

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan cara yang dilakukan peneliti untuk mencari perbandingan yang selanjutnya sebagai inspirasi baru untuk penelitian berikutnya. Selain itu, penelitian terdahulu digunakan untuk menghindari anggapan persamaan dengan penelitian ini. Oleh karena itu, pada bagian ini peneliti menuliskan berbagai hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Berikut adalah penelitian terdahulu yang masih berkaitan dengan tema penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
1.	(Khalik, Wan <i>et al.</i> , 2015)	Untuk mengetahui pengaruh berbagai parameter operasi terhadap dekolorisasi dan mineralisasi air limbah batik di bawah penyinaran sinar matahari dengan ZnO sebagai fotokatalis.	Dekolorisasi air limbah meningkat 88,2% setelah 10 jam disinari dengan sinar matahari.	Modifikasi penambahan bahan pada katalis.

No.	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
2.	(Wibowo, S <i>et al.</i> , 2015)	Untuk menyelidiki kinerja 5% Ag doping pada film tipis ZnO pada degradasi pewarna reaktif Direct Blue B2R oleh Oksidasi Fotokatalitik dan meningkatkan proses menjadi prototype SOBATEX	Hasil menunjukkan bahwa berdasarkan spektrofotometri UV-vis 50 ml Direct Blue B2R (10ppm) mengalami penurunan warna sebesar 62,5% selama 1 jam paparan sinar matahari. Film tipis SOBATEX dengan Zno:Ag 5% berdimensi 1,2 x 1,5 x 1,9m. dibawah 180 menit degradasi 50L Direct Blue B2R (100 ppm), persen degradasi TDS mencapai 69%, degradasi COD mencapai	Ukuran partikel, pengaplikasian dan Jenis limbah.

No.	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
			63,15% dan persen degradasi warna mencapai 99%.	
3.	(Eddy <i>et al.</i> , 2016)	Pembuatan fotokatalis TiO ₂ -SiO ₂ yang digunakan dalam menurunkan kadar logam kromium dan besi yang terkandung di air	Konsentrasi awal kromium terukur yaitu 3,832 mg/L dan konsentrasi besi terukur yaitu 2,039 mg/L. Setelah dilakukan uji fotokatalis didapatkan aktivitas optimum yaitu komposisi TiO ₂ -SiO ₂ 10% yang menurunkan kadar logam kromium sebesar 95,30% dan kadar besi sebesar 93,62%.	Jenis katalis dan jenis limbah
4.	(Tarigan, Agres <i>et al.</i> , 2017)	Untuk mendegradasi zat pewarna remazol	Penambahan konsentrasi Ag pada ZnO	Jenis limbah, metode sintesis

No.	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		yellow.	menghasilkan tingkat aktivitas fotokatalis meningkat. Sehingga semakin bertambahnya konsentrasi Ag yang ditambahkan maka semakin besar laju fotodegradasi.	
5.	(Zhang <i>et al.</i> , 2017)	Untuk pengaplikasian fotokatalis komposit Ag/AgBr/GdVO ₄ dalam pengolahan air limbah	Fotokatalis komposit Ag/AgBr.GdVO ₄ dirancang dan disintesis untuk oksidasi fotokatalitik rhodamin B (RhB) dibawah penyinaran cahaya tampak. Hasil menunjukkan	Jenis katalis dan jenis limbah

No.	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
			<p>bahwa penyinaran dibawah cahaya tampak selama 12 menit, sekitar 80% RhB terdegradasi. Tingkat degradasi diperkirakan 0,253/min dimana tiga kali lebih tinggi dari AgBr murni.</p>	
6.	(Chen <i>et al.</i> , 2017)	<p>Fotokatalis seng oksida (ZnO) disintesis dengan metode sol-gel menggunakan seng asetat sebagai precursor untuk degradasi zat warna azo dibawah penyinaran UV.</p>	<p>ZnO yang dibuat dengan rasio komposit 4:1 dan suhu kalsinasi 400°C menunjukkan tingkat penyisihan 99,70% untuk MO. Laju penghilangan zat warna azo</p>	<p>Modifikasi dan jenis limbah</p>

No.	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
			meningkat dengan meningkatnya dosis katalis dan penurunan konsentrasi awal zat warna azo dan kondisi asam menguntungkan untuk degradasi.	
7.	(Wibowo, E <i>et al.</i> , 2017)	Untuk pengaplikasian lembaran plastik berlapis TiO ₂ dalam fotodegradasi limbah cair batik.	Sebanyak 8 lembar lembaran katalis berlapis TiO ₂ berhasil menurunkan 50,41% dari konsentrasi awal limbah selama penyinaran 5 hari.	Jenis katalis dan modifikasi katalis
8.	(Nurillahi <i>et al.</i> , 2018)	Penelitian ini bertujuan sebagai pembuatan katalis TiO ₂ dengan modifikasi abu vulkanik agar	H ₂ O ₂ yang ditambahkan memiliki efektivitas yang lebih baik untuk metode	Jenis katalis dan modifikasi

