

# Pengaruh Intensitas Cahaya dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Degradasi Limbah Laundry Menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit dari Limbah Baterai Zn-C

Sherly Fitria Novita, Asri Safira, Yuniar\*, Tahdid, Erika Dwi Oktaviani

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang

\*Koresponden email: yuniar@polsri.ac.id

Diterima: 14 Agustus 2025

Disetujui: 21 Agustus 2025

## Abstract

Wastewater from laundry activities contains various pollutants such as phosphates, surfactants, and dyes that can harm the environment. This study proposes an innovative solution by utilizing waste from Zn-C batteries as a raw material for synthesizing ZnO photocatalysts. Photocatalysis is an effective method for degrading pollutants, and using ZnO from battery waste provides a more economical and sustainable alternative. To enhance photocatalytic performance, ZnO is combined with zeolite as a supporting material to modify its electronic structure, especially to lower the band gap energy, thereby increasing its ability to break down harmful compounds in laundry wastewater. The ZnO-Zeolite photocatalyst was tested using 0.75 grams of catalyst with 100 mL of laundry wastewater for 60 minutes. Variations in stirring speed (200–800 rpm) and UV lamp intensity (15 Watt, 20 Watt, and without UV) were applied. Photocatalytic performance was evaluated by measuring pH, COD, and TSS after the degradation process. The best performance was obtained at 20 Watt UV light and 600 rpm stirring speed, resulting in COD of 60 mg/L, TSS of 31 mg/L, and pH 6.62. Lower efficiency at higher stirring speeds occurred due to excessive turbulence, causing particles to resuspend and reducing degradation effectiveness.

**Keywords:** photocatalysis, zno, zeolite, laundry wastewater, zn-c battery waste, photodegradation, stirring speed, light intensity

## Abstrak

Limbah cair dari kegiatan laundry mengandung senyawa pencemar seperti fosfat, surfaktan, dan zat pewarna yang dapat merusak lingkungan. Penelitian ini menawarkan solusi dengan memanfaatkan limbah baterai Zn-C sebagai bahan dasar sintesis fotokatalis ZnO. Fotokatalisis dikenal efektif dalam mendegradasi polutan, dan penggunaan ZnO dari limbah baterai membuatnya lebih ekonomis serta ramah lingkungan. Untuk meningkatkan kinerja fotokatalis, ZnO dikombinasikan dengan zeolit sebagai material pendukung yang berfungsi memodifikasi struktur elektronik ZnO, termasuk menurunkan energi celah pita (*band gap*), sehingga meningkatkan kemampuan degradasi polutan. Uji kinerja dilakukan menggunakan 0,75 gram fotokatalis untuk 100 mL limbah laundry dengan waktu kontak 60 menit. Variasi dilakukan pada kecepatan pengadukan (200–800 rpm) dan intensitas lampu UV (15 Watt, 20 Watt, dan tanpa UV). Evaluasi efisiensi dilakukan dengan mengukur pH, COD, dan TSS. Hasil terbaik diperoleh pada intensitas 20 Watt dan kecepatan pengadukan 600 rpm dengan nilai COD 60 mg/L, TSS 31 mg/L, dan pH 6,62. Penurunan efisiensi terjadi pada kecepatan tinggi karena turbulensi berlebih yang menyebabkan partikel tersuspensi kembali ke larutan, sehingga menghambat proses degradasi.

**Kata Kunci:** fotokatalisis, zno, zeolit, limbah laundry, limbah baterai zn-c, fotodegradasi, kecepatan pengadukan, intensitas cahaya

## 1. Pendahuluan

Aktivitas laundry yang semakin meningkat telah memberikan dampak signifikan terhadap kualitas lingkungan, terutama melalui pembuangan limbah cair yang mengandung berbagai bahan kimia berbahaya. Limbah laundry umumnya mengandung surfaktan anionik, fosfat, zat pewarna, dan senyawa organik kompleks lainnya yang bersifat toksik dan resisten terhadap degradasi alami [1]. Keberadaan surfaktan dalam air limbah dapat menghambat pertukaran oksigen dalam air, mengganggu sistem pernapasan organisme akuatik, serta menyebabkan pembentukan busa yang mencemari badan air [2]. Sementara itu, fosfat berperan besar dalam proses eutrofikasi yang mengakibatkan ledakan populasi alga dan penurunan kadar oksigen terlarut [3].

