

Studi Pengaruh Intensitas Cahaya dan Kecepatan Pengadukan untuk Degradasi Limbah Cair Tekstil Menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit

Riski Alpina, Lety Trisnaliani, Didiek Hari Nugroho

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang

*Koresponden email: lety.trisnaliani@polsri.ac.id

Diterima: 11 Agustus 2025

Disetujui: 15 Agustus 2025

Abstract

Photocatalysis is an environmentally friendly method for treating textile wastewater. Zinc oxide (ZnO), a potential photocatalyst, can be synthesized from Zn-C battery waste, and its performance can be enhanced by adding zeolite. This study aimed to evaluate the performance of ZnO–zeolite photocatalysts derived from Zn-C battery waste and to determine the effects of UV light intensity (576, 810, and 1324 lux) and stirring speed (200, 400, 600, and 800 rpm) on textile wastewater degradation efficiency. The ZnO–zeolite composite was synthesized using the coprecipitation method. Material characterization revealed a crystal size of 16.08 nm and a bandgap energy of 2.98 eV. The results showed that increasing UV light intensity and stirring speed up to an optimal point enhanced degradation efficiency. Under optimal conditions (1324 lux and 600 rpm), COD, TSS, and pH values of 56 mg/L, 44.55 mg/L, and 7.05, respectively, were achieved. Higher light intensity promoted the formation of hydroxyl radicals, while optimal stirring maximized contact between pollutants and the catalyst surface. Conversely, excessive stirring reduced efficiency due to turbulence that impeded the adsorption process.

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

Abstrak

Fotokatalisis merupakan metode ramah lingkungan untuk mengolah limbah cair tekstil. Seng oksida (ZnO) sebagai fotokatalis dapat disintesis dari limbah baterai Zn-C dan ditingkatkan kinerjanya dengan penambahan zeolit.. Tujuan dari penelitian ini menganalisa kinerja fotokatalis ZnO-Zeolit dari limbah baterai Zn-C serta menentukan pengaruh intensitas cahaya UV (576, 810, dan 1324 lux) dan kecepatan pengadukan (200, 400, 600, dan 800 rpm) terhadap efisiensi degradasi limbah tekstil. Metode kopresipitasi digunakan dalam proses ZnO-zeolit. Karakterisasi material menunjukkan ukuran kristal sebesar 16,08 nm dengan energi celah pita 2,98. Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan intensitas cahaya UV dan kecepatan pengadukan hingga batas optimum mampu meningkatkan degradasi. Pada intensitas cahaya 1324 lux dan kecepatan pengadukan 600 rpm, diperoleh hasil yang paling efisien dengan nilai COD 56 mg/l; TSS 44,55 mg/l dan pH 7,05. Peningkatan intensitas cahaya meningkatkan jumlah radikal hidroksil yang terbentuk, sedangkan pengadukan optimal memperbesar peluang kontak antara polutan dan permukaan katalis. Kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi menyebabkan penurunan efisiensi karena turbulensi yang menghambat proses adsorpsi.

Kata Kunci: *limbah teknis, fotokatalis, limbah baterai, zno-zeolit, degradasi*

1. Pendahuluan

Keberadaan industri tekstil sangat berpengaruh terhadap kemajuan ekonomi global. Tapi, proses produksinya dari pewarnaan dan pembilasan tekstil menghasilkan limbah cair bewarna yang banyak mengandung *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS) serta mengandung zat-zat sisa pewarna seperti fenol, sulfida, dan logam. Kontaminan ini berasal dari zat warna yang tidak larut sempurna terdiri dari senyawa organik yang sulit terurai secara alami sehingga dapat berpotensi mencemari sumber air yang mengakibatkan dampak lingkungan, seperti kualitas air dan ekosistem perairan [1]. Permasalahan yang ditumbulkan, perlu adanya upaya yang tepat dengan pengembangan teknologi yang efisien untuk mengurangi dampak tersebut.

Salah satu teknologi yang potensial adalah metode fotokatalisis dengan proses menguraikan senyawa berbahaya menjadi senyawa yang lebih sederhana menggunakan energi cahaya (foton) dengan bantuan katalis semikonduktor [2]. ZnO merupakan semikonduktor yang telah banyak digunakan karena bersifat *inert*, memiliki celah pita yang kecil, kemampuan oksidasi tinggi, dan tidak beracun [3]. Fotokatalis

memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode pengolahan limbah konvensional karena dapat mendegradasi polutan dalam efisiensi tinggi dan memiliki potensi aplikasi yang luas dalam berbagai jenis limbah cair industri dan domestik.

