

# Uji Kinerja Fotokatalis ZnO-Zeolit dari Limbah Baterai Zn-C dalam Mendegradasi Limbah Cair Tekstil Berdasarkan Massa Fotokatalis dan Waktu Kontak

Melanie Fernandez, Yuniar\*, Yulianto Wasiran

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang

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

Diterima: 11 Agustus 2025

Disetujui: 15 Agustus 2025

## Abstract

The textile industry in Indonesia plays a vital role in the economy but is also a significant source of environmental pollution. This study explores the performance of ZnO-zeolite photocatalyst synthesized from Zn-C battery waste to degrade textile wastewater. ZnO was synthesized via solution methods and doped with synthetic zeolite to enhance photocatalytic activity. The photocatalytic tests were conducted under varying mass (0,5; 0,75; 1 mass) and contact time (30, 60, 90, 120 minutes) using UV light. Material characterization using XRD and DRS UV-Vis revealed crystal size of 16.08 nm and band gap energy of 2.98 eV. Photocatalytic tests showed a decrease in pH from 9.32 to 7.15, COD reduction from 522 mg/L to 100 mg/L, and phenol degradation from 3.769 mg/L to 0.110 mg/L, especially at 0.75 mass and 90-minute contact time. The study concludes that ZnO-Zeolite from battery waste is effective and environmentally friendly for textile wastewater treatment.

**Keywords:** *zno, zeolite, battery waste, photocatalyst, textile wastewater, degradation*

## Abstrak

Industri tekstil di Indonesia memiliki peran penting dalam perekonomian, namun juga merupakan salah satu penyebab pencemaran lingkungan. Penelitian ini mengkaji kinerja fotokatalis ZnO-zeolit dari limbah baterai Zn-C untuk mendegradasi limbah cair tekstil. ZnO disintesis melalui metode larutan dan dikombinasikan dengan zeolit sintetis untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik. Uji dilakukan dengan variasi massa (0,5; 0,75; 1 gram) dan waktu kontak (30, 60, 90, 120 menit) menggunakan sinar UV. Karakterisasi material menunjukkan ukuran kristal sebesar 16,08 nm dan energi celah pita 2,98 eV. Uji fotokatalis menunjukkan penurunan pH dari 9,32 menjadi 7,15; penurunan COD dari 522 mg/L menjadi 100 mg/L; dan degradasi fenol dari 3,769 mg/L menjadi 0,110 mg/L, paling optimal pada massa 0,75 gram dan waktu 90 menit. Penelitian menyimpulkan bahwa fotokatalis ZnO-zeolit dari limbah baterai efektif dan ramah lingkungan untuk pengolahan limbah tekstil.

**Kata Kunci:** *zno, zeolit, limbah baterai, fotokatalis, limbah tekstil, degradasi*

## 1. Pendahuluan

Industri tekstil menjadi salah satu sektor utama yang memiliki peran penting terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional. Salah satu permasalahan utama yang ditimbulkan oleh industri tekstil adalah limbah cair yang mengandung zat pewarna sintetis dan bahan kimia lainnya [1]. Zat pewarna menjadi salah satu pokok utama polutan organik dalam air limbah. Pewarna sintetis memiliki struktur kimia yang rumit dan sulit diurai secara alami [2]. Pemerintah telah menyatakan standar untuk baku mutu limbah cair tekstil sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia 13 Nomor P.16/Menlhk/Setjen/Kum.1/4/2019 [3] yang tercantum pada **Tabel 1** berikut.

**Tabel 1.** Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil

Komponen	Nilai	Satuan
COD	150	mg/L
Fenol Total	0,5	mg/L
pH	6-9	mg/L

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2019

Foto katalisis menjadi salah satu solusi inovatif dan menjadi pilihan populer dalam pengolahan limbah cair karena prosesnya sederhana dan tidak menghasilkan limbah sekunder [4]. Fotokatalis secara umum didefinisikan sebagai proses reaksi kimia yang dibantu oleh cahaya dan katalis padat [5]. Salah satu

material fotokatalis yang akan diteliti adalah seng oksida ( $\text{ZnO}$ ). Sebagai katalis,  $\text{ZnO}$  menawarkan berbagai keunggulan seperti sifat semikonduktor inert, celah pita kecil, kekuatan oksidasi tinggi, tidak beracun, dan harga yang relatif murah [6]. Dengan struktur *wurtzite* yang stabil,  $\text{ZnO}$  menunjukkan celah pita (*bandgap*) 3,37 eV dan energi ikatan sebesar 60 meV pada suhu ruang [7].  $\text{ZnO}$  juga dapat diperoleh dengan memanfaatkan limbah baterai Zn-C. Bagian baterai Zn-C yang mengandung senyawa  $\text{ZnO}$  adalah lempeng baterai tersebut [8]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa,  $\text{ZnO}$  banyak diaplikasikan dalam reaksi kimia pembentukan dan penguraian senyawa, khususnya sebagai bahan katalis untuk menguraikan senyawa organik dan anorganik [6]. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah baterai dalam menghasilkan  $\text{ZnO}$  menjadi solusi inovatif dalam menguraikan ataupun mengelola limbah cair industri tekstil yang mengancam keberlangsungan ekosistem perairan serta kesehatan masyarakat.

