



## Evaluasi Efektivitas Fotokatalisis $TiO_2$ dan $H_2O_2$ terhadap Pengolahan Limbah Cair dari Industri Tahu

*Evaluation of the Effectiveness of  $TiO_2$  and  $H_2O_2$  Photocatalysis in the Treatment of Wastewater from the Tofu Industry*

Ahjul Meta Kholjana<sup>1</sup>, Rully Masriyatini<sup>1</sup>, Husnah<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Palembang

Jl. Jend. A. Yani 9/10 Ulu, Kota Palembang, 30251

\*Corresponding Author: [husnahpgri@gmail.com](mailto:husnahpgri@gmail.com)

Received: 6<sup>th</sup> August 2025; Revised: 29<sup>th</sup> December 2025; Accepted: 30<sup>th</sup> December 2025

### ABSTRAK

Industri tahu di Indonesia berperan signifikan dalam pertumbuhan ekonomi, namun turut menyumbang pencemaran lingkungan akibat limbah cair yang dihasilkannya. Limbah tersebut mengandung senyawa organik dan anorganik, termasuk BOD, COD, TSS, serta nilai pH yang tidak memenuhi baku mutu air limbah, sehingga berpotensi mencemari ekosistem perairan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas fotokatalisis  $TiO_2$ - $H_2O_2$  yang diaktifasi sinar UV-C dan sinar matahari, dalam menurunkan parameter pencemar pada limbah cair hasil produksi tahu. Proses dilakukan dengan konsentrasi tetap  $TiO_2$  sebesar 50 mg/L dan  $H_2O_2$  sebanyak 140 mL per 1000 mL limbah, serta waktu kontak yang divariasikan antara 30 hingga 60 menit. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi  $TiO_2$  dan  $H_2O_2$  mampu menurunkan kadar COD hingga 84,78%, BOD sebesar 76,75%, dan TSS sebesar 78,37%, serta meningkatkan nilai pH mendekati ambang batas standar kualitas air. Perlakuan dengan sinar matahari selama 60 menit menghasilkan efisiensi degradasi tertinggi. Dengan demikian, fotokatalisis  $TiO_2$ - $H_2O_2$  berpotensi menjadi metode alternatif yang efektif, ramah lingkungan, dan ekonomis dalam pengolahan limbah cair industri tahu.

Kata Kunci: Fotokatalisis,  $TiO_2$ ,  $H_2O_2$ , Limbah cair tahu, Sinar matahari

### ABSTRACT

*The tofu industry in Indonesia significantly contributes to the national economy but also poses environmental challenges due to the liquid waste it generates. This wastewater contains organic and inorganic pollutants such as BOD, COD, TSS, and pH levels that do not meet effluent quality standards, potentially harming aquatic ecosystems. This study aims to evaluate the effectiveness of a photocatalytic process using titanium dioxide ( $TiO_2$ ) and hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ), activated by artificial UV-C light and sunlight, in reducing pollutants in tofu industrial wastewater. The treatment was conducted with a fixed concentration of 50 mg/L  $TiO_2$  and 140 mL  $H_2O_2$  per 1000 mL of wastewater, with contact times ranging from 30 to 60 minutes. Results showed that the  $TiO_2$ - $H_2O_2$  combination reduced COD by up to 84.78%, BOD by 76.75%, and TSS by 78.37%, while increasing the pH toward acceptable limits. The optimal degradation occurred under sunlight exposure for 60 minutes. This method offers a promising, eco-friendly, and cost-effective wastewater treatment solution.*

Keywords: Photocatalysis,  $TiO_2$ ,  $H_2O_2$ , Tofu wastewater, Sunlight

Copyright © 2026 by Authors, Published by JITK. This is an open-access article under the CC BY-SA License (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>).