Seng oksida (ZnO) dapat disintesis dari lempeng seng yang ada pada lapis kedua limbah baterai Zn-C terdapat kandungan zinc (Zn) yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku pembuatan material ZnO sebagai fotokatalis yang efektif dalam pemurnian air limbah maupun dalam mengurangi pencemaran lingkungan [4]. Namun, material ZnO memiliki keterbatasan karena hanya mampu menyerap cahaya pada sinar ultraviolet. Untuk meningkatkan fotokatalis ZnO diperlukan penambahan atau material lain sehingga ukuran partikel menjadi semakin luas yang dapat membantu kinerja fotokatalis agar lebih efektif dalam pengolahan limbah dengan mendukung ZnO sebagai katalis yaitu zeolit [5].

Meskipun ZnO telah digunakan secara luas dalam aplikasi fotokatalis sebagai semikonduktor, tetapi belum banyak penelitian tentang pembuatan senyawa ZnO dari limbah baterai untuk menjadi semikonduktor dan juga penambahan Zeolit sebagai pendukung. Bahkan untuk pengaplikasian dalam degradasi limbah tekstil. Penelitian sebelumnya hanya sintesis dan karakteristik ZnO dengan pemanfaatan limbah baterai [4], namun belum mengaplikasikannya untuk degradasi limbah cair.

Dengan melakukan penelitian yang bertujuan mengeksplor metode yang lebih berkelanjutan dengan memanfaatkan limbah baterai sebagai sumber ZnO dengan penambahan Zeolit yang membuat kinerja ZnO jauh lebih efektif lagi dalam penyerapan tetapi juga melihat pengaruh dalam pengaplikasian ke limbah tekstil untuk mengetahui apakah ZnO yang di buat dengan menggunakan limbah baterai dapat mendegradasi limbah tekstil dengan baik atau tidak.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 2 bulan yaitu pada Mei s/d Juli 2024 di Laboratorium Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang. Adapun dua jenis variabel yang terdapat dalam penelitian ini yaitu variabel tetap dan variabel bebas, variabel tetap mencakup volume air limbah 100 ml, massa ZnO -zeolit 0,75 gram, dan waktu kontak 60 menit, sedangkan variabel bebas meliputi intensitas cahaya dari daya lampu UV (10, 15, dan 20 watt) dan kecepatan pengadukan (200, 400, 600, and 800 rpm). Berikut ini akan dijelaskan terkait dengan tahapan-tahapan yang ada dalam penelitian ini.

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah erlenmeyer, gelas kimia, kertas pH, *hotplate*, *magnetic stirrer*, kertas saring, dan pengadukan. Untuk bahan yang digunakan adalah lempeng dari limbah baterai Zn-C, HCl, NaOH, zeolit sintesis jenis Y, dan aquades.

2.2 Sintesis ZnO

Lempeng Zn yang ada pada lapisan kedua limbah baterai Zn-C diambil setelah itu dibersihkan menggunakan air deionisasi dilanjutkan lagi dengan direndam dalam larutan HCl 1 M selama 10-15 menit untuk menghilangkan kotoran dan sisa Mn yang masih ada pada lempeng. Kemudian lempeng dipotong kecil untuk memudahkan proses pelarutan yang didapat sebanyak 36 gram. Pada **Gambar 1** dapat dilihat lempeng Zn sebelum dan setelah preparasi. Lempeng Zn dilarutkan dalam 250 mL HCl pekat 37%, sambil diaduk dengan kecepatan 700 rpm dan dipanaskan pada suhu 80°C selama 2 jam untuk membentuk larutan $ZnCl_2$.



Gambar 1. (a) Baterai ABC; (b) Lapisan kedua baterai; (c) Lempeng Zn; (d) Potongan lempeng Zn

Setelah semua Zn telah larut dalam HCl menjadi larutan $ZnCl_2$ dilakukan penyaringan untuk memisahkan dari partikel pengotor yang masih terikut. Larutan diendapkan menggunakan NaOH 6 M hingga mencapai pH 10 membentuk endapan berwarna putih yaitu ZnO , lalu endapan disaring dan dicuci dengan air deionisasi hingga pH netral dilakukan pengeringan dalam oven pada suhu 110°C selama 3 jam,

kemudian dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu 400°C selama 3 jam dan didapat sebuk ZnO sebanyak 28,99 gram.