Untuk meningkatkan aktivitas fotokatalis, perlu ditambahkan dopan atau matriks yang mempunyai celah pita (*bandgap*) cukup kecil [9]. Salah satu material tersebut adalah zeolit, zeolit merupakan material berpori yang telah luas digunakan sebagai katalis, adsorben, maupun ion *exchanger* [10]. Zeolit Y merupakan jenis zeolit buatan yang memiliki struktur kristal faujasit [11]. Dengan struktur berpori dan sifat adsorpsi yang bagus, zeolit Y memungkinkan penyerapan dan penyimpanan senyawa organik, serta memperkuat keterikatan dengan fotokatalis [12].

Hasil penelitian yang dilakukan oleh [8], dengan menggunakan CMC sebagai bahan pendukung dapat membantu mendesain ukuran pori-pori nanopartikel, akan tetapi menghasilkan residu karbon yang bertindak sebagai kontaminan dan dapat menyumbat pori-pori, sehingga terjadi aglomerasi pada material. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh [13] menyatakan bahwa variasi konsentrasi  $\text{ZnO}$  yang terdispersi dalam zeolit Y berdampak signifikan pada konstanta laju fotodegradasi, dengan konsentrasi optimal yang meningkatkan efisiensi fotokatalitik.

Oleh karena itu, penelitian ini memberikan sebuah pembaharuan yang lebih efektif dan ramah lingkungan dalam pengaplikasian terhadap limbah industri tekstil dengan memanfaatkan limbah baterai Zn-C sebagai bahan baku utama senyawa  $\text{ZnO}$ , serta dengan adanya penambahan zeolit yang dapat meningkatkan keefektifan fotokatalis.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 2 bulan yaitu Mei hingga Juli 2025 di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang. Penelitian ini melibatkan dua jenis variabel yaitu, variabel tetap dan variabel bebas. Variabel tetap meliputi limbah cair tekstil 250 ml, kecepatan pengadukan 600 rpm, dan daya lampu UV 15 watt. Sedangkan variabel bebas melibatkan variasi massa fotokatalis 0,5 gram; 0,75 gram; dan 1 gram, serta waktu kontak penyinaran 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit. Berikut akan dijabarkan secara lebih jelas terkait tahapan pada penelitian ini.

### 2.1 Alat dan Bahan

Alat yang dipakai dalam penelitian ini adalah erlenmeyer, gelas kimia, kertas pH, *hotplate*, *magnetic stirrer*, kertas saring, dan pengaduk. Adapun bahan yang dipakai adalah lempeng seng baterai Zn-C, HCl, NaOH, zeolit sintetis Y, dan aquades.

### 2.2 Sintesis $\text{ZnO}$

Lempeng Zn diambil dari lapisan kedua limbah baterai Zn-C setelah dibongkar. Lempeng Zn dibersihkan menggunakan air deionisasi, lalu direndam dalam larutan HCl 1 M selama 10–15 menit untuk menghilangkan kotoran dan sisa Mn. Sebanyak 36 gram lempeng Zn yang telah dipotong kecil dapat dilihat pada **Gambar 1** dilarutkan dalam 250 mL HCl pekat (37%), sambil diaduk dengan kecepatan 700 rpm dan dipanaskan pada suhu  $80^\circ\text{C}$  selama 2 jam untuk membentuk larutan  $\text{ZnCl}_2$ .



**Gambar 1.** Lempeng Seng Limbah Baterai Zn-C

Larutan  $\text{ZnCl}_2$  disaring untuk memisahkan dari partikel pengotor yang masih terikut. Larutan diendapkan menggunakan  $\text{NaOH}$  6 M hingga pH mencapai maksimal 10, membentuk endapan  $\text{ZnO}$  berwarna putih. Endapan disaring dan dicuci dengan air deionisasi hingga pH netral ( $\pm 7$ ), lalu dikeringkan dalam oven pada suhu  $110^\circ\text{C}$  selama 3 jam. Kemudian dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu  $400^\circ\text{C}$  selama 3 jam. Hasil akhir serbuk  $\text{ZnO}$  yang didapat sebanyak 28,99 gram.