No.	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		memiliki serapan energi yang lebih aktif dalam mendegradasi senyawa polutan limbah cair batik.	pengolahan limbah batik. Untuk itu, TiO ₂ yang dimodifikasi dengan abu vulkanik adalah bahan potensial yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah batik.	
9.	(Raganata & Aritonang, 2019)	Untuk mensintesis nanopartikel ZnO menggunakan metode kopresipitasi, menentukan ukuran nanopartikel ZnO dan menentukan aktivitas fotokatalitik ZnO pada fotodegradasi zat	Hasil terbaik yaitu nilai degradasi sebesar 51,82% dengan lama penyinaran 30 menit dan nanopartikel ZnO 10%. Presentasi degradasi mencapai 65,26% pada peninaran 60 menit, 71,25% pada peninaran	Jenis limbah dan metode sintesis

No.	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		warna <i>methylene blue</i> .	120 menit , 75,78% pada peninaran 150 menit dan 71,01 % pada penyinaran 180 menit. Waktu optimum peyinarana pada yaitu pada waktu kontak 150 menit.	
10.	(Anggita, 2020)	Untuk menghasilkan morfologi permukaan ZnO:Ag yang tersbutrat pada aluminium foil dengan variasi suhu deposisi dan mendapatkan optimasi aktivasi fotokatalitik ZnO:Ag dalam mendegradasi zat	Aplikasi fotokatalis mendapatkan hasil presentasi degradasi terbesar pada lapisan ZnO:Ag dengan suhu 350°C sebesar 87,33%. Hal ini disebabkan karena modifikasi perak pada suhu rendah	Jenis limbah dan modifikasi

No.	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		warna <i>methylene blue</i> .	yaitu <400°C efektif untuk aktifitas fotokatalitik.	
11.	(Agustina <i>et al.</i> , 2020)	Untuk mensintesis dan mengkarakterisasi nanofotokatalis zeolite alam ZnO dengan kemampuan mendegradasi Procion red.	Karakterisasi BET menunjukkan bahwa nano fotokatalis ZnO-zeolit alam memiliki luas permukaan spesifik 14,8 m ² /g, ukuran pori 32,71 nm dan volume pori 0,12 cm ² /g. persentase puncak degradasi procion red sebesar 96,23% diperoleh dengan nano-fotokatalis ZnO-zeolit alam setelah 120 menit iradiasi dibawah sinar matahari	Jenis limbah dan modifikasi

No.	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
			yang diaplikasikan pada konsentrasi Procion red 50 ppm.	
12.	(Adzra <i>et al.</i> , 2022)	Untuk mengetahui efektivitas ZnO yang disintesis dengan variasi untuk menurunkan intensitas zat warna <i>methylene blue</i> secara fotokatalis.	Hasil terbaik didapatkan pada ZnO-C 70mg dengan lama penyinaran 180 menit dan konsentrasi <i>methylene blue</i> 20 ppm.	Modifikasi nanopartikel dan jenis metode pembuatan nanopartikel.

Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu yang telah dikaji, maka sebagai kebaruan dari penelitian ini yaitu jenis prekursor, jenis doping, metode sintesis, suhu sintesis, ukuran partikel dan jenis sampel limbah uji.

2.2 Teori – teori yang Relevan

2.2.1 Limbah Cair Batik

Limbah cair yaitu suatu campuran bahan pencemar dan air baik itu yang terlarut dalam air maupun tersuspensi yang berasal dari buangan sumber domestik dan sumber industri. Pada industri batik, limbah yang dihasilkan seperti limbah padat, gas dan cair. Limbah cair batik dihasilkan pada tahap pengolahan kain, pewarnaan dan pelorodan. Limbah cair yang dihasilkan mengandung zat kimia yang memiliki potensi meningkatkan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan warna air limbah (Apriyani, 2018). Zat warna yang digunakan pada proses pewarnaan lebih banyak menggunakan zat warna sintesis dibandingkan dengan zat warna alami. Hal ini dikarenakan, zat warna sintesis praktis dalam penggunaan dan memiliki warna yang beragam (Fikry *et al.*, 2016). Pewarna yang banyak dipakai oleh perajin batik yaitu seperti pewarna jenis remazol. Pewarna jenis remazol merupakan zat warna azo dengan sifat sangat reaktif. Zat warna ini memiliki kemampuan yang tidak mudah luntur yang disebabkan memiliki gugus kromofor dan ausokrom. Zat warna remazol sangat tahan terhadap reaksi oksidasi kimia karena memiliki kestabilan struktur aromatik kompleks. Disamping itu, zat warna azo tersebut sangat beracun bagi biota perairan dan karsinogenik bagi manusia (Riskiani, 2019).

Senyawa yang digunakan pada proses pewarnaan digunakan hanya 5% dan sisanya 95% dibuang sebagai limbah cair yang mengandung senyawa toksik dan berdampak buruk bagi lingkungan (Akbari & Alfandiana, 2022). Menurut (Andriani, 2017) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa kandungan air limbah batik dengan hasil COD 4951,75 mg/L, TSS 448 mg/l, Cr 7,0 mg/l dan pH 6,9.

