i> , (2020)	Mengetahui efektivitas partikel fotokatalis ZnO - SiO <sub>2</sub> dari Abu Sekam Padi terhadap degradasi kromium 1 ppm dengan	Sintesis ZnO/SiO <sub>2</sub> dilakukan dengan prekursor ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O sebagai sumber Zn dan sekam padi sebagai sumber SiO <sub>2</sub> menggunakan variasi komposit b/b yaitu 85/15, 90/10, 95/5 yang disonikasi	Variasi sumber prekursor Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O sebagai sumber ZnO, variasi sumber SiO <sub>2</sub> dari Abu Tongkol Jagung, metode sintesis yang digunakan

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		<p>variasi waktu kontak yang disintesis dengan metode sonikasi. Variasi yang digunakan untuk proses aplikasi yaitu variasi waktu pengolahan (30, 60, 90, 120) menit.</p>	<p>selama 90 menit, kemudian suspensi diteteskan pada pelat kaca (1x3cm). Aplikasi material fotokatalis dilakukan dengan menggunakan lampu UV 125 watt dengan variasi waktu pengolahan (30, 60, 90, 120) menit. Analisis karakteristik dilakukan menggunakan SEM/EDS dan PSA dengan hasil morfologi permukaan yang hampir homogen dan halus, mengandung unsur O (35,94%), Si (7,23%), S (5,52%) dan Zn (51,31%), ukuran partikel berdasarkan PSA ada pada rentang 1,104 <math>\mu\text{m}</math> (95/5), 1,154 (90/10) dan 1,075 (85/15). Material</p>	<p>menggunakan kopresipitasi dengan rasio ZnO/SiO<sub>2</sub> yang berbeda, adanya aplikasi fotokatalis pada limbah cair batik dengan lampu UV 7 watt dan perbedaan variasi waktu kontak.</p>

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
			dengan rasio 95/5 (w/w) memiliki ukuran 1,919 $\mu\text{m}$ dengan efektivitas reduksi sebesar 82,6%.	
6.	Oktavian i & Haris, (2016)	Mengetahui efektivitas material ZnO-SiO <sub>2</sub> yang berasal dari TEOS dan disintesis dengan metode sol – gel dan lapis tipis untuk mendegradasi logam berat Cd pada limbah fenol dengan variasi waktu kerja	Sintesis menggunakan prekursor Zn(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> sebagai sumber ZnO. Hasil analisis SEM diperoleh morfologi permukaan ZnO-SiO <sub>2</sub> berbentuk granula dengan ukuran butiran tidak merata. Hasil analisis EDS, diketahui komponen penyusun senyawa yaitu ZnO, Si, O dan C dan memiliki kristal dengan fasa <i>wurtzite</i> (hexagonal) dan <i>band gap</i> 2,56 eV. Waktu operasi selama 7 jam mampu menyisihkan fenol sebesar 65,73% dan mereduksi logam	Variasi sumber prekursor Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O sebagai sumber ZnO, variasi sumber SiO <sub>2</sub> dari Abu Tongkol Jagung, metode sintesis yang digunakan yaitu kopresipitasi, adanya aplikasi material fotokatalis pada limbah cair batik dengan perbedaan variasi waktu.

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
			Cd sebesar 48,84% pada daerah visibel.	
7.	(Legesse, 2021)	Sintesis SiO <sub>2</sub> dengan metode sol-gel yang bersumber dari limbah pertanian seperti tongkol jagung dan kulit jagung serta mengetahui mendegradasi zat warna <i>Methyl Orange</i> .	Sintesis diawali dengan pembersihan dan penggilingan tongkol jagung. Tongkol jagung mengalami <i>acid leaching</i> dengan HCl 2,5 N kemudian dibilas dan dikeringkan kemudian diabukan dengan <i>furnace</i> pada suhu 650°C selama 3 jam. Abu tongkol jagung diekstraksi kandungan silika dengan penambahan NaOH 2,5 M disertai pemanasan 60°C selama 90 menit kemudian ditambah HCl hingga pH 10. Hasil ekstraksi berupa gel berwarna putih dan dikeringkan dengan	Sumber silika berupa tongkol jagung, proses pengabuan menggunakan pembakaran terbuka selama 2-3 jam, abu tongkol jagung mengalami <i>acid leaching</i> kembali dengan HCl 1 M, konsentrasi NaOH yang ditambahkan untuk sintesis yaitu 4 M tanpa pemanasan, analisis karakteristik silika menggunakan SEM-EDX dan XRD, tidak dilakukan uji asorbansi tetapi digunakan sebagai



No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
			oven suhu 105°C. Hasil sintesis dilakukan analisis karakteristik dengan FTIR dan XRD serta dilakukan percobaan adsorpsi dengan larutan <i>Methyl Orange</i> (10, 20, 30, 40 dan 50) ppm.	material tambahan fotokatalis ZnO.
8.	(Renika <i>et al.</i> , 2021)	Sintesis SiO <sub>2</sub> dari abu tongkol jagung dengan metode kopresipitasi, dengan variasi konsentrasi NaOH (1M, 2M, 3M, 4M, 5M) yang dianalisis menggunakan SEM, XRD dan XRF.	Hasil sintesis SiO <sub>2</sub> Abu Tongkol Jagung menunjukkan pada silika hasil ekstraksi dengan konsentrasi 1M, 2M, 3M, 4M, 5M, memiliki kandungan silika oksida berdasarkan uji XRF secara berturut-turut 98,01%, 97,04%, 95,60%, 96,70% dan 96,66%, hasil XRD menunjukkan terbentuknya fasa kristobalit pada puncak khas 2θ yaitu	Proses pembuatan abu tongkol jagung, Konsentrasi NaOH yang digunakan yaitu 4M pada proses pelarutan SiO <sub>2</sub> pada abu tongkol jagung untuk menghasilkan Natrium Silikat (N <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> ).