Metode konvensional seperti adsorpsi, koagulasi, filtrasi, dan sedimentasi telah banyak diterapkan dalam pengolahan limbah laundry. Namun, sebagian besar dari metode tersebut hanya bersifat transfer polutan dari fase cair ke padat, bukan menghancurnya secara menyeluruh [4]. Oleh karena itu, diperlukan metode alternatif yang mampu menurunkan kandungan polutan secara efektif dan ramah lingkungan, salah satunya adalah metode fotokatalisis.

Fotokatalisis merupakan teknologi yang memanfaatkan semikonduktor seperti ZnO atau TiO<sub>2</sub> yang diaktifasi oleh energi cahaya untuk menghasilkan radikal bebas yang mampu mendegradasi senyawa organik berbahaya menjadi senyawa yang lebih sederhana dan tidak beracun [5]. ZnO menjadi pilihan menarik karena memiliki nilai band gap yang relatif rendah (~3,2 eV), bersifat stabil, murah, dan mudah disintesis [6]. Namun, penggunaan ZnO secara langsung masih memiliki kekurangan, seperti luas permukaan spesifik yang kecil dan kecenderungan membentuk aglomerat, yang mengurangi efektivitas fotokatalitiknya [7].

Untuk mengatasi kelemahan tersebut, dilakukan modifikasi ZnO dengan material pendukung seperti zeolit. Zeolit merupakan material mikropori dengan struktur aluminosilikat, memiliki luas permukaan yang tinggi, dan kemampuan adsorpsi yang baik. Kombinasi ZnO dengan zeolit telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi fotokatalitik, memperluas area reaksi, dan memfasilitasi transfer massa antara polutan dan permukaan aktif fotokatalis [8].

Dalam penelitian ini, ZnO disintesis dari limbah baterai Zn-C, yang mengandung senyawa seng (Zn) dalam jumlah tinggi. Pemanfaatan limbah baterai sebagai bahan baku ZnO merupakan salah satu upaya penerapan prinsip ekonomi sirkular, sekaligus solusi dalam mengurangi pencemaran dari limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) [9][10]. Penggunaan limbah sebagai sumber material fungsional juga mendukung pendekatan berkelanjutan dalam teknologi pengolahan limbah.

Zeolit sintetis tipe Y dipilih karena memiliki karakteristik struktur kristalin yang stabil, ukuran pori seragam, serta permukaan aktif yang luas. Komposit ZnO-zeolit yang dihasilkan dari sintesis ini diharapkan dapat bekerja lebih efektif dalam mengadsorpsi dan mendegradasi polutan organik yang terkandung dalam limbah laundry.

Selain itu, performa sistem fotokatalitik sangat dipengaruhi oleh parameter operasional, seperti intensitas cahaya dan kecepatan pengadukan. Intensitas cahaya menentukan jumlah energi foton yang diabsorbsi oleh fotokatalis, sedangkan pengadukan mempengaruhi laju transfer massa dan distribusi partikel dalam medium reaksi [11][12]. Pengkajian parameter ini secara komprehensif masih jarang dilakukan, terutama untuk sistem berbasis material daur ulang.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji performa fotokatalis ZnO-zeolit yang disintesis dari limbah baterai Zn-C dalam proses degradasi limbah laundry. Fokus utama penelitian ini adalah mengevaluasi pengaruh variasi intensitas cahaya UV dan kecepatan pengadukan terhadap perubahan parameter kualitas air seperti COD, TSS, dan pH, sebagai indikator keberhasilan proses fotodegradasi.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui pengaruh variasi intensitas cahaya dan kecepatan pengadukan terhadap efektivitas fotodegradasi limbah laundry menggunakan fotokatalis ZnO-Zeolit yang disintesis dari limbah baterai Zn-C. Waktu penelitian ini berlangsung selama 9 minggu dari bulan Mei - Juli 2025 di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya.

### 2.1 Alat dan Bahan yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *beaker glass*, erlenmeyer, kertas pH, *hotplate*, *magnetic stirrer*, kertas saring, dan pengaduk. Adapun bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah baterai Zn-C yang dikumpulkan dari baterai bekas khususnya merk ABC. Limbah ini digunakan sebagai sumber seng (Zn) dalam sintesis ZnO. Bahan kimia tambahan meliputi asam klorida (HCl) 2 M sebagai pelarut logam seng, natrium hidroksida (NaOH) 2 M sebagai agen kopresipitasi, dan zeolit sintetis tipe Y. Selain itu, air limbah laundry diambil secara langsung dari usaha laundry rumah tangga di wilayah Palembang tepatnya di Harald Laundry, Talang Kelapa sebagai sampel nyata untuk pengujian fotokatalitik.