Tabel 2. 2 Baku Mutu Limbah Cair Batik

No.	Parameter	Kadar Maks (mg/l)
1.	Temperatur	38°C
2.	BOD	60
3.	COD	150
4.	TSS	50
5.	Fenol Total	0,5
6.	Khrom Total (Cr)	1,0
7.	Amoniak Total	8,0
8.	Sulfida	0,3
9.	Minyak dan Lemak	3,0
10.	pH	6,0 – 9,0

(Sumber : Perda Jateng No 5 Tahun 2012)

2.2.2 Fotokatalis

Fotokatalis adalah gabungan dari dua kata yaitu foton dan katalis, dimana fotokatalis adalah zat yang dapat merubah laju reaksi kimia yang disebabkan adanya paparan cahaya. Fotokatalis dalam mempercepat laju reaksi memanfaatkan adanya cahaya dan semikonduktor. Fotokatalis bekerja dimana bahan semikonduktor menghasilkan pasangan elektron-lubang karena terpapar oleh cahaya (Ameta *et al.*, 2018). Fotokatalis yaitu suatu proses fotokatalitik yang dibantu dengan adanya cahaya untuk mengurangi molekul organik dan pendegradasi zat warna (Mun *et al.*, 2016). Fotokatalis merupakan sebuah teknologi murah dan efisien yang bertujuan sebagai pendegradasi polutan menggunakan bantuan cahaya. Fotokatalis adalah metode penjernihan air yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional. Proses fotokatalis berprinsip pada energi celah pita yang dimiliki oleh semikonduktor. Proses ini terjadi saat energi dari luar seperti energi cahaya melakukan transfer energi pada material semikonduktor dengan energi celah pita tertentu, sehingga terjadi transformasi kimia yang akan merubah senawa anorganik dan senawa organik

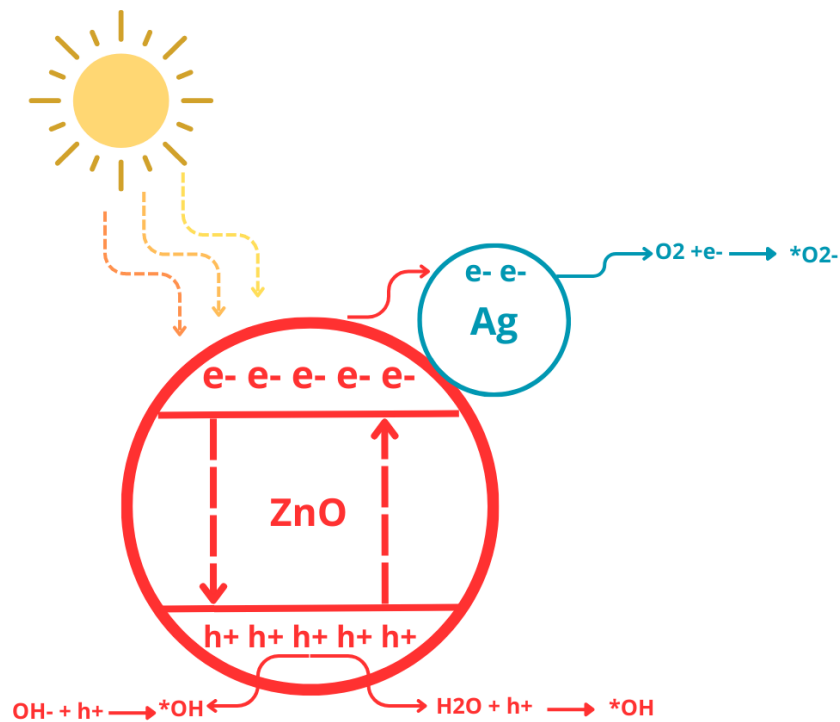
yang melekat pada material menjadi air dan karbon dioksida. (Rully Anggita, 2020).

Fotokatalis memanfaatkan oksida logam semikonduktor sebagai fotokatalis. Oksida logam seperti TiO_2 , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , ZnO dan sebagainya (Adzra *et al.*, 2022). Oksida logam semikonduktor ini digunakan pada reaksi dengan bantuan foto baik tersuspensi dalam limbah cair yang akan diolah maupun dilemahkan pada jenis penyangga. Gabungan fotokatalis dengan energi surya dimanfaatkan dan dikembangkan untuk proses pengurangan pencemaran air oleh mikropolutan (pestisida, pewarna) karena kondisi ringan dan efisiensi dalam mineralisasi tersebut. Proses fotokatalitik menghasilkan berupa persen degradasi, laju dekolorisasi degradasi, derajat mineralisasi dan/atau detoksifikasi sampel. Beberapa variabel yang mempengaruhi hasil fotokatalis seperti konsentrasi awal senyawa target, waktu penyinaran, dosis dan/atau karakteristik katalis, pH, suhu, dan akseptor elektron (Sakkas *et al.*, 2010).