How to cite: Meta Kholjana, A., Masriyatini, R., & Husnah. Evaluasi Efektivitas Fotokatalisis  $TiO_2$  dan  $H_2O_2$  terhadap Pengolahan Limbah Cair dari Industri Tahu. Jurnal Ilmiah Teknik Kimia, 10(1).

Permalink/DOI: [10.32493/jitk.v10i1.52500](https://doi.org/10.32493/jitk.v10i1.52500)



## PENDAHULUAN

Tahu adalah produk olahan kedelai asal Tiongkok dan telah menjadi konsumsi utama masyarakat Indonesia karena kandungan nutrisinya yang tinggi dan harga yang relatif terjangkau (Verawati, Aida and Aufa, 2019). Peningkatan konsumsi tahu mendorong peningkatan produksi secara signifikan, yang secara langsung berdampak pada meningkatnya volume limbah, khususnya limbah cair (Sitasari and Khoironi, 2021). Limbah cair produksi tahu berasal dari proses perebusan dan pencucian, mengandung pencemar organik dan anorganik seperti COD, BOD, TSS, serta pH yang melebihi baku mutu limbah industri (Analisa, 2022).

Pembuangan limbah cair tanpa pengolahan yang memadai berpotensi menurunkan kualitas badan air, menyebabkan eutrofikasi, mengganggu kehidupan organisme akuatik, bahkan berdampak negatif terhadap kesehatan manusia. Di beberapa lokasi, praktik pembuangan langsung ke sungai tanpa proses filtrasi atau pengolahan masih sering ditemukan, yang memperburuk pencemaran lingkungan (Shaskia and Yunita, 2024).

Fotokatalisis merupakan salah satu metode pengolahan limbah yang bersifat ramah lingkungan dan memiliki potensi aplikatif tinggi, yang termasuk dalam kategori Advanced Oxidation Process (AOP). Metode ini memanfaatkan energi dari sinar ultraviolet (UV) atau sinar matahari untuk mengaktifkan material semikonduktor seperti titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) guna menghasilkan radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ) yang sangat reaktif dalam proses degradasi polutan organik. Aktivasi ini menghasilkan pasangan elektron-lubang ( $e^-/\text{h}^+$ ) yang akan membentuk ( $\cdot\text{OH}$ ), senyawa yang sangat reaktif dalam mengoksidasi polutan organik (Haryo Putro, 2019). Namun demikian, pada konsentrasi polutan tinggi, efisiensi degradasi oleh  $\text{TiO}_2$  saja seringkali belum optimal.

Penambahan hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) sebagai oksidator anorganik dapat meningkatkan pembentukan radikal  $\cdot\text{OH}$  melalui proses fotolisis, sehingga mempercepat reaksi degradasi dan meningkatkan efisiensi sistem fotokatalitik. Selain menghasilkan hasil

akhir berupa air, kombinasi  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  juga diketahui minim menghasilkan residu tambahan.

Pemilihan sumber cahaya menjadi faktor penting dalam proses ini. Sinar UV-C buatan yang memiliki panjang gelombang pendek (~254 nm) terbukti efektif dalam mengaktifkan fotokatalis (Hamidatu, 2020), sementara sinar matahari menawarkan alternatif energi terbarukan yang lebih murah dan mudah diakses untuk aplikasi skala besar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas kombinasi fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  dalam menurunkan parameter pencemar utama (pH, COD, BOD, TSS) dari limbah cair industri tahu, dengan membandingkan dua sumber aktivasi cahaya, yaitu sinar UV-C buatan dan sinar matahari. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis pengaruh waktu reaksi terhadap efisiensi proses, guna memperoleh kondisi operasi optimum untuk penerapan berkelanjutan dalam pengolahan limbah industri.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini memanfaatkan berbagai peralatan, antara lain reaktor fotokatalitik berukuran  $40 \times 40 \times 45$  cm, beaker glass, gelas ukur, timbangan analitik, magnetic stirrer, hot plate, spatula, stopwatch, kaca arloji, serta dua buah lampu UV-C yang masing-masing memiliki daya sebesar 9 watt. Adapun bahan utama yang digunakan terdiri atas limbah cair dari industri tahu yang berlokasi di Plaju, Palembang, serbuk titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ), dan larutan hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) dengan konsentrasi 30%.