### 2.2 Sintesis ZnO dari Limbah Baterai ZnO

Sumber Zn diambil dengan memanfaatkan limbah baterai Zn-C dari lapisan kedua lempeng baterai. Lempeng seng dibersihkan menggunakan air deionisasi dan direndam menggunakan larutan HCl 0,1 M selama 15 menit untuk menghilangkan lapisan pengotor yang masih menempel pada permukaan seng. Lempeng seng yang telah dibersihkan kemudian dipotong kecil sebanyak 36 gram yang dapat dilihat pada

**Gambar 1.** Lempeng seng sebanyak 36 gr dilarutkan dengan HCl pekat 37% sebanyak 250 mL sambil diaduk dengan kecepatan 700 rpm dan suhu 80°C selama 2 jam hingga menghasilkan larutan  $ZnCl_2$ .



**Gambar 1.** (a) Limbah Baterai; (b) Lempeng Zn; (c) Potongan Lempeng Zn

Setelah larutan  $ZnCl_2$  terbentuk, dilakukan penyaringan untuk memisahkan partikel padat yang masih terikut seperti mangan (Mn). Larutan diendapkan dengan menambahkan NaOH 6 M secara perlahan hingga mencapai pH 10 dan menghasilkan endapan berwarna putih berupa  $Zn(OH)_2$ . Kemudian endapan disaring dan dicuci dengan air deionisasi hingga pH mencapai 7 (netral) serta diakukan pengeringan menggunakan oven pada suhu 110°C selama 3 jam. Dilanjutkan dengan proses kalsinasi menggunakan furnace pada suhu 400°C selama 3 jam dan diperoleh serbuk  $ZnO$  sebanyak 28,99 gram.

### 2.3 Sintesis $ZnO$ -Zeolit

Sebanyak 28,99 gram serbuk  $ZnO$  hasil sintesis dicampurkan dengan 28,99 gram serbuk Zeolit jenis Y, kemudian ditambahkan dengan larutan HCl 0,5 M dalam 350 mL dan diaduk selama 15 menit hingga homogen. Selanjutnya, campuran tersebut ditambahkan sedikit demi sedikit NaOH 2 M hingga pH mencapai maksimal 10 dan dilakukan pengendapan larutan selama 24 jam untuk mendispersikan partikel  $ZnO$  secara merata ke dalam pori-pori dan permukaan zeolit. Kemudian endapan disaring dan dicuci dengan air deionisasi hingga pH netral, lalu dikeringkan di dalam oven pada suhu 110°C selama 3 jam, dan dikalsinasi kembali pada suhu 400°C selama 3 jam hingga diperoleh serbuk  $ZnO$ -Zeolit sebanyak 50 gram yang ditunjukkan pada **Gambar 2**.



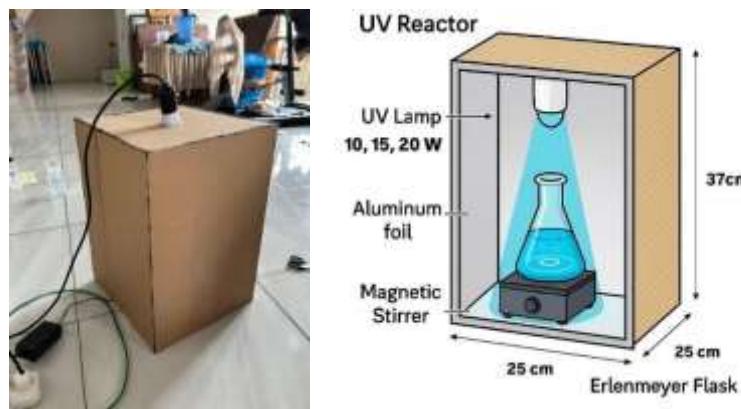
**Gambar 2.**  $ZnO$ -Zeolit Sintesis

### 2.4 Karakteristik Hasil Sintesis

Serbuk  $ZnO$ -Zeolit hasil sintesis dilakukan karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) yang bertujuan untuk mengetahui ukuran kristal yang terbentuk dan *Diffuse Reflectance Spectroscopy* Uv-Vis (DRS Uv-Vis) yang bertujuan untuk mengetahui nilai energi celah pita (band gap) dari material yang ada pada  $ZnO$ -Zeolit hasil sintesis.