2.2.3 Mekanisme Fotodegradasi

Fotokatalis merupakan proses fotokatalitik yang dibantu dengan cahaya untuk mengurangi molekul organik dan pendegradasi warna (Mun *et al.*, 2016). Reaksi fotodegradasi terjadi pada permukaan fotokatalis semikonduktor setelah terpapar foton cahaya. Seng oksida yang diinduksi oleh cahaya matahari dengan energi fotonik ($h\nu$) lebih besar atau sama dengan dari energi eksitasi (E_g), pita valensi terisi (VB) mempromosikan e^- menjadi pita konduksi kosong (CB). Proses ini menghasilkan pasangan elektron-lubang (e^-/h^+) pada persamaan (1). Reaksi redoks terjadi saat pasangan lubang elektron berpindah ke permukaan ZnO , dimana H^+ akan bereaksi dengan air dan ion hidroksida yang menghasilkan radikal hidroksil. Sementara, e^- akan bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan superoksida anion radikal kemudian hidrogen peroksida. Hidrogen peroksida yang dihasilkan akan beraksi dengan radikal superoksida sehingga terbentuk hidroksil. Radikal hidroksil yang terbentuk adalah oksidator kuat yang akan melawan polutan yang teradsorpsi pada permukaan katalis ZnO sehingga menghasilkan senyawa antara yang lebih cepat. Senyawa antara yang dihasilkan akan diubah

menjadi senyawa hijau seperti CO₂, H₂O dan asam mineral. Reaksi dapat dilihat pada persamaan berikut



Gambar 2. 1 Proses Reaksi Fotokatalis

(Boon *et al*, 2018)

Sementara itu, untuk degradasi zat warna melalui proses fotokatalitik dimulai dengan masuknya radikal *OH pada ikatan kimia terlemah dari molekul zat warna yaitu ikatan azo (-N=N-). Struktur ini biasanya diserang dan struktur konjugatnya dihancurkan. Zat antara dari proses tersebut kemudian mengalami reaksi berantai dengan molekul oksigen dan terurai menjadi air dan karbon dioksida. Reaktivitas pewarna dalam sistem degradasi tergantung pada struktur kimianya. Pewarna dengan struktur kompleks biasanya memiliki fotodegradabilitas rendah dan karakteristik adsorpsinya dipengaruhi oleh gugus fungsi (Koe *et al*, 2019).

2.2.4 Faktor Pengaruh Efisiensi Fotodegradasi

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi fotodegradasi yaitu :

A. Muatan Katalis

Laju fotodegrasi akan meningkat dengan meningkatnya jumlah katalis yang dimuat hingga mencapai massa optimum. Peningkatan dosis katalis akan menyebabkan luas permukaan meningkat, sehingga menyebabkan jumlah radikal hidroksil dan superoksida meningkat yang membantu degradasi polutan organik. Akan tetapi, dosis katalis yang tinggi diluar konsentrasi optimal akan menyebabkan menurunnya presentase fotodegradasi karena larutan mendapatkan pembebanan yang lebih tinggi sehingga berdampak pada efek hamburan dan penyaringan cahaya.

B. Struktur Fotokatalis

Fotokatalis dengan ukuran nano memiliki luas permukaan yang lebih tinggi. Sifat fisikokimia yang lebih baik dari struktur nano menjadikan rasio permukaan-ke-volume yang tinggi. Fotokatalis berukuran nano memiliki efek permukaan dan efek kuantum yang lebih baik. Sehingga, fotokatalis berukuran nano memiliki luas permukaan spesifik yang lebih tinggi dan menghasilkan efisiensi fotodegradasi yang lebih baik.

C. Konsentrasi substrat

Konsentrasi kontaminan organik yang terlarut dalam air memiliki efek yang merugikan pada laju degradasi fotokatalitik. Konsentrasi substrat yang tinggi menjadikan berkurangnya efisiensi degradasi. Hal ini disebabkan karena, semakin meningkatnya konsentrasi polutan maka semakin banyak zat organik yang teradsorpsi pada permukaan katalis.

D. pH larutan

pH memiliki peran penting dalam sistem fotokatalitik air, mempengaruhi muatan permukaan partikel katalis dan mempengaruhi posisi pita konduksi dan valensi dalam semikonduktor. Lubang fotogenerasi merupakan spesies pengoksidasi yang dominan pada pH rendah, sedangkan pada medium netral atau basa radikal hidroksil menjadi peran utama dalam mengoksidasi kontaminan organik. Akan tetapi, nilai pH harus dikontrol agar tidak tinggi yang menyebabkan

banyaknya ion hidroksil yang menghambat reaksi dengan substrat pencemar (Mun *et al.*, 2016)

E. Waktu Penyinaran

Waktu penyinaran sinar matahari merupakan faktor penting dalam menentukan kapasitas fotodegradasi fotokatalis terhadap degradasi pewarna. Waktu iradiasi untuk reaksi fotokatalitik meningkatkan fotodegradasi dan meningkatkan dekolonisasi zat warna yang dapat dihubungkan dengan pembentukan $\cdot\text{OH}$ dan $\cdot\text{O}_2^-$ dengan bertambahnya waktu reaksi radiasi. Sehingga, semakin bertambahnya waktu penyinaran maka reaksi fotodegradasi pewarna semakin meningkat.