Dalam penelitian ini digunakan tiga kategori variabel, yaitu variabel kontrol, variabel independen, dan variabel dependen. Variabel kontrol terdiri atas volume limbah cair sebesar 1000 mL, konsentrasi  $\text{TiO}_2$  sebesar 50 mg/L, volume  $\text{H}_2\text{O}_2$  sebanyak 140 mL, serta daya lampu UV-C sebesar 9 watt. Variabel independen berupa jenis sumber cahaya (sinar UV-C buatan dan sinar matahari) dan durasi penyinaran (30 menit dan 60 menit). Adapun variabel dependen adalah perubahan kualitas limbah yang diukur berdasarkan parameter pH, COD, BOD, dan TSS.



Prosedur eksperimen diawali dengan menyiapkan 1000 mL sampel limbah cair ke dalam gelas beaker, lalu ditambahkan titanium dioksida ( $TiO_2$ ) dengan konsentrasi 50 mg/L dan 140 mL larutan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) 30%. Campuran tersebut diaduk secara merata menggunakan pengaduk magnetik dengan kecepatan 1000 rpm pada suhu 200 °C. Lampu UV ditempatkan pada jarak  $\pm 10$  cm dari permukaan reaktor untuk memastikan intensitas radiasi yang efektif dalam mengaktifkan fotokatalis  $TiO_2$  tanpa meningkatkan suhu larutan, kemudian larutan yang telah homogen dikenai proses penyinaran selama 30 dan 60 menit menggunakan reaktor fotokatalitik yang dilengkapi dengan sumber cahaya UV-C. Perlakuan serupa dilakukan untuk penyinaran menggunakan sinar matahari sebagai sumber energi alami, yang dilaksanakan pada pukul 12.00–13.00 WIB saat intensitas radiasi matahari berada pada kondisi maksimum, sehingga fraksi radiasi UV yang efektif untuk aktivasi  $TiO_2$  dapat terpenuhi serta menjaga konsistensi dan keterulangan hasil penelitian. Setelah proses fotokatalisis selesai, sampel dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas degradasi melalui pengukuran parameter pH, BOD, COD, dan TSS yang dilakukan mengacu pada *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA), di mana BOD menunjukkan kebutuhan oksigen biologis untuk degradasi senyawa organik, COD merepresentasikan kebutuhan oksigen total untuk oksidasi kimia, dan TSS menggambarkan konsentrasi padatan tersuspensi dalam limbah cair (APHA, 2017; Alfatihah et al., 2022).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil karakterisasi awal menunjukkan bahwa limbah cair dari industri tahu mengandung polutan dalam jumlah tinggi, tercermin dari nilai pH 3,94, BOD sebesar 551,7 mg/L, COD yang melebihi 1650 mg/L, dan TSS mencapai 860 mg/L. Seluruh nilai tersebut melampaui standar baku mutu yang telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 (Analisa, 2022), Hal ini menunjukkan bahwa limbah cair tersebut memiliki potensi besar

untuk mencemari lingkungan secara signifikan apabila tidak dilakukan proses pengolahan terlebih dahulu. Oleh karena itu, penerapan teknologi pengolahan limbah menggunakan metode fotokatalisis sebelum pembuangan menjadi langkah strategis dalam mencegah terjadinya pencemaran lingkungan.