2.3 Sintesis ZnO-Zeolit

Serbuk ZnO hasil sintesis dan zeolit sintesis Y dicampurkan dengan perbandingan 1:1 secara massa. Larutan HCl 0,5 M disiapkan dalam 350 mL. ZnO ditambahkan ke dalam larutan sambil diaduk selama 15 menit, lalu zeolit ditambahkan sedikit demi sedikit kedalam larutan diaduk hingga homogen dengan pH dijaga agar tidak <4 untuk mencegah kerusakan struktur zeolit. Larutan NaOH 1 M dalam 250 mL ditambahkan sedikit demi sedikit hingga pH mencapai maksimal 10, kemudian larutan dilakukan proses pengendapan dan distribusi ZnO ke dalam pori-pori zeolit yang didiamkan selama 24 jam. Endapan disaring dan dicuci dengan air deionisasi hingga pH netral, lalu dikeringkan pada suhu 110°C selama 3 jam, dilanjutkan kembali dengan kalsinasi pada suhu 400°C selama. Hasil serbuk ZnO-zeolit dapat dilihat pada **Gambar 2** dengan berat sebanyak 50,65 gram.



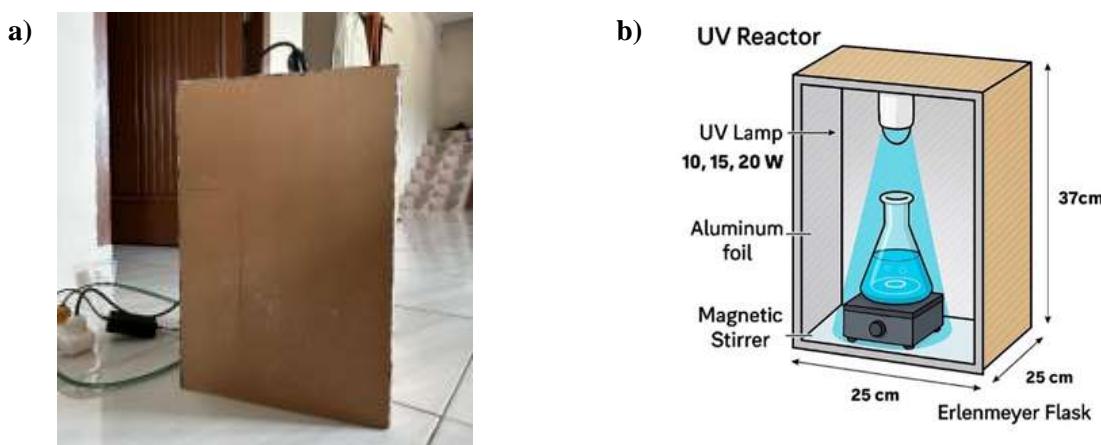
Gambar 2. ZnO-Zeolit Sintesis

2.4 Karakterisasi Hasil Sintesis

ZnO-Zeolit hasil sintesis dilakukan karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Diffuse Reflectance Spectroscopy UV-Vis* (DRS UV-Vis). XRD yang bertujuan untuk menentukan struktur kristal, ukuran kristalinitas, dan kualitas kristal, sedangkan DRS UV-Vis bertujuan untuk mengetahui besarnya energi celah pita (*bandgap*) yang ada pada ZnO-Zeolit sintesis.

2.5 Uji Aktivitas Fotokatalis ZnO-Zeolit Pada Limbah Cair Tekstil

Limbah cair teksil yang telah diencerkan diambil sebanyak 100 ml kemudian ditambahkan fotokatalis ZnO-Zeolit sebanyak 0,75 gram dengan kecepatan pengadukan yang telah ditentukan dengan waktu kontak 60 menit menggunakan variasi penyinaran lampu UV yang juga telah ditentukan. Proses pengaplikasian fotokatalis ZnO-Zeolit ke limbah cair tekstil menggunakan reaktor uv sederhana dan untuk ilustrasi didalam reaktor dapat dilihat pada **Gambar 3** berikut ini.



Gambar 3. (a) Reaktor UV Sederhana, (b) Ilustrasi Skema Reaktor UV

2.6 Uji Kadar pH, COD, dan TSS pada Limbah Cair Tekstil

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

Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang dan uji kadar 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 dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut.

Tabel 1. Hasil Analisis Karakteristik ZnO-Zeolit

Karakteristik	Hasil
XRD	16,08 nm
DRS-UV	2,98 eV

Berikut merupakan hasil analisis sampel limbah cair tekstil sebelum perlakuan yang dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut.