### 2.3 Sintesis $\text{ZnO}$ -Zeolit

$\text{ZnO}$  hasil sintesis dan zeolit sintetis Y dicampurkan dengan perbandingan 1:1 secara massa. Siapkan 350 mL larutan  $\text{HCl}$  0,5 M. Tambahkan  $\text{ZnO}$  ke dalam larutan dan aduk selama 15 menit. Zeolit ditambahkan sedikit demi sedikit ke dalam larutan  $\text{ZnCl}_2$  sambil diaduk hingga homogen. pH dijaga agar tidak  $< 4$  untuk mencegah kerusakan struktur zeolit. Tambahkan larutan  $\text{NaOH}$  1 M sedikit demi sedikit (dalam 250 mL) hingga pH mencapai maksimal 10. Larutan didiamkan selama 24 jam untuk proses pengendapan dan distribusi  $\text{ZnO}$  ke dalam pori-pori zeolit. Endapan disaring dan dicuci dengan air deionisasi hingga pH netral, lalu dikeringkan pada suhu  $110^\circ\text{C}$  selama 3 jam. Kemudian dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu  $400^\circ\text{C}$  selama 3 jam. Hasil akhir serbuk  $\text{ZnO}$ -Zeolit yang didapat sebanyak 50,65 gram dapat dilihat pada **Gambar 2** berikut ini.



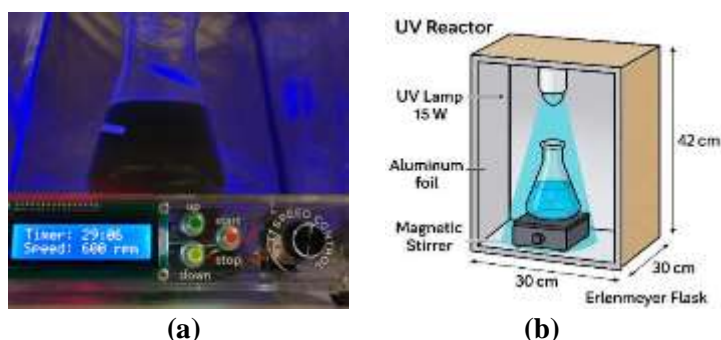
**Gambar 2.**  $\text{ZnO}$ -Zeolit Sintesis

### 2.4 Karakterisasi Hasil Sintesis

Karakterisasi hasil sintesis fotokatalis  $\text{ZnO}$ -Zeolit menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Diffuse Reflectance Spectroscopy* UV-Vis (DRS UV-Vis). XRD bertujuan untuk menentukan struktur padatan kristalin, kualitas kristal, dan ukuran kristal. Adapun DRS Uv-Vis bertujuan untuk menentukan besarnya energi celah pita (*bandgap*) pada  $\text{ZnO}$ -Zeolit hasil sintesis.

### 2.5 Uji Aktivasi Fotokatalis $\text{ZnO}$ -Zeolit Pada Limbah Cair Tekstil

Limbah cair tekstil yang telah diencerkan diambil sebanyak 250 ml kemudian ditambahkan fotokatalis  $\text{ZnO}$ -Zeolit sesuai dengan variasi yang ditentukan lalu dilakukan pengadukan dengan variasi waktu kontak yang juga telah ditentukan dengan penyinaran lampu UV 15 watt. Pada **Gambar 3** berikut merupakan ilustrasi dari pengaplikasian fotokatalis  $\text{ZnO}$ -Zeolit.



**Gambar 3.** Aplikasi  $\text{ZnO}$ -Zeolit pada Limbah Cair Tekstil:

- (a) Foto tampak dalam reaktor UV saat percobaan,
- (b) Ilustrasi skema tampak luar reaktor UV

### 2.6 Uji Kadar pH, Fenol, dan COD pada Limbah Cair Tekstil

Uji kadar pada ketiga parameter ini bertujuan untuk mengetahui adanya perubahan yang terjadi dari limbah awal dan setelah adanya perlakuan. Uji kadar pH dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia

Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang dan uji kadar fenol serta COD dilakukan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Masyarakat Palembang.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Penelitian

Hasil analisis karakteristik fotokatalis ZnO-Zeolit menggunakan XRD dan DRS UV-Vis tercantum pada **Tabel 2** berikut.

**Tabel 2.** Hasil Analisis Karakteristik ZnO-Zeolit

Karakteristik	Hasil
XRD	16,087 nm
DRS UV-Vis	2,98 eV

Berikut merupakan hasil analisis sampel limbah cair tekstil sebelum perlakuan yang dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut.

**Tabel 3.** Hasil Analisis Limbah Cair Tekstil Awal

Pemeriksaan	Hasil (mg/L)
pH	9,32
COD	522
Fenol	3,769

Adapun setelah melakukan analisis awal pada limbah cair tekstil, selanjutnya dilakukan juga analisis sampel akhir limbah cair tekstil setelah perlakuan yang dapat dilihat pada **Tabel 4** berikut.