Sehingga penelitian ini menggunakan metode fotokatalisis dengan menambahkan 50 mg/L  $TiO_2$  dan 140 mL  $H_2O_2$  ke dalam 1000 mL limbah cair. Perlakuan dilakukan dengan eksposur sinar UV-C buatan dan sinar matahari pada durasi waktu 30 dan 60 menit. Pada tekanan atmosfer, air mendidih pada sekitar 100 °C sehingga proses fotokatalisis tidak dilakukan pada suhu 200 °C dalam reaktor terbuka. Nilai 200 °C merepresentasikan pengaturan daya hot plate pada tahap pencampuran, bukan suhu aktual larutan, karena proses fotokatalisis berlangsung pada kondisi sub-didih dan dikendalikan oleh aktivasi cahaya (Riyani et al., 2020; Xu et al., 2021). Pemilihan metode fotokatalisis didasarkan pada kemampuannya menghasilkan radikal hidroksil ( $\bullet OH$ ) melalui proses aktivasi fotokatalis, yang sangat efektif dalam mendegradasi senyawa organik berbahaya dalam limbah. Hasil pengukuran parameter pencemar setelah perlakuan disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Pengolahan Limbah Cair Tahu Menggunakan Fotokatalisis  $TiO_2$  dan  $H_2O_2$

Sumber Cahaya	Waktu (menit)	pH	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)
Sebelum perlakuan	-	3,94	551,7	>1650	860
Tanpa Sinar	-	3,01	375,9	965,8	450
UV-C	30	4,45	317,2	912	470
UV-C	60	4,98	195,4	508	320
Matahari	30	5,71	261,4	698	366
Matahari	60	6,86	128,2	251	186
Baku mutu (PP LH No. 5 Tahun 2014)	-	6-9	150	300	200

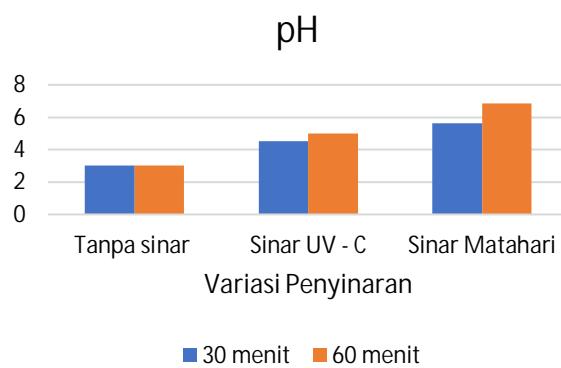
Perlakuan tanpa sinar merupakan perlakuan kontrol yang dilakukan dengan penambahan  $TiO_2$  dan  $H_2O_2$  tanpa adanya penyinaran UV maupun sinar matahari. Perlakuan ini digunakan untuk mengevaluasi



pengaruh oksidasi non-fotokatalitik serta menegaskan peran aktivasi cahaya dalam meningkatkan pembentukan radikal hidroksil ( $\bullet\text{OH}$ ) selama proses fotokatalisis (Riyani et al., 2020; Xu et al., 2021). Berdasarkan data pada Tabel 1, seluruh perlakuan menunjukkan efektivitas dalam menurunkan kadar BOD, COD, dan TSS secara signifikan, disertai peningkatan pH menuju kondisi netral.

### Peningkatan pH Limbah Cair Tahu dengan Fotokatalisis

pH awal limbah cair hasil produksi tahu tercatat sebesar 3,94, menunjukkan kondisi yang bersifat asam dan berada di luar kisaran standar pH 6–9 yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2014. Keasaman ini disebabkan oleh akumulasi asam organik, seperti asam asetat dan format, hasil proses biodegradasi oleh mikroorganisme (Widodo and Ali, 2019).