F. Sumber dan intensitas cahaya

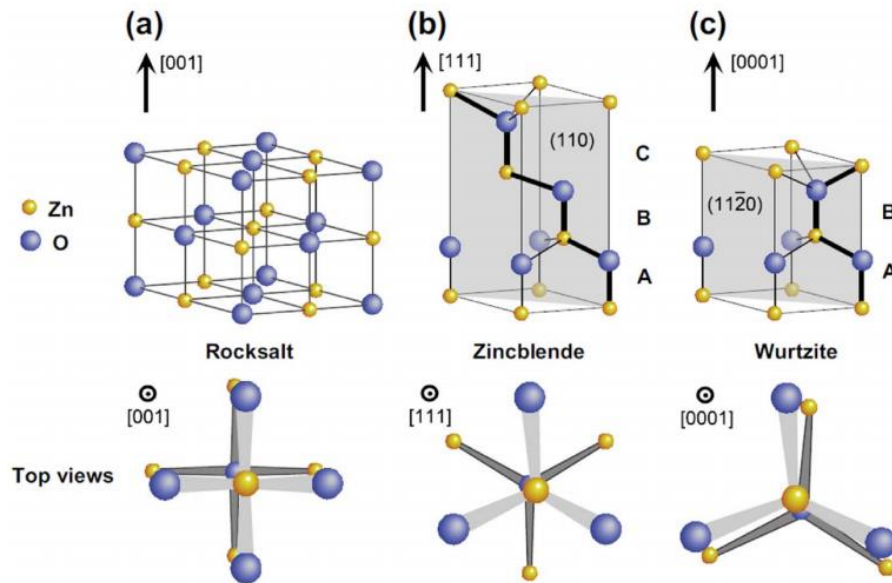
Intensitas dan panjang gelombang sinar UV sangat berpengaruh pada fotodegradasi. Sinar UV buatan memberikan efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan sinar matahari dalam aktivitas fotokatalitik. Akan tetapi, sinar matahari merupakan sumber cahaya alternatif, ekonomis, ketersediaannya berlimpah dan tidak bersifat berbahaya. Cahaya matahari terdiri dari 5% sinar UV (200-400 nm), 43% cahaya tampak (400-800 nm) dan 52% IR (>52%). Peningkatan intensitas sinar UV dapat meningkatkan fotodegradasi zat pewarna. Intensitas cahaya yang lebih tinggi menunjukkan bahwa lebih banyak foton yang menyerang per satuan luas fotokatalis yang terpapar. Oleh karena itu, menghasilkan lebih banyak radikal reaktif yang menjadikan lebih banyak hasil fotokatalitik (Khan *et al.*, 2020).

2.2.5 Seng Oksida (ZnO)

Seng Oksida (ZnO) adalah jenis semikonduktor tipe-n yang representatif dimana memiliki celah pita lebar 3,37 eV dan energi ikat eksitasi tinggi 60 meV dan menghasilkan pasangan lubang elektron setelah terpapar cahaya tampak atau sinar UV. Elektron dan lubang akan berinteraksi dengan O_2 yang terjerap di permukaan fotokatalis dan O_2^- , OH dihasilkan dari H_2O dimana dapat mereduksi dan mengoksidasi polutan atau zat organik seluruhnya menjadi produk akhir (Chen *et al.*, 2017).

ZnO adalah bahan yang ramah lingkungan dikarenakan kompatibel dengan organisme hidup, yang cocok untuk berbagai aplikasi sehari-hari yang tidak meninggalkan risiko terhadap kesehatan manusia dan dampak lingkungan. ZnO memiliki energi celah pita yang hampir sama dengan TiO₂ (3,2 eV), kemampuan fotokatalitiknya diperkirakan serupa juga dengan TiO₂. Selain itu, ZnO relatif lebih murah dibandingkan dengan TiO₂ dimana penggunaan TiO₂ tidak ekonomis untuk operasi pengolahan air skala besar. Keuntungan dari penggunaan ZnO yaitu kemampuan menyerap spektrum matahari yang luas dan kuantum cahaya yang lebih banyak daripada beberapa oksida logam semikonduktor lain (Mun *et al.*, 2016) Selain itu, *Zinc Oxide* (ZnO) dapat dioperasikan pada keadaan lingkungan yang keras, bersuhu tinggi, efisiensi quantum lebih tinggi, tidak beracun, memiliki stabilitas tinggi dalam plasma hydrogen dan tahan terhadap radiasi (Sistesya, 2013). Disamping itu, kelemahan dari ZnO adalah energi celah pita lebar dan fotokorosi. Penyerapan cahaya ZnO terbatas pada daerah cahaya tampak karena pita energinya yang lebar. Hal ini menghasilkan rekombinasi cepat dari muatan fotogenerasi dan menyebabkan efisiensi fotokatalitik yang rendah (Mun *et al.*, 2016)

ZnO terdapat tiga bentuk kristal yang berbeda yaitu *wurtzite*, *zinblend* dan *rocksalt*. ZnO bentuk *wurtzite* pada kondisi ambien paling stabil secara termodinamika. *Zinblend* dapat stabil dengan menumbuhkan ZnO pada substrat kubik. *Rocksalt* memiliki kondisi stabil hanya pada tekanan yang relatif tinggi (Boon *et al.*, 2018).