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
			21,56°, 35,84° dan 56,97°. Hasil SEM menunjukkan silika memiliki ukuran partikel tidak seragam, memiliki rongga serta memiliki bentuk yang tidak beraturan.	
9.	(Fathurrahman <i>et al.</i> , 2020)	Sintesis silika dari abu tongkol jagung dengan menggunakan metode sol gel sebagai adsorben logam berat Cu dengan variasi jenis asam yang digunakan yaitu asam sulfat dan asam asetat yang dianalisis dengan instrumen	Hasil sintesis menunjukkan bahwa abu tongkol jagung memiliki kadar silika sekitar 64,12% dengan struktur amorf berdasarkan hasil uji XRD. Kadar air pada silika hasil sintesis dengan asam sulfat dan asam asetat berturut turut yaitu 13,314% dan 11,72%. Silika yang memiliki daya adsorpsi paling optimal yaitu hasil sintesis menggunakan asam sulfat dengan	Konsentrasi NaOH yang digunakan yaitu 4M, konsentrasi HCl 2M, dan tidak dilakukan pengolahan pada air limbah.

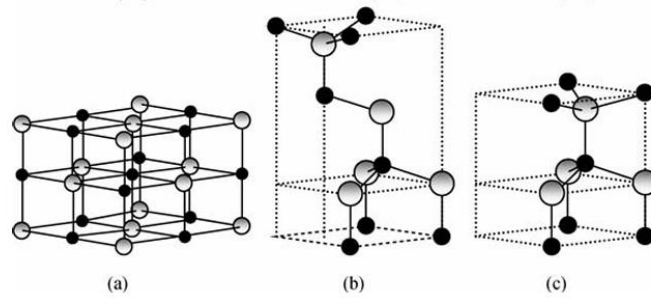
No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		FTIR, XRD dan AAS.	efisiensi adsorpsi 44,91%.	

## 2.2. Teori – Teori yang Relevan

### 2.2.1. Seng Oksida (ZnO)

Seng Oksida (ZnO) adalah material berbentuk serbuk putih yang larut terhadap larutan asam dan basa tetapi tidak larut dalam air dengan titik lebur 197°C (Doyan & Humaini, 2017). ZnO tergolong dalam semikonduktor oksida logam tipe – n dengan struktur heksagonal (Syabila & Khair, 2022) dengan celah pita 3,37 eV (Raganata *et al.*, 2020). Selain itu ZnO termasuk dalam semikonduktor fotokatalis golongan II – VI yang efektif untuk mendegradasi polutan organik terlarut dalam air limbah dengan energi ikat eksiton sebesar 60 meV (Siagian *et al.*, 2022).

Terdapat 3 struktur kristal ZnO yaitu *wurtzite*, *zinblende* dan *rocksalt*. Struktur ZnO yang paling stabil yaitu *wurtzite* pada suhu dan tekanan ruang dibanding struktur lainnya karena berbentuk heksagonal dan terdiri dari dua sub kisi yaitu  $Zn^{2+}$  dan  $O^{2-}$  yang akan bergantian membentuk bidang dasar (Faradis, 2017). Struktur *zinblende* pada ZnO akan stabil pada struktur kubik (Maula, 2015) dan hanya akan terbentuk apabila dilakukan kalsinasi pada suhu 800°C (Istiqomah, 2019). Sementara untuk ZnO dengan struktur kristal *rocksalt* hanya akan stabil pada kondisi suhu tinggi (550K) dan tekanan tinggi (5-7 GPa) agar terbentuk cubic stabil (Istiqomah, 2019). Berdasarkan uraian struktur kristal diatas, maka struktur kristal ZnO yang paling baik digunakan sebagai material fotokatalis adalah *wurtzite*.



**Gambar 2. 1** Struktur Kristal ZnO : (a) *Rocksalt*, (b) *Zincblende*, (c) *Wurtzite*  
(Sumber : Sutanto & Wibowo, 2015)

Semikonduktor ZnO yang mengalami penambahan material umumnya memiliki pergeseran fasa kristalin salah satunya yaitu pembentukan material komposit ZnO yang memiliki fasa *Willemite*. *Willemite* merupakan fasa kristal seng nesosilikat ( $Zn_2SiO_4$ ) yang ditemukan oleh mineralogi A. Lévy pada tahun 1830. Fasa kristalin *willemite* dianggap sebagai mineral metamorf atau mineral yang mengalami perubahan bentuk akibat reaksi hidrotermal pada rentang suhu  $150^\circ\text{C}$  -  $250^\circ\text{C}$  dengan kandungan oksigen tinggi dan aktivitas sulfur dalam mineral yang rendah. *Willemite* memiliki susunan kristal berbentuk prisma dalam grup ruang trigonal  $\bar{R}3$  yang tersusun atas 2 (dua) atom  $Zn^{2+}$ , 1 (satu) atom Si, dan 4 (empat) atom O memiliki 3 (tiga) sumbu dengan panjang yang sama serta membentuk sudut  $120^\circ$  (Mondillo *et al.*, 2019).

Fotokatalis semikonduktor ZnO memiliki sifat fotokatalitik, stabilitas termal dan kimia yang baik, ramah lingkungan, lebih ekonomis dan non toksik (Raganata *et al.*, 2020). Selain itu, ZnO juga memiliki rentang serapan cahaya yang lebih besar dibanding  $TiO_2$ , kemampuan adsorpsi partikel yang lebih tinggi karena memiliki luas permukaan yang lebih besar, dapat dioperasikan pada suhu tinggi dan tahan terhadap radiasi (Faradis, 2017). Sifat optik ZnO lebih efektif apabila diaplikasikan menggunakan sumber cahaya UV dengan panjang gelombang  $< 400$  nm, namun kurang efektif apabila diaplikasikan menggunakan sumber cahaya tampak karena memiliki panjang gelombang  $400 - 700$  nm (Azky, 2021).

Aktivitas fotokatalitik ZnO dipengaruhi oleh ukuran partikel ZnO, dimana semakin kecil ukuran partikel maka aktivitas fotokatalitiknya akan semakin tinggi. Karena ukuran partikel yang semakin kecil akan meningkatkan luas permukaan material sehingga kemampuan adsorpsi dari ZnO juga akan meningkat (Faradis, 2017). ZnO memiliki kemampuan rekombinasi elektron – *hole* yang sangat cepat yang menyebabkan energi foton untuk proses fotokatalisis hilang dalam bentuk panas (Mohamed & Aazam, 2012) serta kemampuan ZnO dalam mengumpulkan elektron fotodegradasi dari pita konduksi yang rendah (Syabila & Khair, 2022) sehingga memerlukan modifikasi terhadap material ZnO untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya.