Tabel 2. Hasil Analisis Awal Limbah Cair Tekstil

Pengujian	Standar Baku Mutu Limbah Tekstil (mg/L)	Hasil (mg/L)
COD	150	522,4
TSS	50	260
Fenol	0,5	0,808
pH	6-9	9,39

Kemudian setelah selesai melakukan analisis limbah cair tesktil awal, selanjutnya dilakukan juga analisis akhir limbah cair tekstil setelah perlakuan yang dapat dilihat pada **Tabel 3** dibawah ini.

Tabel 3. Hasil Akhir Analisis Limbah Cair Tekstil

Intensitas Cahaya UV (Lux)	Kecepatan pengadukan (rpm)	Sampel	Hasil		
			COD	TSS	pH
576	200	S1	184	129,6	7,37
	400	S2	148	100,2	7,28
	600	S3	120	64,8	7,14
	800	S4	156	86,4	7,27
810	200	S5	152	105,3	7,36
	400	S6	128	81,9	7,16
	600	S7	106	52,65	7,12
	800	S8	134	70,2	7,26
1324	200	S9	122	89,1	7,34
	400	S10	82	69,3	7,24
	600	S11	56	44,55	7,05
	800	S12	138	59,4	7,26

Dari data hasil pengukuran intensitas cahaya dapat dilihat bahwa semakin besar daya lampu UV maka semakin besar pula intensitas cahaya yang akan didapatkan. Data intensitas cahaya dapat dilihat pada **Tabel 4** berikut.

Tabel 4. Data Intensitas Cahaya

Daya Lampu (Watt)	Intensitas Cahaya (Lux)
10	576
15	810
20	1324

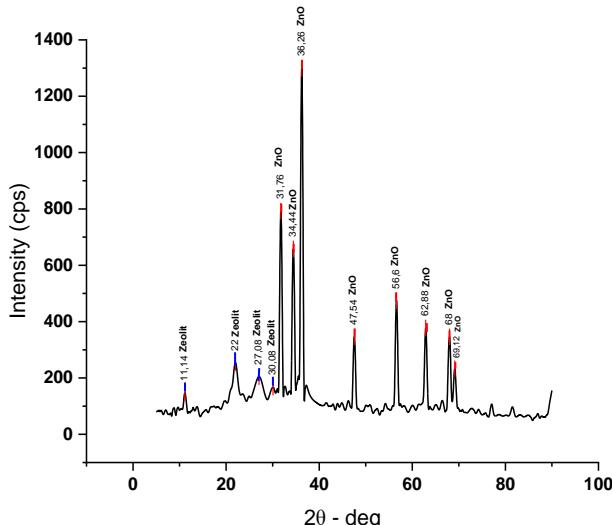
Pengukuran intensitas cahaya dilakukan dengan jarak pemaparan 10 cm dari lampu UV menuju ke permukaan sampel (limbah tekstil dan fotokatalis ZnO-Zeolit). Menurut penelitian sebelumnya jarak pemaparan optimum yang dicapai yaitu 10 cm [6]. Hasil pengukuran intensitas cahaya menggunakan

aplikasi lux meter pada *smartphone* yang dilakukan menggunakan 3 *smartphone* yang berbeda untuk mengetahui perbedaannya dan didapat hasil rata-rata dari hasil pengukuran tersebut.