**Tabel 4.** Hasil Akhir Analisis Limbah Cair Tekstil

Berat ZnO-Zeolit (gram)	Waktu Kontak (menit)	Hasil		
		pH	COD (mg/L)	Fenol (mg/L)
0,5	30	7,98	216	0,761
	60	7,62	201	0,390
	90	7,31	160	0,169
	120	7,30	184	0,526
0,75	30	7,71	192	0,322
	60	7,19	157	0,144
	90	7,15	100	0,110
	120	7,46	122	0,343
1	30	7,53	184	0,259
	60	7,31	170	0,152
	90	7,19	111	0,247
	120	7,33	176	0,208

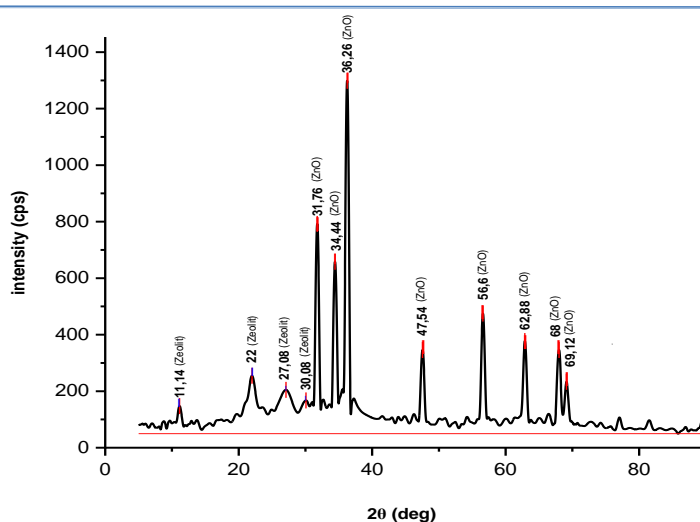
#### 3.2 Pembahasan

##### 3.2.1 Karakterisasi ZnO-Zeolit Menggunakan XRD

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan untuk menentukan ukuran kristanilitas dari ZnO-Zeolit yang telah disintesis sehingga dapat mengetahui ukuran partikel dan struktur kristal dari ZnO-Zeolit. Hasil karakteristik XRD ZnO-Zeolit dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Berdasarkan grafik yang tertera pada **Gambar 4** material yg disintesis mengandung dua fasa kristalin yaitu ZnO dan Zeolit tipe Y. Keberadaan kedua material ini dipastikan melalui puncak-puncak difraksi yang dihasilkan. Puncak difraksi ZnO terlihat pada intensitas tinggi pada sudut  $2\theta$  berada pada  $31,76^\circ$ ;  $34,44^\circ$ ;  $36,26^\circ$ ;  $47,54^\circ$ ;  $56,61^\circ$ ;  $62,88^\circ$ ; dan  $69,12^\circ$ . Pola difraksi diatas menunjukkan kesesuaian dengan standar ZnO *hexagonal wurtzite* yang tercantum pada data standar JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) No. 36-1451 [14].

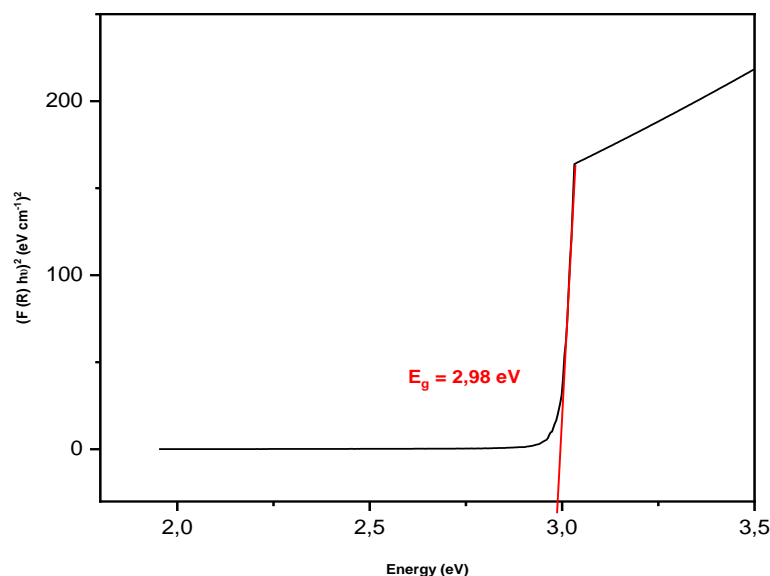
Ukuran kristal dari nanopartikel ZnO-Zeolit dapat dihitung menggunakan Persamaan *Debye Scherrer* [15] dan diperoleh hasil ukuran kristal rata-rata ZnO-Zeolit sebesar 16,087 nm, sedangkan [16] memperoleh ukuran kristal rata-rata ZnO murni sebesar 17,05 nm. Penggunaan zeolit terbukti memengaruhi pembentukan kristal ZnO. Kehadiran zeolit membuat ukuran kristal ZnO menjadi lebih kecil dan tersebar secara merata.



Gambar 4. Hasil Uji XRD ZnO-Zeolit

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

Hasil analisis karakteristik DRS UV-Vis dari fotokatalis ZnO-Zeolit dapat dilihat pada **Gambar 5** berikut ini.