Gambar 2. 2 Struktur Kristal Seng Oksida (ZnO) (Boon *et al.*, 2018)

2.2.6 Perak (Ag)

Perak (Ag) merupakan logam yang memiliki sifat anti mikroba paling unggul dibandingkan dengan partikel lainnya. Dengan sifat tersebut dan biaya bahan yang lebih rendah dibandingkan dengan logam mulia lainnya seperti platinum dan emas, menjadikan perak tidak terbatas dalam pengaplikasiannya seperti perangkat optik dan elektronik. Ag dalam pengolahan air dipelajari sebagai adsorben yang efisien, ko-katalis dan naofiller membran. Selain itu, karena kemampuan desinfeksi yang baik dan menguntungkan dalam pengolahan air, Ag dapat digunakan untuk pengolahan air limbah yang mengandung bakteri seperti *Escherichia Coli* (E.Coli) dan *Staphylococcus aureus* (S.aureus) (Koe *et al.*, 2019).

2.2.7 Nanopartikel

Nanopartikel merupakan partikel dengan ukuran 1-100 nanometer. Penggunaan ZnO dalam nanostruktur dapat diaplikasikan secara meluas pada *field emission display*, peralatan nanofotonik, *piezoelectric transducers*, varistor, fosfor dan lapisan konduktor transparan. Terdapat beberapa faktor yang menjadi pengaruh dalam pembentukan nanomaterial seperti, konsentrasi dan jenis bahan

baku dimana bahan baku dari seng nitrat ($Zn(NO_3)_2$) menghasilkan material nanokristal yang lebih tinggi daripada seng asetat. Faktor lain yang menjadi pengaruh yaitu waktu kontak antara bahan baku dengan nyala api atau pemansan (Purwanto *et al*, 2014).

Material yang berukuran nano memiliki sifat yang berbeda dibandingkan dengan material asalnya. Nanopartikel memiliki karakteristik spesifik yang bergantung pada distribusi morfologi, ukuran dan fasanya. Dalam sintesis nanopartikel terdapat hal yang perlu dikontrol yakni ukuran, bentuk dan morfologi. Bentuk dan ukuran partikel menjadi penentu sifat optik, listrik, magnet, katalis dan anti bakterinya (Apriandanu *et al.*, 2013). Selain itu, untuk menghasilkan nanopartikel logam pada tahap sintesis umumnya menggunakan bahan penstabil. Bahan polimer kimia merupakan penstabil yang umum digunakan. Beberapa bahan polimer kimia seperti PVP (*polyvinyl pyrrolidone*), PVA (*polyvinyl alcohol*), PEG (*polyethylene glycol*), SDBS (*sodium dodecyl benzene*) dan SDS (*sodium dodecyl sulfat*) (Salasa *et al*, 2016)

2.2.8 Metode Sintesis Nanopartikel

Pemilihan metode sintesis nanopartikel perlu memperhatikan jenis nanopartikel yang akan dibuat dan bahan bakunya.

1) Hidrotermal

Metode hidrotermal merupakan metode yang dalam prosesnya dilakukan dengan cara merubah kelarutan, melelehkan bagian kristalin, mempercepat interaksi fisikokimia, perantara reaksi asam/basa dan pengendapan material. Metode ini terdiri dari dua tahap yakni pemanasan pada suhu rendah dan karbonisasi suhu tinggi (Rahman *et al*, 2015)

2) Presipitasi

Sintesis menggunakan metode presipitasi merupakan proses dengan reaksi asam-basa yang menghasilkan padatan Kristal dan air. Keuntungan dari proses ini yaitu bahan baku murah, reaksi kimia sederhana, ukuran partikel dan homogenitas cenderung cukup baik (Purwasasmita & Gultom, 2008)

3) Kopresipitasi

Metode kopresipitasi adalah metode yang sangat sederhana dimana keuntungan dari metode kopresipitasi yaitu digunakan dalam suhu rendah, ukuran partikel dapat dikontrol dan membutuhkan waktu yang relatif singkat. Penggunaan metode ini, agen pengendap yang digunakan yaitu hidroksida, karbonat, sulfat dan oksalat. Beberapa fakto yang berpengaruh dalam penggunaan metode kopresipitasi yakni konsentrasi precursor, konsentrasi agen pengendap, kontrol pH, temperatur, kecepatan pengadukan dan waktu pengadukan (Adzra *et al.*, 2022)

4) Metode Sol-Gel

Metode sol-gel adalah metode yang digunakan dalam pembuatan material padat dari nanopartikel atau molekul berukuran kecil terutama digunakan untuk fabrikasi dari oksida logam. Sol adalah suatu suspense koloid dimana fase terdispersinya berupa zat padat yang masih mengalami *Brownian motion* (gerak Brownian) atau *diffusion Brownian* (difusi Brownian) dan pendispersinya adalah zat cair. Gel adalah zat yang memiliki pori semirigid yang terdiri dari jaringan kontinu dalam tiga dimensi yang terbentuk dari rantai polimer. Tahapan dalam proses sol-gel terbagi atas tiga bagian yaitu :

a) Hidrolisis

Tahapan hidrolisis ini terjadi reaksi penggantian gugus alkoksida –OR oleh gugus karboksil –OH. Tahap hidrolisis terjadi pada fasa asam dan basa.