### **2.2.2. Silika Abu Tongkol Jagung**

Silika merupakan material yang memiliki susunan rantai satuan  $\text{SiO}_4$  tetrahedral dengan formula umum  $\text{SiO}_2$  yang berasal dari polimerisasi asam silikat. Silika banyak dimanfaatkan sebagai media untuk menjaga kelembaban makanan, sepatu, atau produk lainnya karena bersifat higroskopis sehingga dapat menyerap molekul air yang ada di udara dan mengakibatkan udara tetap kering. Sifat inert dengan kestabilan termal dan mekanik yang baik, memiliki luas permukaan yang tinggi serta media adsorben yang baik menyebabkan silika banyak digunakan sebagai material untuk pengolahan limbah bahkan sebagai katalis dalam suatu reaksi kimia (Andika, 2016). Silika dapat diperoleh dari sumber alam seperti pasir atau kuarsa maupun dari limbah *biomassa* yang ada di lingkungan sekitar. Tongkol jagung merupakan jenis *biomassa* yang mudah ditemukan dan memiliki kandungan silika yang tinggi yaitu sebesar 67,41% setelah diabukan (Fathurrahman *et al.*, 2020).

Silika Dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) merupakan material berpori yang cocok digunakan sebagai material pendukung fotokatalis semikonduktor seperti ZnO untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi dari material fotokatalis tersebut (Mohamed & Aazam., 2012). Selain itu  $\text{SiO}_2$  juga memiliki peran untuk mengurangi rekombinasi elektron – *hole* pada proses fotodegradasi karena dapat menghimpun elektron dari pita konduksi sehingga elektron pada material fotokatalis ZnO dapat bereaksi

dengan polutan lebih optimal (Syabila & Khair., 2022) tanpa mempengaruhi rentang serapan cahaya yang dimiliki oleh ZnO karena silika memiliki sifat yang transparan (Mohamed & Aazam, 2012). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wicaksono & Anwar, (2018) disebutkan bahwa penambahan SiO<sub>2</sub> dalam proses sintesis ZnO dapat menghambat aglomerasi ZnO pada suhu yang tinggi.

### **2.2.3. Metode Sintesis**

Sintesis partikel untuk menghasilkan partikel dengan distribusi ukuran dan komposisi yang homogen sangat dipengaruhi oleh metode sintesis yang digunakan. Beberapa metode yang bisa digunakan untuk sintesis partikel, yaitu:

#### **1. Metode Solvotermal**

Metode solvotermal adalah metode sintesis hasil modifikasi metode hidrotermal yang memanfaatkan alkohol sebagai pelarut yang akan mempengaruhi pertumbuhan partikel yang disertai dengan kondisi tekanan yang tinggi. Faktor lain yang mempengaruhi ukuran partikel saat sintesis yaitu temperatur, jenis pelarut, material yang akan disintesis (Al Ghifari, 2023).

#### **2. Metode Sonikasi**

Metode sonikasi merupakan metode sintesis partikel dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi diatas 16 kHz yang dilewatkan dalam larutan prekursor. Gelombang ultrasonik tersebut akan menyebabkan tumbukan antar partikel dan memicu terjadinya pembentukan gelembung kavitasi. Gelembung tersebut berada pada permukaan partikel yang akan disintesis, dan akan pecah apabila berada pada tekanan dan suhu tinggi yang menghasilkan energi kinetik sehingga partikel yang akan disintesis pecah menjadi ukuran yang lebih kecil. Kelebihan metode sonikasi yaitu waktu sintesis yang singkat, menghasilkan kristal pada suhu rendah, serta dapat memecah partikel lebih mudah dengan ukuran partikel yang lebih seragam (Faradis, 2017).

#### **3. Metode Presipitasi**

Metode presipitasi merupakan metode sintesis yang lebih sederhana, ekonomis serta dapat menghasilkan partikel berukuran seragam. Sintesis

terjadi pada kondisi asam dan basa dengan hasil berupa padatan kristalin berupa garam dan air. Proses pengendapan terjadi pada saat pencampuran dua larutan sehingga diperoleh padatan yang tidak bisa larut. Aspek penting yang perlu diperhatikan dalam sintesis metode presipitasi yaitu kontrol pH larutan dengan menggunakan senyawa hidroksida (Adji *et al.*, 2023).

#### 4. Metode Hidrotermal

Metode hidrotermal merupakan metode sintesis partikel pada suhu tinggi (>150°C) dan tekanan tinggi dengan cara pemanasan reaktan dalam wadah tertutup dengan pelarut air (Elhadad, 2021). Reaksi yang terjadi pada saat sintesis menggunakan metode hidrotermal membutuhkan waktu yang singkat serta dapat mengontrol kristalinitas dan ukuran kristal, morfologi dan tingkat aglomerasi partikel, serta menghasilkan partikel dengan kemurnian yang tinggi (Sumiyati *et al.*, 2021).

#### 5. Metode Kopresipitasi

Metode sintesis secara kopresipitasi adalah metode sintesis senyawa anorganik yang memiliki prinsip pengendapan lebih dari satu substansi secara bersamaan ketika melewati titik jenuh dengan zat pengendap umum yang sering digunakan yaitu hidroksida, karbonat, sulfat dan oksalat (Rosyidah, 2016). Kopresipitasi baik diterapkan untuk sintesis material logam seperti seng (Zn), besi (Fe) dan titanium (Ti) atau digunakan untuk sintesis katalis dengan hasil yang lebih homogen (Adhim, 2018).