3.2 Pembahasan

3.2.1 Karakterisasi ZnO-Zeolit Menggunakan XRD

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



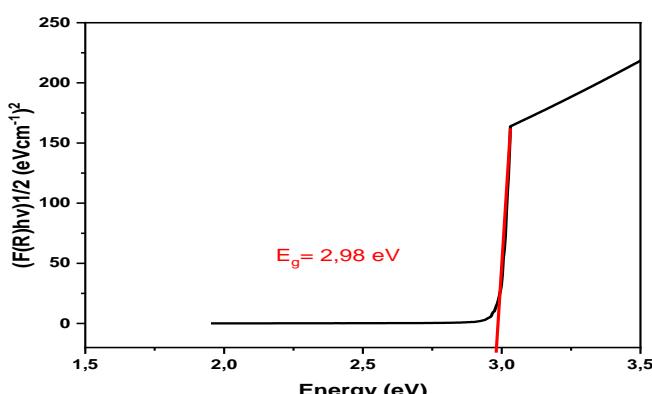
Gambar 4. Struktur Kristal ZnO-Zeolit

Berdasarkan dari grafik yang telah tersaji diatas dapat dilihat bahwa material hasil sintesis mengandung dua fasa kristalinitas yaitu ZnO-Zeolit jenis Y. Dimana keberadaan material ini dipastikan melalui puncak-puncak difraksi yang dihasilkan. Puncak difraksi ZnO terlihat pada intensitas tinggi pada sudut 2θ di sekitar 31,76°; 34,44°; 36,26°; 47,54°; 56,60° ; 62,88° ; 68,00°; dan 69,12°. Poli difraksi diatas menunjukkan kesesuaian standar ZnO dengan struktur *heksagonal wurtzite* dari referensi standar JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) No. 36-1451 [7]. Adapun intensitas yang lebih rendah pada sudut difraksi 2θ yaitu 11,14°; 22,00°; 27,08°; dan 30,08° dengan struktur kristal *faujasite* khas dari zeolit sesuai dengan standar JCPDS No. 28-0230 [8].

Untuk menghitung ukuran kristal dari nanopartikel ZnO-Zeolit dapat menggunakan persamaan *Debye Scherrer* [9] dan didapat hasil ukuran kristal rata-rata ZnO-Zeolit sebesar 16,08 nm, sedangkan studi sebelumnya ukuran krital rata-rata ZnO murni sebesar 19,52 nm [10] yang artinya zeolit mempengaruhi pembentukan kristal ZnO membuat ukuran kristal menjadi lebih kecil dan tersebar secara merata.

3.2.2 Karakterisasi ZnO-Zeolit Menggunakan DRS UV-Vis

DRS UV-Vis dilakukan untuk menentukan energi celah pita (*bandgap*) dsri material. Hasil analisis karaterisasi DRS UV-Vis dari Fotokatalis ZnO-Zeolit dapat dilihat pada **Gambar 5** berikut.

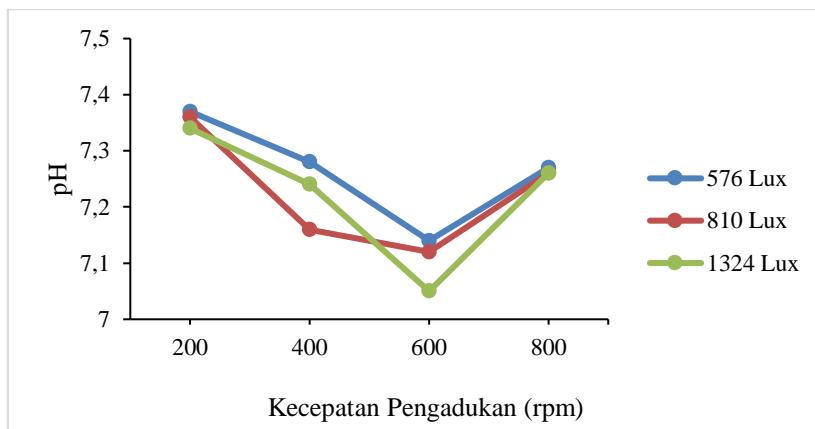


Gambar 5. Grafik Bandgap ZnO-Zeolit

Grafik diatas didapat menggunakan perhitungan persamaan faktor Kubelka-Munk [4] diperoleh nilai bandgap dari ZnO-Zeolit sebesar 2,98 eV dibandingkan dengan ZnO yang memiliki bandgap 3,37 eV [11], nilai yang didapat menunjukkan penambahan zeolit yang berpori dengan luas permukaan yang tinggi mempengaruhi ukuran kristal dan memperluas penyerapan cahaya pada rentang yang lebih luas sehingga meningkatkan kinerja fotokatalis [12].

3.2.3 Analisa pH pada Limbah Cair Tekstil

Nilai pH menunjukkan konsentrasi ion hidrogen (H^+) yang ada didalamnya, yang berfungsi sebagai indikator tingkat keasaman atau kebasaan larutan [13]. Grafik pada **Gambar 6** berikut ini merupakan pengaruh intensitas cahaya dan kecepatan pengadukan terhadap nilai pH.



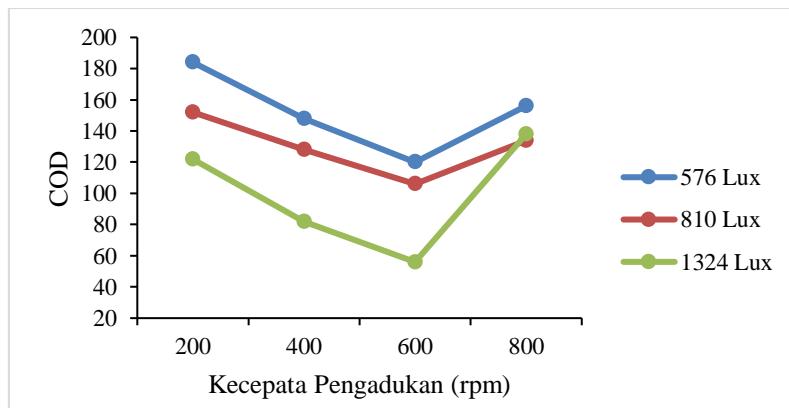
Gambar 6. Pengaruh Intensitas Cahaya dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Nilai pH