b) Kondensasi

Reaksi kondensasi biasanya terjadi sebelum reaksi hidrolisis selesai. Reaksi kondensasi terbagi atas dua bagian yaitu kondensasi dalam suasana asam dan kondensasi dalam suasana basa.

c) *Aging* (Pematangan)

Dalam proses pematangan ini, terjadi pembentukan jaringan gel baru yang lebih kaku, kuat dan menyusut dalam larutan. Fase cair yang mengandung partikel padat dan menggumpal akan bereaksi dan mengembun saat gel mengering. Proses akan terus berlanjut selama gel masih terdapat fleksibilitas.

d) *Drying* (Pengerangan)

Fase cair atau pelarut yang tersisa dihilangkan dengan proses *drying* yang disertai dengan penyusutan dan densifikasi. Proses pengeringan atau penghilangan sisa pelarut sangat dipengaruhi oleh distribusi porositas dalam gel. Proses *drying* dilakukan dengan cara menguapkan larutan untuk mendapatkan struktur sol-gel yang memiliki luas permukaan yang tinggi maka cairan tidak didinginkan (Liza *et al.*, 2018)

Metode Sol-Gel memiliki beberapa kelebihan yaitu :

- Menurut produk yang dihasilkan, produk dengan proses sol-gel memiliki homogenitas yang lebih baik, kemurnian tinggi dan cepat dalam kristalinitas.
- Menurut energi yang digunakan, proses sol-gel dapat berlangsung dalam suhu rendah. Sehingga, dasa pemisahan dan proses pembentukan Kristal dan lebih cepat yang menyebabkan lebih ekonomis dalam biaya operasional.
- Menurut efek lingkungan, proses sol-gel memberikan dampak yang ramah terhadap lingkungan. Hal ini dikarenakan, limbah yang dihasilkan dari proses ini cukup rendah (Ningsih *et al.*, 2017).

2.2.9 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan jenis mikroskop elektron yang dapat menghasilkan resolusi tinggi yang berasal dari gambaran permukaan sampel. Alat SEM bekerja pada prinsip dengan memanfaatkan hamburan balik elektron (*electrone beam*) pada permukaan objek dan mengambil gambar dengan mendeteksi elektron yang muncul pada permukaan objek (Septiano *et al.*, 2021). Setelah kontak dengan sampel, berkas elektron yang terfokus akan menghasilkan elektron sekunder (SE), elektron yang tersebar balik dan sinar-X karakteristik yang kemudian dideteksi dengan masing-masing detektor dan ditampilkan pada monitor. Pembentukan gambar SEM berkolerasi dengan deteksi sinyal yang diterima dari interasksi antara sinyal elektron dan sampel yang dipindai. Detektor elektron yang berbeda akan mengambil elektron yang sesuai untuk menghasilkan gambar morfologi (Abd Mutalib *et al.*, 2017). Analisa SEM atau teknik SEM telah digunakan pada banyak disiplin ilmu di seluruh dunia. Metode SEM adalah metode yang efektif dalam analisis bahan organik dan anorganik pada skala

nanometer hingga mikrometer (Mohammed & Abdullah, 2018). Selain itu, SEM dapat menghitung komposisi unsur yaitu menggunakan prinsip spektroskopi sinar-X (EDX) dispersive energi. Spektroskopi EDX digunakan dalam mendeteksi komposisi unsur suatu zat dengan menggunakan mikroskop elektron pemindaian. EDX dapat mendeteksi unsur-unsur yang memiliki nomor atom lebih tinggi dari boron dan unsur tersebut dapat dideteksi pada konsentrasi minimal 0,1%. Setelah bertabrakan dengan berkas elektron dalam SEM, sampel akan berinteraksi dengan berkas dan menghasilkan sinar-X. Pada prinsipnya bahwa tidak ada unsur yang memiliki spektrum pancaran sinar-X yang sama, maka unsur tersebut dapat dibedakan dan diukur konsentrasinya dalam sampel. Sinar-X merupakan hasil dari berkas utama interaksi elektron dengan inti atom sampel. Berkas elektron primer akan mengeksitasi elektron dalam inti atom, mengeluarkannya dari inti dan menciptakan lubang elektron. Elektron dari kulit terluar (energi yang lebih tinggi) dari atom akan menggantikan elektron yang hilang dan melepaskan sinar-X yang berlebih. Sinar-X yang dipancarkan terdiri dari kontinum sinar-X (dihasilkan dari perlambatan elektron) dan sinar-X karakteristik (dihasilkan sebagai hasil elektron kulit yang lebih tinggi mengisi lubang elektron di kulit inti). Sinar-X karakteristik akan direkam oleh spectrometer dispersif energi untuk pengukuran komposisi unsur dalam specimen (Abd Mutalib *et al.*, 2017).