### 2.5 Uji Aktivitas Fotokatalis $ZnO$ -Zeolit pada Air Limbah Laundry

Sebanyak 100 mL air limbah laundry diambil dan dicampurkan dengan 0,75 gram serbuk  $ZnO$ -Zeolit. Proses ini dilakukan dengan variasi kecepatan pengadukan dan waktu kontak selama 60 menit, serta menggunakan peninjakan lampu UV yang telah ditentukan. Penggunaan fotokatalis  $ZnO$ -Zeolit dalam air limbah laundry dilakukan di dalam reaktor UV sederhana, yang dapat dilihat pada **Gambar 3** berikut.



**Gambar 3.** (a) Reaktor UV; (b) Ilustrasi Uji Fotokatalitik

### 2.6 Uji kadar pH, COD, dan TSS pada Air Limbah Laundry

Pengujian kadar pada ketiga parameter ini dilakukan untuk mengamati perubahan yang terjadi antara limbah sebelum dan sesudah perlakuan. Pengukuran kadar pH dan TSS dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang, sementara pengujian kadar COD dilakukan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Masyarakat Palembang.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil Penelitian

Hasil analisis karakteristik fotokatalis ZnO-Zeolit yang dilakukan dengan menggunakan XRD dan DRS UV-Vis dapat dilihat pada **Tabel 1** di bawah ini.

**Tabel 1.** Hasil Analisa Karakteristik ZnO-Zeolit

Karakteristik	Hasil
XRD	16,19 nm
DRS UV-Vis	2,98 eV

Berikut adalah hasil analisis sampel air limbah *laundry* sebelum perlakuan, yang dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Hasil Pengukuran Parameter Awal Limbah Laundry

Parameter	Hasil
COD	269,00 mg/L
TSS	201 mg/L
pH	9,05
Surfaktan Anionik	2,817 mg/L

Setelah selesai melakukan analisis air limbah *laundry* sebelum perlakuan, selanjutnya dilakukan juga analisis terhadap air limbah *laundry* setelah perlakuan yang dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut ini.

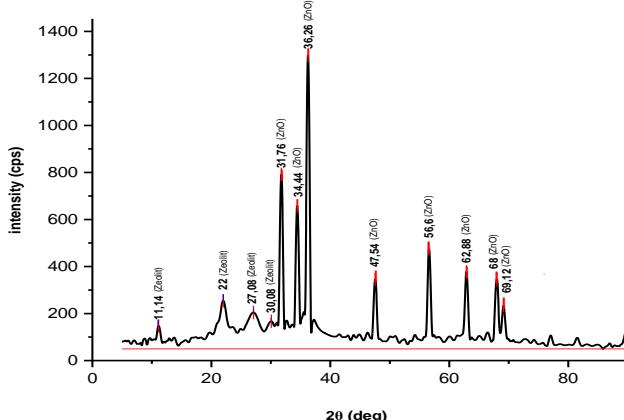
**Tabel 3.** Hasil Analisa Parameter Sampel Setelah Perlakuan Limbah Laundry

Intensitas Cahaya (Watt)	Kecepatan Pengadukan (rpm)	Sampel	Hasil		
			COD (mg/L)	pH	TSS (mg/L)
15	200	S1	192	6,77	58
	400	S2	124	6,44	46
	600	S3	89	6,92	34
	800	S4	115	7,02	38
20	200	S5	135	6,44	50
	400	S6	85	6,63	42
	600	S7	60	6,62	31
	800	S8	108	6,64	35
0 (Tanpa Cahaya)	200	S9	248	6,47	66
	400	S10	240	6,62	64
	600	S11	232	6,98	62
	800	S12	239	7,12	63

### 3.2 Pembahasan

#### 3.2.1 Karakteristik Sintesis ZnO-Zeolit Menggunakan Uji XRD

Dilakukan analisis karakteristik menggunakan XRD untuk mengidentifikasi struktur kristal dan ukuran partikel suatu material hasil sintesis ZnO-Zeolit yang dapat dilihat pada **Gambar 4** dibawah ini.