Nilai pH awal pada limbah cair tekstil sebesar 9,39. Terjadi penurunan pH pada setiap variasi intensitas cahaya UV yang semakin tinggi [14]. Hal ini disebabkan karena banyaknya energi yang tersedia menghasilkan pasangan elektron-hole di permukaan ZnO sehingga meningkatkan jumlah hidroksil dan ion H^+ . terjadi penurunan pH pada intensitas cahaya 1324 lux di kecepatan 600 rpm mencapai pH 7,05.

Kecepatan pengadukan 600 rpm terjadi penurunan pH paling signifikan. Hal ini karena pada transfer massa lebih efektif membuat proses fotodegradasi maksimal dengan pencampuran partikel ZnO-Zeolit dengan limbah membuat kontak antara fotokatalis dan polutan meningkat. Berbeda dengan kecepatan 800 rpm mengalami kenaikan diduga akibat turbulensi berlebihan yang menyebabkan desorpsi ion OH^- dari permukaan katalis atau pembentukan senyawa basa dari degradasi zat warna [15].

3.2.4 Analisa COD pada Limbah Cair Tekstil

Chemical Oxygen Demand (COD) Adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik secara kimia dalam air limbah [16]. Kadar COD pada limbah awal 522 mg/L. Setelah perlakuan intensitas cahaya 1324 lux dengan kecepatan pengadukan 600 nilai COD terjadi penurunan sebesar 56 mg/l dengan persentase penurunan sebesar 89,28%. Grafik pada **Gambar 7** berikut menunjukkan pengaruh intensitas cahaya dan kecepatan pengadukan terhadap kadar COD.



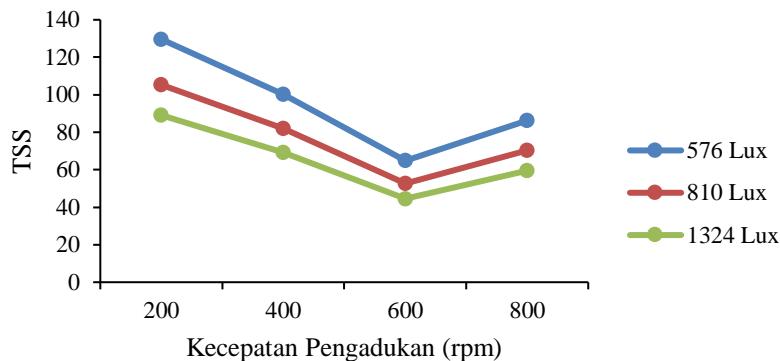
Gambar 7. Pengaruh Intensitas Cahaya dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Kadar COD

Dari grafik diatas dapat dilihat variasi peningkatan intensitas cahaya dapat menurunkan nilai COD pada hampir setiap variasi kecepatan pengadukan. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas cahaya yang lebih tinggi mampu meningkatkan kinerja fotokatalis. Semakin tinggi intensitas cahaya, maka semakin banyak pasangan elektron-hole (e^-/h^+) yang terbentuk [6]. Energi foton dari sinar UV menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi, sehingga meninggalkan *hole* (h^+) di permukaan fotokatalis. *Hole* tersebut kemudian bereaksi dengan molekul air atau ion hidroksida (OH^-) membentuk radikal hidroksil, yang berperan sebagai agen oksidator dalam proses degradasi senyawa organik.

Nilai COD mengalami penurunan seiring peningkatan kecepatan pengadukan dari 200 rpm hingga 600 rpm untuk semua intensitas cahaya, menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan meningkatkan efisiensi degradasi. Kecepatan pengadukan antara 400 hingga 600 rpm membantu mendistribusikan katalis dan polutan secara merata, sehingga memperbesar peluang kontak antara polutan dengan permukaan aktif katalis. Tetapi, pada kecepatan 800 rpm, nilai COD mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan oleh turbulensi berlebih yang dapat mengganggu sistem. Pengadukan terlalu cepat menyebabkan desorpsi senyawa yang telah teradsorpsi, waktu kontak polutan dengan katalis jadi lebih singkat, serta mengakibatkan hamburan cahaya (*light scattering*) yang mengurangi intensitas cahaya UV yang efektif pada permukaan katalis [15].