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

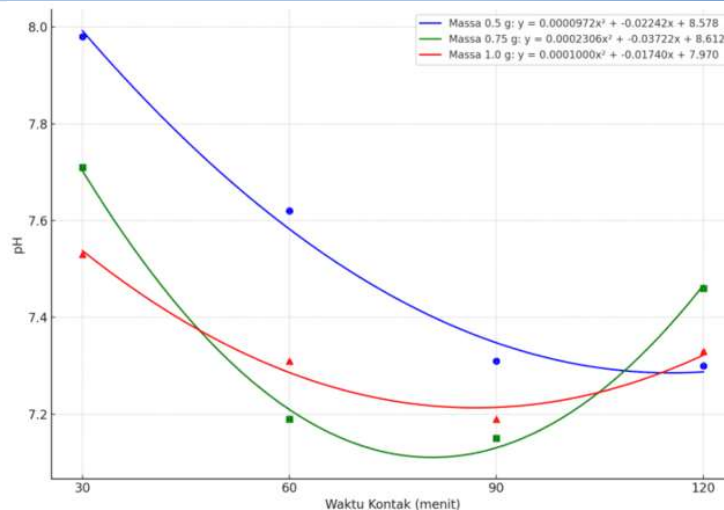
DRS UV-Vis digunakan untuk menentukan energi celah pita (*bandgap*) dari material tersebut. Berdasarkan grafik pada **Gambar 5** dengan menggunakan perhitungan persamaan Faktor *Kubelka-Munk* [17] diperoleh nilai *bandgap* sebesar 2,98 eV. Nilai ini lebih rendah dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh [8] dengan penggunaan sumber bahan baku sintesis ZnO yang sama yaitu lempeng seng limbah baterai dengan *dopping* berupa CMC (*Carboxymethyl Cellulose*) didapatkan nilai *bandgap* sebesar 3,20.

Penurunan nilai *bandgap* pada ZnO-Zeolit terjadi karena partikel ZnO tersebar secara merata di dalam matriks zeolit, yang mempengaruhi ukuran kristalnya. Dengan *bandgap* yang lebih rendah, material komposit ini mampu menyerap cahaya pada rentang yang lebih luas, terutama di wilayah cahaya tampak, sehingga meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya untuk proses degradasi polutan organik maupun aplikasi fotokatalitik lainnya [18]. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil nilai *bandgap*, semakin mudah elektron berpindah, sehingga kemampuan fotokatalis meningkat.

### 3.2.3 Pengaruh Massa Fotokatalis dan Waktu Kontak Terhadap Nilai pH

pH adalah ukuran tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan yang ditentukan oleh konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) di dalamnya. Grafik pada **Gambar 6** berikut ini merupakan pengaruh variabel bebas terhadap nilai pH.





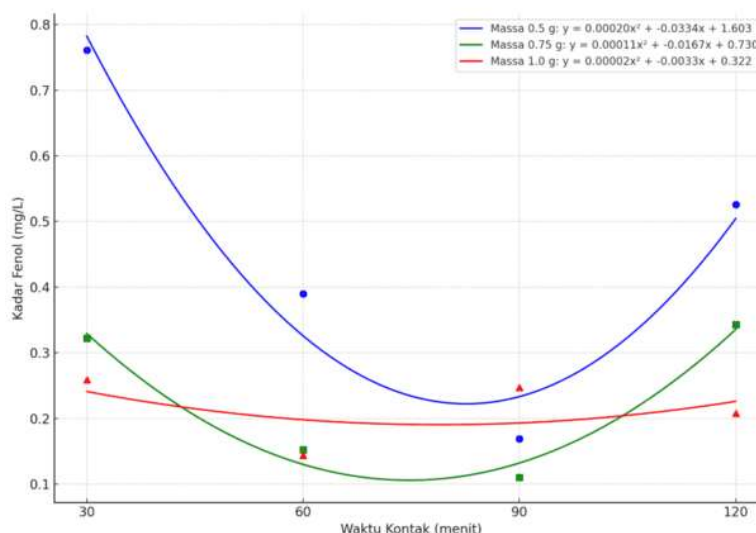
**Gambar 6.** Pengaruh Massa Fotokatalis dan Waktu Kontak Terhadap Nilai pH

Nilai pH awal pada limbah cair tekstil sebesar 9,32. Pada variasi massa 0,5 gram pH mengalami penurunan secara bertahap dari menit ke-30 hingga menit ke-120. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi fotokatalitik terjadi secara perlahan namun stabil. Massa fotokatalis yg relatif kecil membuat jumlah radikal bebas ( $\text{OH}^-$ ) yang terbentuk juga terbatas, sehingga reaksi degradasi berjalan lebih lambat namun konsisten [19].