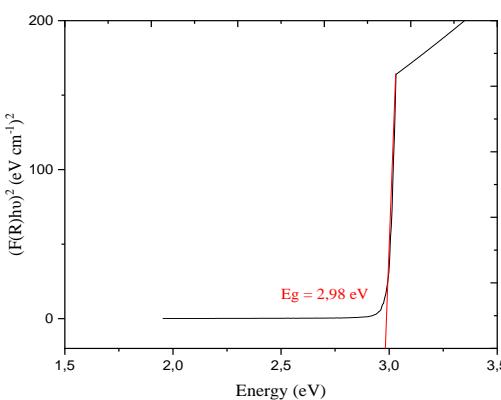
**Gambar 4.** Hasil Uji Karakteristik XRD

Hasil karakteristik XRD pada **Gambar 4** menunjukkan adanya peaks atau puncak-puncak difraksi dominan yang berasal dari komponen ZnO dan zeolit. Puncak-puncak utama terlihat pada sudut  $2\theta$  (31,8° ; 34,4° ; 36,3° ; 47,5° ; 56,6° ; 62,9°) berdasarkan JCPDS No. 36-1451 yang merupakan bentuk struktur heksagonal wurtzite. Selain itu, terdapat puncak kecil lain pada sudut  $2\theta$  (11,14°; 22°; 27,08°; 30,08°) yang terdeteksi sebagai ciri khas puncak zeolit dengan struktur faujasit (FAU) sesuai dengan data JCPDS No. 39-1380.

Ukuran kristal dari ZnO hasil sintesis dihitung dengan persamaan *Debye-Scherrer* yang menghasilkan nilai rata-rata 16,19 nm. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan Diyanthi, diperoleh ukuran kristal ZnO rata-rata 17,05 nm [9]. Hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan zeolit sebagai matriks pendukung terbukti menekan pertumbuhan kristal ZnO, menghasilkan ukuran yang lebih kecil dibandingkan ZnO murni yang biasanya memiliki ukuran kristal >20 nm [13].

#### 3.2.2 Karakterisasi ZnO-Zeolit Menggunakan Uji DRS UV-Vis

Analisa menggunakan DRS UV-Vis ZnO-Zeolit dilakukan untuk menentukan energi celah pita pada material fotokatalis yang dapat dilihat pada **Gambar 5** dibawah ini.



**Gambar 5.** Hasil Uji Karakterisasi DRS UV-Vis ZnO-Zeolit

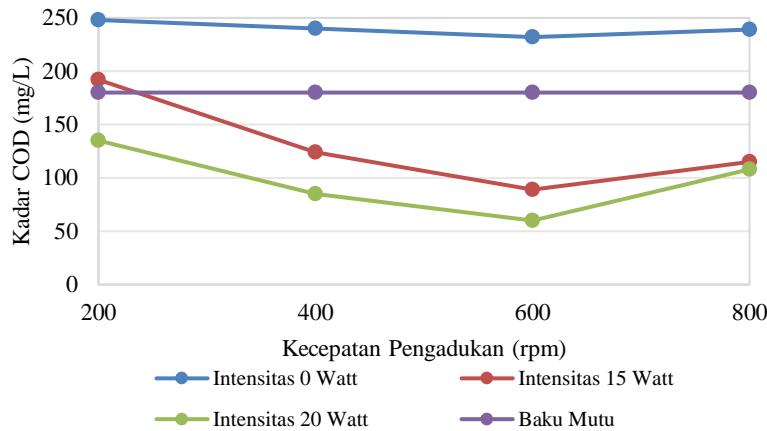
**Gambar 5** menunjukkan grafik hasil karakterisasi DRS UV-Vis ZnO-Zeolit. Pada penelitian ini didapatkan nilai bandgap sebesar 2,98 eV lebih rendah dibandingkan dengan nilai bandgap ZnO murni pada umumnya sekitar 3,20 eV [14]. Penurunan ini mengindikasikan bahwa fotokatalis ZnO-Zeolit dapat menyerap cahaya dengan panjang gelombang lebih panjang (energi lebih rendah), sehingga lebih sensitif terhadap cahaya tampak (*visible light*).

Penurunan nilai bandgap pada material semikonduktor seperti ZnO-Zeolit memberikan dampak signifikan terhadap performa fotokatalitiknya. Semakin kecil nilai bandgap, semakin rendah energi cahaya yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Hal ini memungkinkan

material menyerap foton dari spektrum cahaya tampak (visible light), sehingga memperluas cakupan kerja fotokatalis tidak hanya pada sinar ultraviolet, tetapi juga pada cahaya matahari secara langsung [15].