**Gambar 1.** Grafik Kenaikan Nilai pH

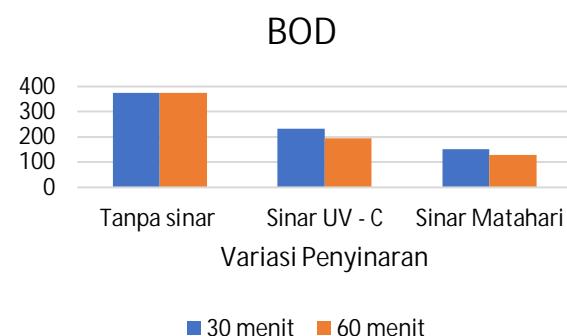
Setelah proses fotokatalisis, nilai pH limbah cair tahu meningkat menuju kondisi netral, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. perubahan pH bervariasi tergantung jenis penyinaran. Tanpa penyinaran UV, pH menurun menjadi 3,01 akibat kurangnya aktivasi fotokatalis. Penyinaran dengan UV-C meningkatkan pH secara bertahap hingga 4,98, sedangkan sinar matahari menunjukkan peningkatan tertinggi, mencapai pH 6,86 dalam 60 menit. Peningkatan ini dihasilkan oleh reaksi radikal hidroksil ( $\bullet\text{OH}$ ) yang mengoksidasi senyawa organik menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ , sehingga menurunkan keasaman larutan

(Riyani and Setyaningtyas, 2015), (Yudhistira et al., 2018).

Dengan demikian, fotokatalisis efektif meningkatkan pH limbah cair tahu, terutama pada perlakuan sinar matahari.

### Penurunan Kadar BOD Limbah Cair Tahu dengan Fotokatalisis

Nilai awal BOD limbah cair tahu sebesar 551,7 mg/L menunjukkan tingkat pencemaran organik yang tinggi dan melebihi baku mutu 150 mg/L sesuai PP No. 5 Tahun 2014 (Santoso, 2018).



**Gambar 2.** Grafik Penurunan Kadar BOD

Pengolahan menggunakan metode fotokatalisis  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$  menunjukkan penurunan nilai BOD pada seluruh perlakuan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, yang memperlihatkan tren penurunan BOD seiring dengan peningkatan durasi dan jenis penyinaran. Tanpa penyinaran, kadar BOD turun menjadi 375,9 mg/L. Dengan penyinaran UV-C selama 60 menit, BOD turun hingga 195,4 mg/L, sedangkan perlakuan menggunakan sinar matahari memberikan hasil paling efektif dengan penurunan BOD mencapai 128,2 mg/L setelah 60 menit.

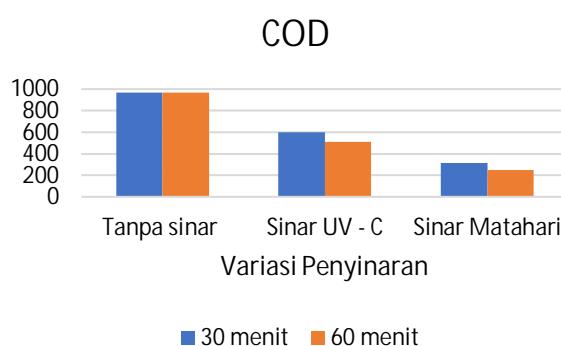
Penurunan tersebut terjadi akibat terbentuknya radikal hidroksil ( $\bullet\text{OH}$ ) yang dihasilkan melalui aktivasi  $\text{TiO}_2$  oleh energi cahaya, yang selanjutnya mampu menguraikan senyawa organik kompleks menjadi senyawa sederhana seperti karbon dioksida dan air (Yanto Rahman and Sulistyowati, 2023). Penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  mempercepat fotokatalisis dengan menghambat rekombinasi  $\text{e}^-/\text{h}^+$  pada  $\text{TiO}_2$  dan menghasilkan radikal  $\bullet\text{OH}$  tambahan yang sangat reaktif, sehingga oksidasi senyawa



organik berlangsung lebih cepat dan penurunan BOD meningkat (Artono et al., 2023; Xu et al., 2021).

### Penurunan Kadar COD Limbah Cair Tahu dengan Fotokatalisis

Kadar COD awal limbah cair tahu tercatat  $>1650$  mg/L, jauh melebihi baku mutu 300 mg/L (PP No. 5 Tahun 2014) (Alfatihah et al., 2022).