2.2.10 Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis atau spektrofotometri sinar ultra violet dan *visivle* (cahaya tampak) merupakan metode yang didasarkan pada pengukuran energi cahaya dari suatu zat kimia dalam panjang gelombang tertentu. Panjang gelombang sinar ultraviolet (UV) antara 200-400 nm dan panjang gelombang sinar tampak antara 400-750 nm (Iskandar, 2017). Sumber cahaya pada spektrofotometer UV-Vis dipancarkan melalui monokromator. Sinar masuk dari sumber cahaya diuraikan oleh monokromator menjadi pita-pita panjang gelombang tertentu. Energi atau cahaya dari monokromator diteruskan dan diserap oleh larutan yang akan diperiksa dalam kuvet. Jumlah cahaya yang diserap oleh larutan akan menghasilkan signal elektrik pada detektor, dimana signal

elektrik ini sama dengan cahaya yang diserap. Signal elektrik yang diserap dialirkan ke pencatat dengan dapat dilihat sebagai angka (Triyati, 1985).

Hukum dasar spektrofotometri yaitu hukum Lambert-beer. Hukum lambert-beer ini menggambarkan hubungan antara intensitas serapan cahaya, konsentrasi dan panjang lintasan cahaya suatu zat terhadap panjang gelombang tertentu. Hukum ini berlaku untuk semua zat penyerap cahaya seperti gas, padatan, cairan dan molekul. Persamaan Hukum Lambert-beer berikut :

$$A = Kbc \quad (2.1)$$

Dimana :

A : absorbansi

K : Koefisien penyerapan molar

b : panjang jalur penyerapan (cm)

c : konsentrasi bahan penyerap (mol/L) (Huang *et al.*, 2021)

2.2.11 Kinetika Laju Reaksi

Laju reaksi didefinisikan sebagai perubahan konsentrasi zat pereaksi atau produk dalam setiap satuan waktu. Sehingga, dinyatakan dalam satuan konsentrasi per satuan waktu. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi laju reaksi seperti

1. Waktu reaksi

Waktu reaksi berpengaruh terhadap laju reaksi, dimana semakin lama waktu reaksi maka kontak antara molekul semakin besar yang menghasilkan laju semakin besar. Apabila kesetimbangan reaksi telah tercapai, penambahan waktu terhadap konversi tidak berubah.

2. Suhu

Apabila suhu dinaikkan maka konstanta laju reaksi (k) semakin besar sehingga reaksi dapat berjalan semakin cepat.

3. Katalisator

Penambahan katalis terhadap laju reaksi akan mengaktifkan zat pereaksi, sehingga energi aktivasi semakin kecil. Apabila energi aktivasi kecil, konstanta kecepatan reaksi semakin besar (Nurmanjaya *et al.*, 2018)

Secara umum, bentuk persamaan laju reaksi adalah : $Laju = k[A]^x[B]^y[C]^z$ dan orde reaksi keseluruhan adalah jumlah seluruh pangkat yang terdapat dalam persamaan laju reaksi. Hukum laju reaksi menyebutkan bahwa laju reaksi dinyatakan sebagai perubahan konsentrasi zat pereaksi atau produk reaksi setiap satuan waktu.

$$\text{Laju reaksi} = \frac{\text{Perubahan Konsentrasi}}{\text{waktu yang diperlukan}} \quad (2.2)$$

$$\text{atau laju} = \pm \frac{\Delta X}{\Delta t} \quad (2.3)$$

Tanda negatif digunakan apabila x adalah pereaksi, dan positif jika x adalah produk reaksi. Orde reaksi merupakan jumlah pangkat konsentrasi dalam bentuk diferensial. Secara teori, orde reaksi adalah bilangan bulat kecil atau nol.

- Reaksi Orde Nol

Reaksi orde nol yaitu orde ke nol terhadap suatu pereaksi apabila laju reaksi tidak dipengaruhi oleh konsentrasi pereaksi tersebut. Dimana $[A]$ adalah konsentrasi dan $[A]_0$ yaitu konsentrasi pada saat $t=0$, sehingga

$$-\frac{d[A]}{dt} = k \quad (2.4)$$

$$\text{dan hasil integral } [A]_0 - [A] = k.t \quad (2.5)$$

- Reaksi Orde Satu

Reaksi orde satu dinyatakan dengan,

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A] \quad (2.6)$$

Hasil integral untuk memperoleh hubungan antara konsentrasi pereaksi terhadap waktu :

$$\ln \frac{[A]_0}{[A]} = k.t \quad (2.7)$$

- Reaksi Orde Dua

Reaksi orde dua dinyatakan dengan,

$$-\frac{d[A]}{dt} = k.[A]^2 \quad (2.8)$$

Hasil integral untuk memperoleh hubungan antara konsentrasi pereaksi terhadap waktu :

$$\frac{1}{[A]} - \frac{1}{[A]_0} = k.t \quad (2.9)$$

(Prayitno, 2007)

2.3 Hipotesis

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

- a) Suhu Pemanasan Nano ZnO-Ag yaitu 400°C, 500°C dan 600°C memiliki pengaruh terhadap karakteristik ukuran nano ZnO-Ag.
- b) Hasil degradasi zat warna limbah cair batik dipengaruhi oleh penambahan nano ZnO-Ag terbaik yang ditambahkan pada limbah cair batik.
- c) Hasil degradasi zat warna limbah cair batik dipengaruhi oleh lamanya waktu penyinaran dengan lampu UV 7 watt.