Adapun pada variasi massa 0,75 gram pada menit ke-120 nilai pH mengalami kenaikan, sedangkan pada massa 1 gram nilai pH telah mengalami kenaikan kembali pada menit ke-90 Hal ini memperlihatkan adanya reaksi antara proses adsorpsi dan pelepasan kembali senyawa basa. pH meningkat dikarenakan partikel ZnO-Zeolit menggumpal atau terjadi aglomerasi. Ketika ini terjadi, luas permukaannya mengecil, sehingga radikal hidroksil yang terbentuk lebih sedikit dan proses degradasi pun jadi kurang efisien [20].

### 3.2.4 Pengaruh Massa Fotokatalis dan Waktu Kontak Terhadap Kadar Fenol

Fenol adalah senyawa organik yang berbahaya dan bersifat karsinogenik. Kehadiran fenol dalam konsentrasi tertentu dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Limbah yang mengandung fenol dapat mencemari perairan, sehingga menurunkan kadar oksigen dalam air [6]. Pengaruh terhadap efisiensi fotodegradasi terhadap fenol ditunjukkan melalui grafik pada **Gambar 7** berikut.

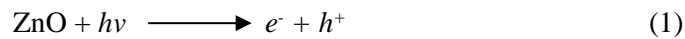


**Gambar 7.** Pengaruh Massa Fotokatalis dan Waktu Kontak Terhadap Kadar Fenol

Kadar fenol pada limbah cair tekstil sebelum perlakuan sebesar 3,769 mg/L. Pada variasi massa 0,5 dan 0,75 gram kadar fenol mengalami penurunan dan kembali meningkat pada menit ke-120. Penurunan kadar fenol disebabkan oleh proses oksidasi fotokatalitik. Proses ini dimulai dengan aktivasi fotokatalis

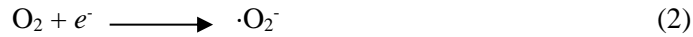
oleh cahaya, menghasilkan radikal yang menyerang senyawa fenol. Reaksi utama yang dihasilkan sebagai berikut:

1. Aktivasi ZnO oleh Cahaya UV

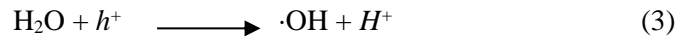


2. Pembentukan Radikal Aktif

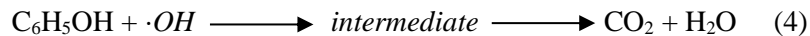
a. Hole ( $h^+$ ) mengoksidasi air:



b. Elektron ( $e^-$ ) mereduksi oksigen terlarut:



3. Pemutusan Ikatan Senyawa Fenol oleh Radikal Aktif



Terjadinya peningkatan kadar fenol di menit ke-120 pada kedua massa 0,5 gram dan 0,75 gram ini menunjukkan adanya desorpsi senyawa fenol yang tadinya menempel di permukaan mulai terlepas atau ketidakmampuan jumlah katalis yang terbatas untuk melanjutkan degradasi. Hal ini membuktikan semakin lama waktu kontak, degradasi bisa mengalami peningkatan, dikarenakan radikal OH yang dihasilkan akan berkombinasi membentuk  $\text{H}_2\text{O}_2$  [6].

Jumlah fotokatalis yang terlalu banyak dengan volume limbah yang tetap yaitu 250 ml pada penelitian ini dapat menyebabkan interaksi tidak sempurna dan terjadi aglomerasi sehingga mengalami kejenuhan larutan yang menyebabkan absorbansi menjadi besar sehingga kadar fenol mengalami peningkatan dan mengurangi kemampuan ZnO-zeolit dalam mendegradasi fenol [6]. Efisiensi degradasi dapat dihitung menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut [21]:

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (5)$$

Keterangan:

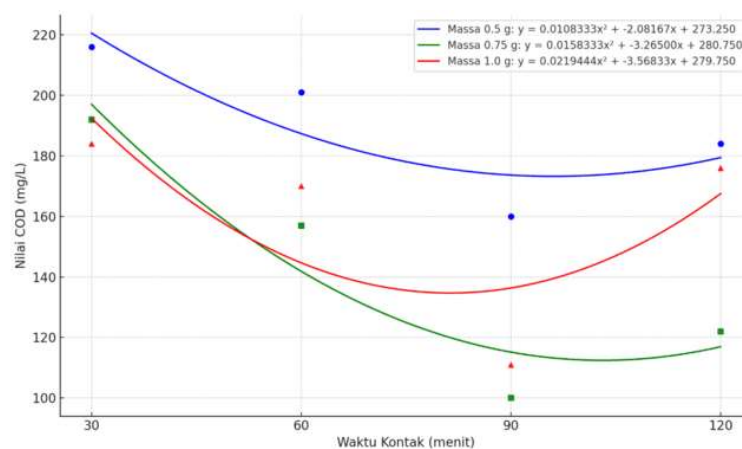
$C_0$  = konsentrasi awal senyawa (sebelum proses degradasi)

$C_t$  = konsentrasi senyawa setelah proses degradasi pada waktu tertentu

Kondisi paling optimal untuk fotokatalisis pada senyawa fenol dalam limbah cair tekstil ditunjukkan pada variasi massa ZnO-Zeolit 0,75 gram dengan waktu kontak penyinaran 90 menit dengan persen degradasi mencapai 97,08%.