### 3.2.3 Pengaruh Intensitas Cahaya dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Parameter COD

*Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan parameter penting dalam penilaian kualitas air limbah karena mencerminkan total kandungan senyawa organik. **Gambar 6** menunjukkan perubahan nilai COD selama proses fotokatalis sebagai berikut.



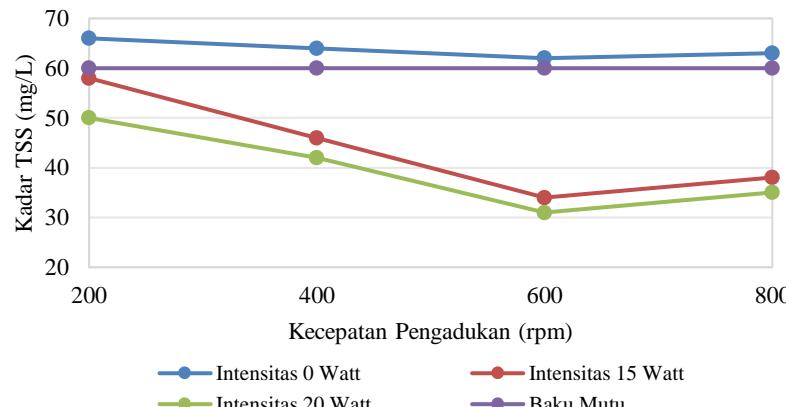
**Gambar 6.** Grafik Pengaruh Intensitas Cahaya dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Kadar COD

**Gambar 6** menunjukkan hubungan antara kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dengan variasi kecepatan pengadukan (200–800 rpm) dan intensitas cahaya UV (0, 15, dan 20 Watt). Pada intensitas 0 Watt, reaksi fotokatalitik tidak terjadi karena tidak ada energi foton yang cukup untuk mengaktifkan ZnO–Zeolit. Oleh karena itu, kadar COD tetap tinggi dan relatif konstan pada seluruh kecepatan pengadukan (sekitar 230–240 mg/L). Hal ini menunjukkan bahwa pengadukan saja tidak cukup untuk mendegradasi senyawa organik secara signifikan tanpa bantuan cahaya.

Penurunan COD paling rendah tercapai pada 600 rpm dan 20 Watt, yang menandakan kondisi optimum. Namun, pada 800 rpm, kadar COD sedikit meningkat kembali. Hal ini dapat dijelaskan oleh efek turbulensi berlebih, yang dapat menyebabkan agregasi partikel fotokatalis atau efek shading antar partikel, sehingga menurunkan efisiensi penyerapan cahaya [16]. Oleh karena itu, terdapat batas optimum kecepatan pengadukan, di mana pengaruh peningkatan sudah tidak lagi linear terhadap efektivitas degradasi.

### 3.2.4 Pengaruh Intensitas Cahaya dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Parameter TSS

*Total Suspended Solids* (TSS) merupakan jumlah partikel padat yang tersuspensi di dalam air yang tidak larut. Sumber TSS yang ada pada air limbah *laundry* selama proses pencucian, meliputi serat kain, tanah, debu, endapan kimia dari campuran deterjen. **Gambar 7** menunjukkan perubahan nilai TSS selama proses fotokatalis sebagai berikut.



**Gambar 7.** Grafik Pengaruh Intensitas Cahaya dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Kadar TSS

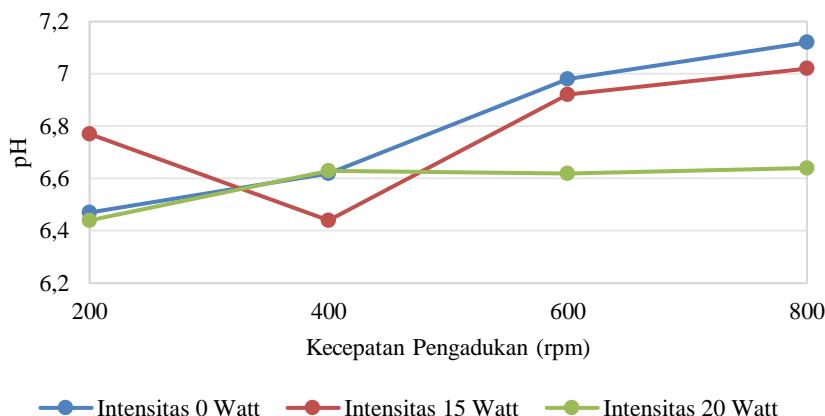
**Gambar 7** menunjukkan hubungan antara kecepatan pengadukan dan intensitas cahaya terhadap kadar TSS pada limbah *laundry*. Pada intensitas 0 Watt, hanya terdapat sedikit perubahan TSS karena tidak terjadi reaksi fotokatalitik, sehingga hanya efek pengadukan yang berperan dalam menurunkan partikel