Kopresipitasi tergolong dalam metode sintesis *Bottom-up* dalam fasa cair secara pengendapan, yaitu proses sintesis yang dimulai dari merangkai atom – atom membentuk sebuah partikel yang diinginkan. Proses pengendapan dilakukan dengan penambahan larutan basa sehingga hasil endapan yang diperoleh memiliki homogenitas yang tinggi. Partikel yang mengendap disebut dengan koloid dan memiliki ukuran diameter pada rentang  $10^{-4} - 10^{-7}$  cm. Koloid yang saling bergabung akan mengendap dan menghasilkan endapan yang disebut gel atau *hydrogel* (Daratika, 2016).

Mekanisme sintesis dengan metode kopresipitasi menurut Adhim (2018) terdiri dari 3 (tiga) tahapan, yaitu:

a. Inklusi

Inklusi merupakan tahap menyusupnya impuritas ke dalam kisi kristal tanpa mengubah struktur asli dari kristal tersebut.

b. Oklusi

Oklusi merupakan tahap yang mengakibatkan bentuk kristal tidak sempurna akibat dari menyerapnya impuritas ke dalam kristal pada saat proses pertumbuhan kristal.

c. Absorpsi

Proses absorpsi terjadi pada permukaan presipitat (endapan) yang terbentuk. Tahap ini dipengaruhi oleh luas permukaan presipitat, apabila luas permukaannya besar maka impuritas yang teradsorpsi ke dalam kristal juga akan semakin banyak.

Kelebihan dari metode ini yaitu menggunakan suhu rendah sehingga ukuran kristal dapat dikontrol dan membutuhkan waktu yang singkat (Rosyidah, 2016). Kelebihan lain dari metode ini yaitu menghasilkan partikel dengan tingkat kemurnian yang tinggi, mudah dipisahkan karena proses pengendapan yang sederhana, biaya yang relatif murah serta berpotensi menghasilkan partikel berupa serbuk dengan ukuran kristal yang kecil (Daratika, 2016).

6. Metode Sol – Gel

Metode sintesis partikel secara sol – gel yaitu metode sintesis yang melewati 2 (dua) tahapan fasa yaitu sol dan gel yang memiliki potensi menghasilkan partikel berukuran kecil (umumnya nano) dengan morfologi yang seragam dan kemurnian yang tinggi. Sol adalah suspensi koloid dengan fasa terdispersi berupa zat padat yang masih mengalami difusi *Brownian* atau gerak *Brownian* dengan media pendispersi memiliki fasa cair. Gel adalah zat yang terbentuk dari rantai polimer dengan pori semirigit dari jaringan kontinu berbentuk tiga dimensi (Zainul, 2018). Tahapan proses sol – gel, yaitu:



a. Hidrolisis

Tahap hidrolisis terjadi pada kondisi asam dan basa dimana terjadi gugus karboksil -OH menggantikan gugus alkoksida -OR.

b. Kondensasi

Tahap kondensasi terjadi pada suasana asam dan suasana basa sebelum reaksi hidrolisis selesai.

c. *Aging* (Pematangan)

Tahap *aging* terjadi pembentukan gel dengan karakteristik lebih kuat, kaku dan menyusut di dalam larutan. Partikel padat yang ada pada fase cair menggumpal dan bereaksi yang menghasilkan embun saat gel mengering. Penyusutan gel terjadi karena cairan yang ada di dalam gel diserap oleh kelompok cabang akibat terjadi pengembunan. Kondisi tersebut akan terus terjadi selama gel masih berada dalam kondisi fleksibel sehingga menghasilkan gel yang kental dan padat.

d. *Drying* (Pengeringan)

Tahap *drying* bertujuan untuk menghilangkan pelarut dalam gel. Hilangnya fasa cair dari gel akan mempengaruhi struktur akhir dari material. Apabila fasa cair digantikan oleh udara maka struktur jaringan akan mengalami perubahan yang sangat drastis, apabila dilakukan penguapan maka menghasilkan *xerogel* karena jaringan gel hancur, apabila pada kondisi super kritis maka menghasilkan *aerogel* dimana struktur jaringan dapat dipertahankan dan membentuk gel dengan pori – pori yang besar (Zainul, 2018).

Metode sol gel banyak digunakan untuk membuat partikel pada skala industri karena dapat menghasilkan partikel dengan kualitas tinggi dan ukuran yang hampir seragam dalam skala besar (Bokov *et al.*, 2021). Ningsih *et al.*, (2017) dalam penelitiannya menjelaskan apabila dilihat dari produk yang dihasilkan, partikel hasil sintesis dengan metode sol – gel memiliki kemurnian tinggi dan homogenitas yang baik disertai dengan proses kristalinitas material yang cepat. Penggunaan energi untuk sintesis juga tergolong rendah, karena dapat dilakukan pada suhu yang rendah dengan pembentukan fasa pemisah dan

pembentukan kristal lebih cepat sehingga waktu sintesis lebih singkat dan biaya operasional lebih ekonomis.

#### **2.2.4. Fotokatalis**

Fotokatalis adalah material yang berfungsi untuk mempercepat laju reaksi kimia akibat adanya paparan cahaya. Fotokatalisis merupakan metode pengolahan limbah cair yang baik karena efektif untuk menyisihkan seluruh jenis polutan anorganik dan organik yang ada pada limbah cair. Proses fotokatalisis memanfaatkan material katalis berbahan semikonduktor dengan penyinaran cahaya untuk melakukan degradasi polutan dalam air limbah (Nurhasanah *et al.*, 2018). Contoh material semikonduktor yang bisa digunakan sebagai material fotokatalis yaitu ZnO, TiO<sub>2</sub>, WO<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan jenis logam oksida lainnya (Raganata *et al.*, 2020).

Material semikonduktor dipilih sebagai katalis karena dapat berperan sebagai pembawa muatan ketika material fotokatalis menyerap energi cahaya yang memiliki ukuran yang sama dengan *gap energy* dari material fotokatalis tersebut. *Gap energy* merupakan kunci efektivitas dari material fotokatalis dalam mendegradasi polutan yang ada di dalam limbah cair, karena *gap energy* yang semakin kecil akan memudahkan perpindahan pasangan elektron – *hole* yang terjadi ketika material fotokatalis terkena cahaya dengan energi yang lebih kecil sehingga proses degradasi polutan organik dan zat warna oleh material fotokatalis akan meningkat (Nurhasanah *et al.*, 2018).