3.2.5 Analisa TSS pada Limbah Cair Tekstil

Total Suspended Solids (TSS) merupakan padatan yang terdapat pada air dengan ukuran partikel maksimal 2 μm atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. TSS mencakup berbagai material seperti lumpur, tanah liat, bakteri, dan jamur [17]. Grafik pada **Gambar 8** berikut menunjukkan pengaruh intensitas cahaya dan kecepatan pengadukan terhadap kadar TSS.



Gambar 8. Pengaruh Intensitas Cahaya dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Kadar TSS

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat variasi intensitas cahaya UV dan kecepatan pengadukan menunjukkan penurunan konsentrasi sesuai baku mutu. Nilai terendah diperoleh pada 1324 lux dan 600 rpm, yaitu 44,55 mg/L dengan persentase efisiensi 82,87%. Kecepatan ini menjadi titik optimum karena meningkatkan transfer massa dan interaksi partikel dengan permukaan ZnO-zeolit, serta memaksimalkan peran zeolit sebagai adsorben melalui aglomerasi dan adsorpsi [12].

Pada 200 rpm, kontak partikel dengan katalis terbatas sehingga efisiensi rendah [18]. Sebaliknya, pada 800 rpm terjadi turbulensi berlebih yang memicu re-suspensi partikel, menurunkan efisiensi [15]. Peningkatan intensitas cahaya memperbanyak radikal hidroksil yang terbentuk dari aktivasi ZnO-zeolit, sehingga mempercepat degradasi fraksi organik dalam TSS [14]. Pada studi ini, fotokatalis ZnO-Zeolit digunakan untuk mendegradasi limbah cair tekstil, dengan efisiensi degradasi ditinjau dari beberapa parameter seperti pH, COD, dan TSS. Dari data dan pembahasan diatas, Kondisi optimal didapat pada intensitas cahaya 1324 lux dengan kecepatan pengadukan 600 rpm, hal ini dapat dilihat pada **Tabel 5** berikut ini.

Tabel 5. Hasil Analisa Parameter Limbah Cair Tesktil

Parameter	Standar Baku Mutu Limbah Tekstil (mg/l)	Limbah Awal Sebelum perlakuan	Setelah perlakuan
pH	6-9	9,39	7,05
COD	150	522,4	56
TSS	50	260	44,55

4. Kesimpulan

Material fotokatalis ZnO-Zeolit berhasil di sintesis menggunakan metode kopresipitasi dan memiliki sifat karakteristik yang mendukung aktivitas fotokatalitik. Hasil XRD menunjukkan ukuran kristal sebesar 16,08 nm, dan hasil DRS Uv-Vis menunjukkan nilai energi celah pita sebesar 2,98 eV lebih rendah dari ZnO murni 3,37 eV.

Intensitas cahaya UV dan kecepatan pengadukan memiliki pengaruh penting terhadap aktivitas fotokatalis ZnO-Zeolit dalam degradasi limbah tekstil. Intensitas cahaya 1324 lux dengan kecepatan 600 rpm menunjukkan persentase efisiensi penurunan tertinggi mencapai 89,28 % untuk COD, TSS 82,87% dan pH 7.