tersuspensi secara fisis. Namun, pada intensitas 15 dan 20 Watt, proses fotokatalitik menghasilkan radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ) dan spesies oksidator kuat lainnya yang mampu memecah senyawa organik dan partikel koloid menjadi ukuran yang lebih kecil atau terdegradasi total menjadi senyawa terlarut, sehingga menurunkan kadar TSS secara signifikan.

Kondisi optimum terjadi pada 600 rpm, di mana distribusi fotokatalis cukup baik tanpa menimbulkan turbulensi berlebih. Pada 800 rpm, peningkatan kecepatan justru menyebabkan sedikit peningkatan TSS, kemungkinan akibat resuspensi partikel atau agregasi fotokatalis [16]. Efek penurunan TSS lebih efektif pada intensitas 20 Watt karena energi foton yang lebih besar meningkatkan pembentukan pasangan elektron-hole pada ZnO, memperbanyak radikal aktif yang berperan dalam oksidasi partikel organik tersuspensi.

### 3.2.5 Pengaruh Intensitas Cahaya dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Parameter pH

Nilai pH mencerminkan kondisi asam basa dan berhubungan dengan kualitas air. Adapun pengaruh intensitas cahaya dan kecepatan pengadukan terhadap parameter pH yang dapat dilihat pada **Gambar 8** berikut.



**Gambar 8.** Grafik Pengaruh Intensitas Cahaya dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Parameter pH

**Gambar 8** memperlihatkan bahwa nilai pH akhir larutan berkisar antara 6,4 hingga 7,15, dengan tren peningkatan pH seiring kenaikan kecepatan pengadukan. Perubahan nilai pH juga bervariasi tergantung pada intensitas cahaya UV yang digunakan. Pada intensitas 0 Watt, pH meningkat dari 6,45 (200 rpm) menjadi 7,15 (800 rpm). Pada 15 Watt, terjadi penurunan pH di 400 rpm (6,42), lalu naik signifikan hingga 7,05 di 800 rpm. Pada 20 Watt, nilai pH relatif stabil di kisaran 6,4–6,6.

Perubahan pH memberikan indikasi bahwa proses fotokatalitik berjalan, dan pH mendekati netral (6,5–7,1) menandakan bahwa senyawa organik berhasil dipecah menjadi produk akhir seperti  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Nilai pH selama proses fotokatalitik dipengaruhi oleh reaksi oksidasi dan reduksi pada permukaan fotokatalis. ZnO sebagai semikonduktor menghasilkan pasangan elektron-hole ketika disinari cahaya UV. Hole ( $\text{h}^+$ ) akan membentuk radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ) dari air atau ion  $\text{OH}^-$ , yang kemudian mengoksidasi senyawa organik menjadi senyawa seperti  $\text{CO}_2$ , asam organik, dan ion-ion lain [17].

## 4. Kesimpulan

Material fotokatalis ZnO-Zeolit berhasil disintesis melalui metode kopresipitasi dengan uji XRD menghasilkan ukuran kristal 16,19 nm dan uji DRS Uv-Vis menghasilkan nilai energi celah pita 2,98 eV, lebih rendah dibanding ZnO murni yang bernilai 3,37 eV. Karakteristik ini mendukung peningkatan aktivitas fotokatalitik material.

Pada kondisi optimal, yaitu intensitas cahaya 20 Watt dan kecepatan pengadukan 600 rpm, proses fotodegradasi mampu menurunkan COD dari 269 menjadi 60 mg/L, TSS dari 201 menjadi 31 mg/L, serta menurunkan pH dari 9,05 menjadi 6,62 sehingga sesuai dengan baku mutu limbah domestik.