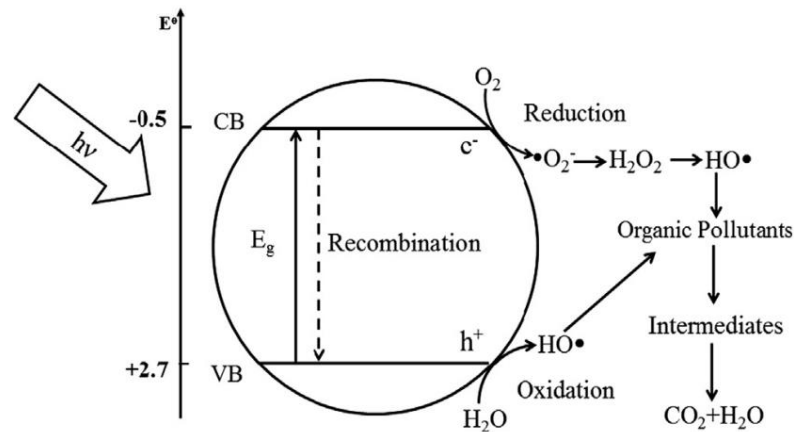
Saat ini metode fotokatalisis mulai banyak digunakan dan semakin berkembang untuk proses pengolahan air, baik untuk pengolahan limbah cair warna (Sugiyana & Harja, 2016), senyawa sisa disinfektan seperti klorin, senyawa organik yang sulit diuraikan dan sebagainya yang akan direduksi menjadi air (H<sub>2</sub>O) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang lebih ramah lingkungan (Fitriana, 2020). Beberapa variabel yang dapat berpengaruh terhadap aktivitas fotodegradasi yaitu konsentrasi limbah, pH limbah, massa fotokatalis yang digunakan, jenis material fotokatalis serta waktu kontak (Nainggolan *et al.*, 2023).

Beberapa variabel yang akan mempengaruhi efektivitas fotokatalis yaitu konsentrasi awal polutan dalam air limbah, waktu operasi, dosis katalis, jenis material fotokatalis, akseptor elektron, pH dan suhu selama proses fotokatalisis (Nainggolan *et al.*, 2023).

### 2.2.5. Mekanisme Fotodegradasi

Fotodegradasi adalah metode degradasi polutan dengan memanfaatkan energi cahaya atau foton yang terjadi pada permukaan material fotokatalis (Rosanti *et al.*, 2020). Prinsip dari fotodegradasi adalah eksitasi elektron ( $e^-$ ) dari pita valensi ke pita konduksi yang menghasilkan *hole* ( $h^+$ ) pada akibat adanya cahaya (Istiqomah, 2019).

Fotodegradasi pada material ZnO – SiO<sub>2</sub> terjadi dimana elektron ( $e^-$ ) pada pita valensi berpindah ke pita konduksi dan menghasilkan *hole* ( $h^+$ ) pada area yang ditinggalkan akibat terkena energi foton yang sama dengan atau lebih besar dari energi celah pita (*gap energy*) ZnO sehingga terbentuk pasangan  $e^-/h^+$ . Sebagian dari pasangan  $e^-/h^+$  yang terbentuk akan kembali ke posisi awal sementara pasangan  $e^-/h^+$  lainnya akan menempel pada permukaan ZnO untuk melakukan degradasi terhadap polutan yang diadsorpsi oleh SiO<sub>2</sub> dengan bantuan energi cahaya. Degradasi terjadi akibat adanya reaksi redoks, dimana hasil dari reaksi reduksi antara elektron ( $e^-$ ) dengan oksigen (O<sub>2</sub>) berupa anion radikal superoksida (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) dan hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) yang bereaksi dengan hasil reaksi oksidasi antara *hole* ( $h^+$ ) dengan H<sub>2</sub>O atau OH<sup>-</sup> yang menghasilkan radikal hidroksil (OH•). Radikal hidroksil yang dihasilkan tergolong dalam oksidator kuat dan sangat reaktif sehingga akan bereaksi terhadap polutan yang teradsorpsi pada permukaan katalis sehingga menghasilkan senyawa akhir berupa air (H<sub>2</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan asam mineral (Istiqomah, 2019). Adapun mekanisme fotodegradasi disajikan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2. 2** Skema Fotodegradasi

(Sumber : Sutanto & Wibowo, 2015)

Degradasi zat warna yang mengandung gugus azo secara fotokatalisis dapat terjadi karena gugus azo memiliki sifat yang tidak tahan terhadap reduktor. Sehingga, apabila radikal hidroksil yang dihasilkan dari reaksi oksidasi antara  $h^+$  dengan H<sub>2</sub>O dan OH<sup>-</sup> mengalami kontak dengan gugus azo, ikatan rangkap  $-N = N -$  akan terputus dan akan terurai menjadi H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> (Fitriani, 2016).

### 2.2.6. Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Fotodegradasi

Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi aktivitas fotodegradasi, yaitu:

#### 1. Luas permukaan dan ukuran material

Luas permukaan material fotokatalis dipengaruhi oleh ukuran dari partikel fotokatalis itu sendiri. Menurut Septiana (2023), semakin kecil ukuran partikel material fotokatalis maka aktivitas fotokatalitiknya akan semakin tinggi karena luas permukaan material fotokatalis dalam melakukan reaksi fotodegradasi akan semakin besar sehingga laju reaksi fotokatalitik akan semakin tinggi.

#### 2. Kristalinitas

Kristalinitas pada material fotokatalisis menjadi salah satu aspek yang perlu diperhatikan, karena kristalinitas berhubungan dengan struktur atom yang menyusun material fotokatalis tersebut. Struktur kristal yang baik dapat meningkatkan penyerapan cahaya sehingga pergerakan elektron ( $e^-$ ) dan hole ( $h^+$ ) pada fotokatalis dapat berjalan lebih baik yang berdampak pada

meningkatnya aktivitas fotokatalitik. Selain itu, struktur kristal yang baik juga menghasilkan material fotokatalis yang memiliki stabilitas termal dan kimia yang baik serta menghasilkan permukaan aktif yang lebih banyak (Rohilla *et al.*, 2021).