### 3.2.5 Pengaruh Massa Fotokatalis dan Waktu Kontak Terhadap Kadar COD

*Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik secara kimiawi dalam air limbah. Kadar COD pada limbah awal sebelum perlakuan mencapai 522 mg/L. Grafik yang tercantum pada **Gambar 8** berikut ini menunjukkan pengaruh massa fotokatalis dan waktu kontak terhadap kadar COD.



**Gambar 8.** Pengaruh Massa Fotokatalis dan Waktu Kontak Terhadap Kadar COD

Pada variasi massa 0,5 gram dan 0,75 gram, terjadi peningkatan kadar COD pada variasi menit terakhir (120 menit). Ini mengindikasikan bahwa terjadinya desorpsi karena terjadi kejenuhan/desorpsi senyawa antara yang akan terdeteksi sebagai COD. Saat terjadi desorpsi, yaitu ketika senyawa yang

sebelumnya menempel di permukaan fotokatalis terlepas dan kembali ke dalam larutan, nilai COD bisa meningkat. Jika senyawa yang terlepas adalah produk antara yang sulit diuraikan seperti hidrokuinon atau senyawa aromatik dengan klorin, maka hal ini dapat menjelaskan mengapa COD tetap tinggi, meskipun fenol utama sudah banyak berkurang [22].

Efisiensi degradasi dapat dihitung menggunakan rumus perhitungan pada Persamaan (5). Kondisi paling optimal dalam fotokatalisis pada kadar COD dalam limbah cair tekstil ditunjukkan pada variasi massa 0,75 gram dan waktu kontak penyinaran 90 menit dengan persentase degradasi mencapai 80,84%. Massa dan waktu kontak penyinaran berperan penting pada kinerja fotokatalis dalam aktivitas fotokatalitiknya. Pada studi ini, ZnO-Zeolit dipergunakan untuk mendegradasi limbah cair tekstil, dengan efisiensi degradasi ditinjau dari beberapa parameter berupa pH, kadar fenol, dan COD. Dari data dan poin-poin pembahasan diatas, variasi massa dan waktu kontak sangat berpengaruh terhadap kinerja fotokatalis ZnO-Zeolit dalam mendegradasi limbah cair tekstil. Berikut merupakan hasil analisa parameter limbah cair tekstil yang dapat dilihat pada **Tabel 5** berikut ini.

**Tabel 5.** Hasil Analisa Parameter Limbah Cair Tekstil

Parameter	Standar Baku Mutu	Sebelum Perlakuan	Sesudah Perlakuan	Satuan
pH	6-9	9,32	7,15	-
Fenol	0,5	3,769	0,110	mg/L
COD	150	522	100	mg/L

#### 4. Kesimpulan

ZnO-Zeolit sintetis yang dihasilkan terbukti termasuk nanopartikel dan memiliki kemampuan penyerapan cahaya yang optimal untuk aktivitas fotokatalitik dengan ukuran kristal yang diperoleh 16,087 nm dan nilai *bandgap* yaitu 2,98 eV. Keseimbangan antara durasi reaksi dan jumlah fotokatalis harus dijaga, karena waktu reaksi yang berada di luar rentang optimum, maupun massa fotokatalis yang tidak sesuai dosis optimum, dapat menyebabkan penurunan efisiensi proses fotokatalitik. Hasil terbaik diperoleh pada waktu kontak 90 menit dan massa fotokatalis 0,75 gram. Dengan persentase penurunan COD sebesar 80,84% dan persentase degradasi kadar fenol sebesar 97,06%, serta nilai pH mencapai 7,15.

#### 5. Daftar Singkatan

ZnO	<i>Zinc Oxide</i>
CMC	<i>Carboxymethyl Cellulose</i>
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>
eV	<i>electronvolt</i>
JCPDS	<i>Joint Committee on Powder Diffraction Standards</i>
UV	<i>Ultraviolet</i>
DRS	<i>Diffuse Reflectance Spectroscopy</i>
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>