## 5. Daftar Singkatan

ZnO	Zinc Oxide
UV	Ultraviolet
COD	Chemical Oxygen Demand

---

<i>DRS</i>	Diffuse Reflectance Spectroscopy
<i>XRD</i>	X-Ray Diffraction
<i>JCPDS</i>	Joint Committe on Powder Diffraction Standards
<i>eV</i>	electronvolt

## 6. Referensi

- [1] G. Crini, D. Lacalamita, E. Lichtfouse, N. Morin-Crini, C. Liu, L. D. Wilson, L. A. Picos-Corrales, M. A. Akhere, M. Sotiropoulou, C. Bradu, and C. Mongioví, “Characterization and treatment of industrial laundry wastewaters: A review,” *Environmental Chemistry Letters*, Aug. 2024, doi: 10.1007/s10311-024-01770-y.
- [2] J. Arora, A. Ranjan, A. Chauhan, R. Biswas, V. D. Rajput, and S. Sushkova, “Surfactant pollution, an emerging threat to ecosystem: Approaches for effective bacterial degradation,” *Journal of Applied Microbiology*, vol. 133, pp. 1229–1244, 2022
- [3] S. R. Smith, *Phosphates: Impact on the Environment*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2020.
- [4] A. O. Babatunde, Y. Q. Zhao, A. J. O'Neill, and J. A. O. Sullivan, “Adsorption and coagulation in wastewater treatment: A review,” *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, vol. 6, no. 1, pp. 1–16, 2010, doi: 10.1556/Progress.6.2010.1.1.
- [5] C. B. Ong, L. Y. Ng, and A. W. Mohammad, “A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts: Synthesis, mechanisms and applications,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 536–551, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.08.020.
- [6] C. Zhu and X. Wang, “Nanomaterial ZnO synthesis and its photocatalytic applications: A review,” *Nanomaterials*, vol. 15, no. 6, p. 682, **2025**, doi: 10.3390/nano15060682.
- [7] H. S. Mansur, L. A. Gonçalves, A. A. P. Mansur, and R. M. L. Costa, “Enhanced Photocatalytic Activity of ZnO Nanoparticles Grown on Porous Silica Microparticles,” *Applied Nanoscience*, vol. 7, pp. 421–431, 2017, doi: 10.1007/s13204-017-0626-3.
- [8] Iazdani, F., Nezamzadeh-Ejhieh, A. The photocatalytic rate of ZnO supported onto natural zeolite nanoparticles in the photodegradation of an aromatic amine. *Environ Sci Pollut Res* **28**, 53314–53327 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14544-8>
- [9] E. W. Diyanthi, E. P. Hadiantoso, and R. Fitriyani, “Regenerasi fotokatalis nanopartikel ZnO dari limbah baterai untuk penanganan metil violet,” *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, pp. 19–33, 2023.
- [10] F. Shihab and E. Hadiantoso, “Sintesis dan karakterisasi nanokomposit ZnO/NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dari limbah baterai menggunakan metode solid state sebagai fotokatalis zat warna metilen biru,” *Gunung Djati Conference Series*, vol. 15, no. 1, pp. 23–32, 2022.
- [11] L. Yang and Z. Liu, “Study on light intensity in the process of photocatalytic degradation of indoor gaseous formaldehyde for saving energy,” *Energy Conversion and Management*, vol. 48, no. 3, pp. 882–889, 2007
- [12] Murillo-Acevedo et al., “Initial approximation to the design and construction of a photocatalysis reactor for phenol,” *ACS Omega*, vol. 4, pp. 19605–19613, 2019
- [13] T. A. Al-Dahir, E. E. AL-Abodi, T. M. Al-Saadi, and L. Issam, “ZnO nanoparticles: Synthesis and crystal structure study,” *Wasit Journal for Science & Medicine*, vol. 7, no. 3, pp. 87-95, 2014.
- [14] M. Julita, M. Shiddiq, dan M. Khair, “Determination of Band Gap Energy of ZnO/Au Nanoparticles Resulting in Laser Ablation in Liquid,” *\*Indonesian Journal of Chemical Research\**, vol. 10, no. 2, pp. 83-87, 2022
- [15] Amri dan M. Pranjoto Utomo, M. Si, “Preparasi dan Karakterisasi Komposit ZnO-Zeolit untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red,” *Jurnal Kimia Dasar*, vol. 6, no. 2, pp. 29-36, 2017.
- [16] S. Wibowo, K. N. Aulia Azhar, and D. A. Sahanaya, “Fotodegradasi Methylene Blue Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>/Zeolit,” *Warta Akab*, vol. 47, no. 1, pp. 17–21, 2023.
- [17] Oktavia Wulandari, “Studi Pengaruh Konsentrasi ZnO pada Zeolit terhadap Degradasi Methylene Blue secara Fotokatalitik,” Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Malang, 2021.