### 3. *Gap Energy* ( $E_g$ )

*Gap Energy* atau energi celah pita merupakan jarak yang dimiliki antara pita valensi dan pita konduksi pada material semikonduktor. Pita valensi ini berisi elektron yang dapat berpindah ke pita konduksi yang memiliki *hole* (lubang) apabila terkena cahaya. Nilai  $E_g$  akan berpengaruh pada efektivitas perpindahan pasangan elektron ( $e^-$ ) dan *hole* ( $h^+$ ) dimana nilai  $E_g$  yang semakin kecil menyebabkan perpindahan elektron semakin mudah begitu pula sebaliknya (Rosanti *et al.*, 2020). Nilai  $E_g$  juga berpengaruh terhadap jenis cahaya yang akan digunakan selama proses fotodegradasi disesuaikan dengan panjang gelombang cahaya yang dapat diserap oleh  $E_g$  material semikonduktor tersebut. Semakin besar nilai  $E_g$ , maka rentang serapan panjang gelombang cahaya akan semakin kecil dan apabila nilai  $E_g$  semakin kecil, maka rentang serapan panjang gelombang cahaya akan semakin besar (Wardhani *et al.*, 2016).

### 4. Jenis Doping

Doping adalah material tambahan yang digabungkan dengan semikonduktor untuk memperbaiki dan mengoptimalkan sifat semikonduktor sesuai dengan kebutuhan (Al Basthomi, 2016). Jenis dopan yang digunakan dapat berupa logam maupun non logam, dimana setiap jenis logam memiliki keunggulannya masing – masing.

### 5. Intensitas cahaya dan waktu kontak

Intensitas cahaya yang digunakan untuk proses fotokatalisis berperan sebagai sumber energi bagi elektron untuk menghasilkan *hole* ( $h^+$ ) (Nurhasanah *et al.*, 2018). Waktu kontak antara material fotokatalisis, limbah cair dan sumber cahaya juga berpengaruh terhadap aktivitas fotodegradasi limbah cair. Waktu penyinaran yang semakin lama akan menyebabkan energi foton semakin meningkat sehingga radikal  $OH^\bullet$  yang dihasilkan juga akan

semakin banyak yang berakibat pada laju degradasi zat warna air limbah akan semakin meningkat (Lonicha, 2021).

#### 6. Dosis katalis

Dosis katalis yang digunakan dalam proses fotokatalisis akan mempengaruhi laju degradasi dari air limbah. Jumlah katalis yang baik akan menyebabkan potensi kontak antara material fotokatalisis dengan zat pencemar pada air limbah semakin banyak sehingga proses degradasi dapat berjalan lebih cepat. Tetapi apabila dosis katalis yang digunakan terlalu banyak maka dapat menurunkan efektivitas dari material fotokatalis karena katalis akan menyebabkan limbah cair akan semakin keruh (Permata *et al.*, 2016).

#### 7. Konsentrasi awal air limbah

Konsentrasi awal air limbah yang terlalu pekat dapat menyebabkan efektivitas dari proses fotokatalisis mengalami penurunan terutama pada limbah yang memiliki warna pekat. Warna air limbah yang terlalu pekat akan menghambat penetrasi cahaya matahari atau sinar UV pada material fotokatalis yang ada pada air limbah sehingga fotokatalisis tidak dapat berjalan dengan baik. Upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan meningkatkan intensitas cahaya yang digunakan untuk proses fotokatalisis atau membagi limbah dalam beberapa tahap pengolahan.

#### 8. pH

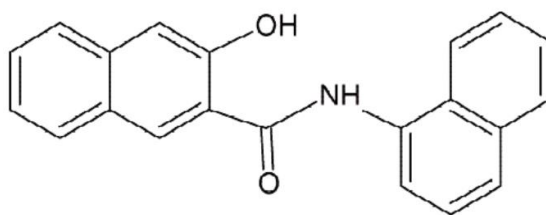
Tingkat pH air limbah yang akan diolah akan berpengaruh pada jenis muatan yang ada pada material fotokatalisis (Permata *et al.*, 2016). Limbah cair dengan kandungan warna yang pekat cenderung memiliki pH yang tinggi, dan perubahan pH akan mempengaruhi proses adsorpsi molekul zat warna pada material semikonduktor karena berpengaruh pada jumlah  $\text{OH}^\bullet$  dari reaksi antara ion  $\text{OH}^-$  yang teradsorpsi oleh permukaan material fotokatalis dengan  $\text{hole}^+$  dari radiasi sinar UV pada katalis (Sugiyana & Harja, 2016).

### **2.2.7. Limbah Cair Batik**

Limbah cair batik merupakan salah satu limbah cair yang mengandung bahan pencemar yang tergolong tinggi karena mengandung beban organik yang tinggi terutama apabila menggunakan pewarna sintesis. Berdasarkan penelitian yang

dilakukan oleh Indrayani (2019), limbah cair yang dihasilkan dari proses pembuatan batik pada tahap pewarnaan dan fiksasi mengandung pH 7,2; COD 7817,5 mg/L ; BOD 2050 mg/L ; TSS 1315 mg/L, serta TDS 483 mg/L yang merupakan hasil pengukuran sampel setiap 3 (tiga) bulan sekali. Selain itu, limbah cair batik juga memiliki warna yang pekat dengan hasil pengukuran harian sebesar 344 TCU (Akbari & Alfandiana, 2022). Penelitian lainnya juga mengungkapkan bahwa limbah cair batik memiliki karakteristik sama seperti limbah cair berwarna dari industri tekstil yang memiliki kandungan COD 2793,74 mg/L ; BOD 660,14 mg/L (Ananda *et al.*, 2020) dan pH 10,09 (Tussa'adah & Astuti, 2015).