#### 6. Referensi

- [1] R. P. Sihombing and Y. T. Sarungu, "Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil dengan Metoda Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Besi (Fe) dan Aluminum (Al)," *JC-T (Journal Cis-Trans) J. Kim. dan Ter.*, vol. 6, no. 2, pp. 11–18, Dec. 2022.
- [2] E. S. Hadi and K. K. Jasim, "Responsive UV-light Photocatalytic of Ag/ZnO Nanocomposites for Removal of Brilliant Blue Dye: As a Model for Advanced Chemical Studies," *Adv. J. Chem. Sect. A*, vol. 8, no. 3, pp. 604–614, 2025.
- [3] R. Adolph, "Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia," pp. 1–23, 2019.
- [4] F. Shihab, E. Hadisantoso, "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 ...*, vol. 15, no. 1, pp. 23–32, 2022.
- [5] S. Anggraeni, Pengaruh Penambahan Ag Terhadap Performa Dari Aktivitas Fotokatalitik ZnO Yang Disintesa Dengan Metode Pirolisa Flame. 2018.
- [6] Z. Zilfa, S. Safni, and F. Rahmi, "Penggunaan ZnO/Zeolit Sebagai Katalis Dalam Degradasi Tartrazin Secara Ozonolisis," *J. Ris. Kim.*, vol. 12, no. 1, pp. 53–64, 2021.
- [7] T. C. Raganata, H. Aritonang, and E. Suryanto, "Sintesis Fotokatalis Nano Partikel ZnO untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue," *Chem. Prog.*, vol. 12, no. 2, pp. 54–58, 2020.



- [8] A. Andini, E. P. Hadisantoso, and S. Setiadji, "Sintesis dan Karakterisasi ZnO dari Limbah Baterai dengan Templat Carboxymethyl Cellulose ( CMC )," *Pros. Semin. Nas. Kim. UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, pp. 34–40, 2023.
- [9] Y. Yuniar, T. Mawarni, P. L. Hariani, M. Faizal, and T. E. Agustina, "Degradation of Methylene Blue Dye Using ZnO/NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Photocatalyst Under Visible Light ," *Proc. 5th FIRST T1 T2 2021 Int. Conf. (FIRST-T1-T2 2021)*, vol. 9, pp. 90–95, 2022.
- [10] R. Gayatri, "Preparasi dan Karakterisasi Nanokomposit Zno-Zeolit untuk Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Tekstil Procion Red," 2020.
- [11] I. Yunita, T. Sulistyaningsih, and N. Widiarti, "Karakterisasi dan Uji Sifat Fisik Material Zeolit Modifikasi Magnetit sebagai Adsorben Ion Klorida dalam Larutan Berair," *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 8, no. 2, pp. 87–92, 2019.
- [12] S. Wibowo, K. N. Aulia Azhar, and D. A. Sahanaya, "Fotodegradasi Methylene Blue Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>/Zeolit," *War. Akab*, vol. 47, no. 1, pp. 17–21, 2023.
- [13] I. O. Wulandari, S. Wardhani, and D. Purwonugroho, "Sintesis Dan Karakterisasi Fotokatalis ZnO Pada Zeolit," *J. Akad. Kim.*, vol. 1, no. 2, pp. 241–247, 2014.
- [14] S. Sahu and P. K. Samanta, "Peak Profile Analysis of X-ray Diffraction Pattern of Zinc Oxide Nanostructure," *J. Nano- Electron. Phys.*, vol. 13, no. 5, pp. 1–4, 2021.
- [15] U. Azarria and M. Khair, "Sintesis Fotokatalis ZnO/Zeolit Dengan Aplikasinya Mengurangi Konsentrasi Rhodamine B Dalam Larutan Berair," vol. 6, no. 2, pp. 166–173, 2022.
- [16] E. W. Diyanthi, E. P. Hadisantoso, and R. Fitriyani, "Regenerasi Fotokatalis Nanopartikel ZnO dari Limbah Baterai untuk Penanganan Metil Violet," *Pros. Semin. Nas. Kim.*, pp. 19–33, 2023.
- [17] S. Ramadhani, H. Sanjaya, and Y. Yohandri, "Degradasi Zat Warna Methyl Orange dengan Katalis TiO<sub>2</sub> Menggunakan Metode Fotosonolisis," *J. Period. Jur. Kim. UNP*, vol. 12, no. 1, p. 17, 2023.
- [18] S. Wardiyati, "Pengaruh Penambahan SiO<sub>2</sub> Terhadap Karakteristik dan Kinerja Fotokatalitik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> Pada Degradasi," pp. 31–40, 2016.
- [19] A. M. Hamdan, F. Arfi, H. Risma, and K. Nisah, "Laundry Waste Treatment With Photodegradation Method Using Photocatalyst Nanoparticle TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>," *J. Aceh Phys. Soc.*, vol. 11, no. 2, pp. 59–64, 2022.
- [20] E. D. P. Wahyu and S. Wardhani, "Degradasi Metilen Biru Menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit," *Chem. Prog*, vol. 7, no. 1, pp. 29–33, 2014.
- [21] J. Prayitno *et al.*, "Degradasi Senyawa Fenol Oleh Bakteri Yang Diisolasi dari Area Pertambangan Minyak Bumi (Phenol Degradation by Bacteria Isolated from Oil-Mining Site)," *J. Teknol. Lingkungan*, vol. 17, no. 2, pp. 126–131, 2016.
- [22] K. Kasim, "Pengaruh Massa Zeolit Dan Waktu Inkubasi Limbah Cair Industri Tahu Terhadap Kadar BOD dan COD," pp. 1–42, 2018.