5. Daftar Singkatan

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

6. Referensi

- [1] Z. Chen, W. Wei, H. Chen, and B. J. Ni, “Recent advances in waste-derived functional materials for wastewater remediation,” *Eco-Environment Heal.*, vol. 1, no. 2, pp. 86–104, 2022, doi: 10.1016/j.eehl.2022.05.001.
- [2] T. Mawarni *et al.*, “Degradasi Zat Warna Rhodamin B Menggunakan Sintesis Fotokatalis Zno/Nife 2 O 4 Dan Diaplikasikan Pada Limbah Cair Industri Pulp Dan Kertas,” *J. Kinet.*, Vol. 12, No. 03, Pp. 44–50, 2021, [Online]. Available: <Https://Jurnal.Polsri.Ac.Id/Index.Php/Kimia/Indextelp>.
- [3] Zilfa, R. Zein, and T. Nurhayatul Rahmi, “Pemanfaatan Zeolit Alam Clinoptilolite-Ca Sebagai Pendukung Katalis Zno Untuk Mendegradasi Zat Warna Methyl Orange Dengan Metoda Fotolisis,” *J. Res. Educ. Chem.*, Vol. 5, No. 1, P. 24, 2023, Doi: 10.25299/Jrec.2023.Vol5(1).12505.
- [4] 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.
- [5] N. Fikriandini And M. Khair, “Penentuan Celah Pita Katalis Zno/Zeolit Yang Disintesis Dengan Metoda Sonikasi,” *Cheds J. Chem. Educ. Sci.*, Vol. 7, No. 1, Pp. 40–44, 2023, Doi: 10.30743/Cheds.V7i1.6609.
- [6] R. K. Haryo Putro, “Degradasi Surfaktan (Linear Alkyl Benzene) Pada Limbah Laundry Dengan Metode Fotokatalis Zno,” *J. Envirotek*, Vol. 11, No. 1, Pp. 25–30, 2019, Doi: 10.33005/Envirotek.V11i1.1362.
- [7] Nazriati And S. S. Wahidah, “Sintesis Zno/Silika Xerogel Dan Aplikasinya,” *Inov. Tek. Kim.*, Vol. 8, No. 4, Pp. 261–266, 2023.
- [8] F. D. S. Sriatun, Taslimah, Erwin Nur Cahyo, “Sintesis Dan Karakterisasi Zeolit Y,” Vol. 20, No. 1, Pp. 19–24, 2017.
- [9] U. Azarria And M. Khair, “Sintesis Fotokatalis Zno / Zeolit Dengan Aplikasinya Mengurangi Konsentrasi Rhodamine B Dalam Larutan Berair S,” Vol. 6, No. 2, Pp. 166–173, 2022.
- [10] K. Evawati And S. Sutoyo, “Synthesis And Characterization Of Zno Nanoparticles Using The Duwet (*Syzygium Cumini*) Leaves Extract As Bioreductor,” *J. Pijar Mipa*, Vol. 20, No. 1, Pp. 168–172, 2025, Doi: 10.29303/Jpm.V20i1.7928.
- [11] T. C. Raganata, H. Aritonang, And E. Suryanto, “Sintesis Fotokatalis Nanopartikel Zno Untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue,” *Chem. Prog.*, Vol. 12, No. 2, Pp. 54–58, 2020, Doi: 10.35799/Cp.12.2.2019.27923.
- [12] O. Kabadayi, E. Altintig, And G. Ballai, “Zeolite Supported Zinc Oxide Nanoparticles Composite: Synthesis, Characterization, And Photocatalytic Activity For Methylene Blue Dye Degradation,” *Desalin. Water Treat.*, Vol. 319, P. 100433, 2024, Doi: 10.1016/J.Dwt.2024.100433.
- [13] Y. Liu *Et Al.*, “Environmental Impacts And Biological Technologies Toward Sustainable Treatment Of Textile Dyeing Wastewater: A Review,” *Sustain.*, Vol. 16, No. 24, 2024, Doi: 10.3390/Su162410867.

-
- [14] S. Wardhani, A. Bahari, And M. Misbah Khunur, "Aktivitas Fotokatalitik Beads Tio2-N/Zeolit-Kitosan Pada Fotodegradasi Metilen Biru (Kajian Pengembangan, Sumber Sinar Dan Lama Penyinaran)," *J. Enviromental Eng. Sustain. Technol.*, Vol. 3, No. 2, Pp. 78–84, 2016, Doi: 10.21776/Ub.Jeest.2016.003.02.2.
 - [15] Perdana, Nadhir Dicky, Sri Wardhani, and Muhammad Misbah Khunur. *Pengaruh Penambahan Hidrogen Peroksida (H₂O₂) Terhadap Degradasi Methylene Blue Dengan Menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit*. Diss. Brawijaya University, 2014.
 - [16] M. R. Harahap, D. L. Amanda, And H. A. Matondang, "Analisis Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Dan TSS (Total Suspended Solid) Pada Limbah Cair Dengan Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis," *Amina*, Vol. 2, No. 2, Pp. 79–83, 2020.
 - [17] M. F. Natsir, Amaludin, A. A. Liani, And A. D. Fahsa, "Analisis Kualitas Bod, Cod, Dan Tss Limbah Cair Domestik (Grey Water) Pada Rumah Tangga Di Kabupaten Maros 2021," *J. Nas. Ilmu Kesehat.*, Vol. 1, No. 2, Pp. 1–16, 2021.
 - [18] E. W. P. Dini And S. Wardhani, "Degradasi Metilen Biru Menggunakan Fotokatalis Zno-Zeolit," *Chem. Prog*, Vol. 7, No. 1, Pp. 29–33, 2014.