Tingginya kandungan bahan pencemar yang ada pada limbah cair industri batik dan tekstil disebabkan karena pewarna sintesis yang digunakan dalam proses produksinya. Pewarna sintesis tersebut tergolong dalam senyawa organik *nonbiodegradable* dalam kondisi aerobik yang mengandung senyawa azo dengan gugus kromofor tetapi pada kondisi anaerobik dapat tereduksi menjadi produk antara yang bersifat lebih toksik (Riyani *et al.*, 2012). Jenis pewarna sintesis yang banyak digunakan oleh industri batik adalah *Naphthol*. Adapun struktur senyawa dari pewarna *Naphthol* disajikan dalam **Gambar 2.1**.



**Gambar 2.3** Struktur Senyawa Zat Warna *Naphthol* AS BO

(Sumber : Setianto, 2019)

Pewarna *Naphthol* adalah pewarna sintesis tidak larut dalam air serta memiliki daya serap yang rendah terhadap kain sehingga memerlukan bahan tambahan berupa garam diazo (Marintika & Melwita, 2021). *Naphthol* mengandung senyawa azo dengan gugus benzene yang memiliki sifat karsinogenik dan mutagenik apabila

terlalu lama berada di badan perairan atau badan tanah yang ada di sekitar sehingga memberikan dampak negatif bagi lingkungan bahkan makhluk hidup (Rini *et al.*, 2019).

Menyikapi kondisi diatas, maka Pemerintah Provinsi Jawa Tengah mengeluarkan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 Tentang Baku Mutu Air Limbah Lampiran I Nomor 32 yang mengatur tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil dan Batik. Adapun baku mutu air limbah industri batik berdasarkan peraturan tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

**Tabel 2. 2** Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil dan Batik

No.	Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)
1.	Temperatur	38 °C
2.	BOD <sub>5</sub>	60
3.	COD	150
4.	TSS	50
5.	Fenol Total	0,5
6.	Khorm Total (Cr)	1,0
7.	Amoniak Total (NH <sub>3</sub> -N)	8,0
8.	Sulfida (sebagai S)	0,3
9.	Minyak dan Lemak	3,0
10.	pH	6,0 – 9,0

(Sumber : Peraturan Daerah Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang BMAL Industri Tekstil dan Batik)

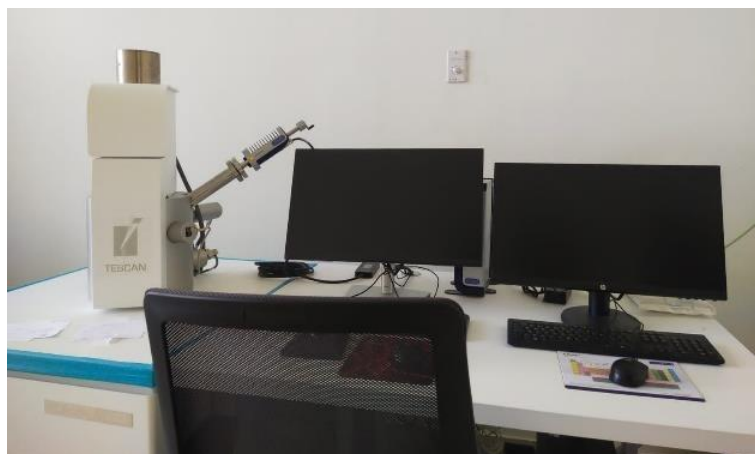
**Keterangan :** Warna biru menandakan parameter yang dianalisis

### **2.2.8. Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)**

*Scanning Electron Microscopy* (SEM) adalah instrumen sejenis mikroskop yang memanfaatkan elektron pancaran tinggi untuk memindai objek sehingga memperoleh citra atau gambar permukaan suatu material (Daratika, 2016). Elektron yang terdapat pada SEM memiliki muatan dan pergerakannya dapat dipercepat dalam sebuah medan listrik. SEM dapat menghasilkan perbesaran hingga dua juta



kali dengan resolusi yang lebih besar dibandingkan dengan mikroskop cahaya atau mikroskop optik. Gambar hasil SEM diperoleh dari elektron pemindai yang tidak berada pada spektrum cahaya tampak sehingga menghasilkan gambar tanpa warna atau hitam putih. Prinsip dari SEM yaitu menembakkan berkas sinar elektron yang akan berinteraksi dengan atom-atom pada permukaan sampel dan terjadi pemantulan kembali berkas sinar elektron menghasilkan elektron sekunder ke segala arah yang akan menghasilkan sinyal yang mengandung informasi topografi permukaan sampel, morfologi, komposisi kimia dalam material serta informasi lain yang diterima oleh detektor. Komposisi kimia dalam sampel yang dianalisis dengan SEM dapat diketahui dengan kelengkapan instrumen dalam SEM yaitu *energy dispersive x-ray* (EDX) sehingga disebut dengan SEM-EDX. Sinar-X dihasilkan oleh EDX ditembakkan pada sampel dengan posisi yang diinginkan sehingga akan menghasilkan puncak-puncak tertentu yang mewakili unsur yang terkandung dalam sampel dan menghasilkan data berupa analisis secara kuantitatif dari persentase komposisi unsur penyusun sampel tersebut (Daratika, 2016; Masta, 2020). Adapun gambar dari instrumen SEM-EDX ditampilkan dalam Gambar 2.4.



**Gambar 2. 4** Instrumen SEM-EDX

(Sumber : Dokumentasi Peneliti)

### **2.2.9. X-Ray Diffraction (XRD)**

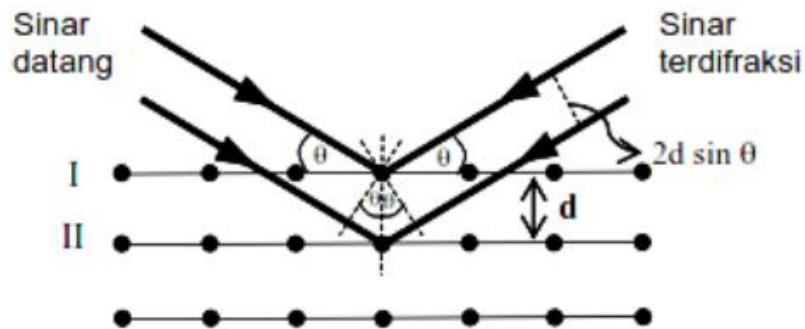
*X-Ray Diffraction* atau Difraksi Sinar-X merupakan metode analisis kuantitatif untuk mengidentifikasi struktur dan fasa kristalin, dimensi partikel serta

parameter struktur kristal melalui puncak-puncak intensitas yang muncul dan disajikan dalam bentuk grafik (Jati, 2023). Difraksi sinar-X adalah salah satu analisis serbaguna yang menggunakan sistem analitik non-destruktif. Difraksi sinar-X dapat digunakan untuk menentukan simetri kristal, cacat kristal, sistem kristal (kubus, tetragonal, heksahonal, rombohedral, triklin, monoklin, ortorombik), kualitas kristal (amorf, polikristal, tunggal), serta parameter kristal yang meliputi jarak antar atom, jumlah atom per unit sel, parameter kisi, serta dapat mengetahui campuran dan analisis kimianya (Azizah, 2020).

Prinsip dari XRD yaitu terjadinya difraksi oleh atom-atom yang menyusun suatu bidang kristal ketika sinar-X ditembakkan pada sampel seperti yang disajikan pada Gambar 2.5. Difraksi sendiri yaitu pembiasan yang dialami oleh gelombang sinar X pada saat melewati suatu hambatan seperti kisi kristal yang terdapat pada suatu material. Pembiasan tersebut mengakibatkan gelombang sinar-X terhambur ke segala arah yang dapat menghasilkan penguatan atau pelemahan sinyal sesuai dengan kondisi yang terjadi (Muttaqin *et al.*, 2023). Analisis kuantitatif pada analisis XRD dilakukan dengan menggunakan Hukum Bragg pada Persamaan 2.1 yang berlaku ketika jarak atom sebanding dengan panjang radiasi gelombang sinar-X sehingga terjadi penyebaran secara spekulatif sesuai dengan sifat atom pada kristal dan mengalami interferensi konstruktif yang membentuk pola difraksi yang berisi puncak – puncak difraksi berisi informasi mengenai fasa yang terkandung dalam sebuah sampel (Daratika, 2016; Jati, 2023). Setiap puncak difraksi yang dihasilkan memiliki intensitas yang berbeda sesuai dengan keteraturan atom-atom penyusun kristal pada material. Semakin tinggi nilai intensitas yang dihasilkan menunjukkan tingkat keteraturan atom pada kristal semakin baik sehingga kristalinitas material juga semakin baik (Afosma, 2017; Wicaksono & Anwar, 2018). Adapun instrumen XRD yang digunakan dalam analisis disajikan dalam Gambar 2.6.

$$n\lambda = 2 d \sin \theta \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana  $n$  adalah orde (0, 1, 2, 3,..),  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X,  $d$  adalah jarak antar bidang kristal, dan  $\theta$  adalah sudut sinar datang.



**Gambar 2. 5** Prinsip Difraksi Sinar-X Hukum Bragg

(Sumber : Jati, 2023)



**Gambar 2. 6** Instrumen EDX

(Sumber : Bruker, 2024)

#### 2.2.10. Spektrofotometer UV-Vis (*Ultraviolet – Visible*)

Spektrofotometer adalah instrumen untuk mengukur absorbansi sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrofotometer UV-Vis merupakan gabungan dari spektrofotometer UV (sinar UV) dan spektrofotometer *Visible* (cahaya tampak) sehingga tergolong dalam spektrofotometer berkas ganda. Instrumen ini memiliki daerah spektrum yang lebih luas yaitu spektrum UV (10 nm – 350 nm) dan spektrum tampak (350 nm – 770 nm). Sumber cahaya yang digunakan yaitu lampu deuterium dengan cahaya dalam daerah panjang gelombang

160-380 nm dan lampu tungsten halogen yang menghasilkan cahaya tampak dalam daerah panjang gelombang 350-800 nm (Daratika, 2016).

Prinsip kerja dari Spektrofotometer UV-Vis berdasarkan pada serapan cahaya dimana molekul dan atom berinteraksi dengan sumber cahaya. Adapun hukum yang digunakan pada analisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis yaitu Hukum Lambert-Beer, yaitu apabila sinar monokromatik melewati suatu senyawa maka sebagian sinar akan diabsorpsi, sebagian akan dipancarkan dan sebagian lagi akan dipantulkan (Ahriani *et al.*, 2021). Nilai absorbansi yang diperoleh dalam analisis menggunakan instrumen Spektrofotometer UV-Vis berbanding lurus dengan konsentrasi dari sampel yang dianalisis (Kalsum *et al.*, 2016). Instrumen Spektrofotometer UV-Vis yang digunakan untuk analisis ditampilkan pada **Gambar 2.7**.



**Gambar 2. 7** Instrumen Spektrofotometer UV-Vis

(Sumber : Dokumentasi Penulis)

### 2.3. Hipotesis

Berdasarkan perumusan masalah dan tujuan dari penelitian yang dilakukan, maka hipotesis pada penelitian ini yaitu:

1. Massa  $\text{SiO}_2$  Abu Tongkol Jagung yang ditambahkan pada prekursor  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  memiliki pengaruh terhadap morfologi permukaan, ukuran partikel, persentase massa unsur penyusun dan kristalinitas dari komposit  $\text{ZnO-SiO}_2$  Abu Tongkol Jagung. Semakin banyak massa  $\text{SiO}_2$  Abu Tongkol Jagung yang ditambahkan akan menghasilkan morfologi permukaan yang semakin

seragam, ukuran partikel yang semakin besar, persentase massa unsur Zn mengalami penurunan serta kristalinitas komposit yang semakin baik.

2. Waktu kontak optimum yang diperlukan dalam proses pengolahan limbah cair batik oleh komposit ZnO-SiO<sub>2</sub> Abu Tongkol Jagung memiliki pengaruh terhadap degradasi COD dan warna limbah cair batik, dimana semakin lama waktu kontak maka persentase degradasi akan semakin tinggi. Sementara pengukuran pH limbah cair batik akan semakin mendekati netral (pH 7) seiring dengan bertambahnya waktu kontak.