**Gambar 3.** Grafik Penurunan Kadar COD

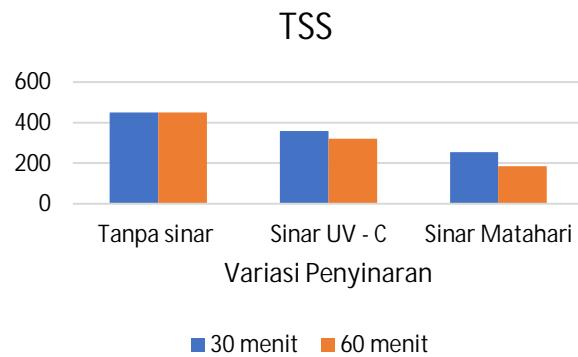
Setelah fotokatalisis menggunakan  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$ , terjadi penurunan COD di seluruh perlakuan pada Gambar 3. Pada perlakuan tanpa cahaya, kadar COD berkurang menjadi 965,8 mg/L. Sementara itu, penyinaran UV-C selama 60 menit menghasilkan penurunan COD hingga 508 mg/L, dan penurunan paling signifikan terjadi pada penyinaran sinar matahari hingga 256 mg/L selama 60 menit).

BOD mengukur senyawa organik *biodegradable*, sedangkan COD mengukur total senyawa organik; keduanya menurun karena radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ) yang terbentuk dari aktivasi fotokatalis  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$  mengoksidasi senyawa organik kompleks secara bertahap menjadi senyawa lebih sederhana hingga termineralisasi menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ , sehingga mekanisme penurunannya sama meskipun parameternya berbeda (Riyani et al., 2020; Xu et al., 2021; Artono et al., 2023). Pencegahan rekombinasi pasangan elektron-hole ( $e^-/\text{h}^+$ ) pada permukaan  $\text{TiO}_2$ , yang didukung oleh intensitas dan spektrum cahaya yang memadai serta keberadaan  $\text{H}_2\text{O}_2$  sebagai akseptor elektron, membuat  $e^-/\text{h}^+$  bertahan lebih lama dan mempercepat pembentukan radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ), sehingga efisiensi

fotokatalisis dan degradasi senyawa organik meningkat (Xu et al., 2021; Artono et al., 2023). Durasi dan jenis penyinaran sangat berpengaruh terhadap efektivitas fotokatalisis. Semakin lama waktu penyinaran, semakin banyak energi cahaya yang diserap oleh fotokatalis  $\text{TiO}_2$ , sehingga pembentukan pasangan elektron-hole berlangsung terus-menerus. Hal ini meningkatkan reaksi oksidasi air dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  pada permukaan  $\text{TiO}_2$  yang menghasilkan radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ), sehingga jumlah  $\cdot\text{OH}$  yang terbentuk semakin besar seiring bertambahnya waktu penyinaran (Rizki and Agung, 2021).

### Penurunan Kadar TSS Limbah Cair Tahu dengan Fotokatalisis

Kadar awal TSS limbah cair tahu sebesar 860 mg/L, melebihi baku mutu 200 mg/L (PP No. 5 Tahun 2014).



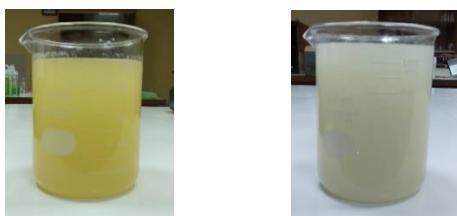
**Gambar 4.** Grafik Analisis TSS

Pengolahan menggunakan metode fotokatalisis  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$  menunjukkan penurunan TSS secara signifikan pada seluruh perlakuan. Tanpa penyinaran, TSS menurun menjadi 450 mg/L; penyinaran UV-C selama 60 menit menghasilkan 320 mg/L; sedangkan penyinaran sinar matahari memberikan hasil terbaik sebesar 186 mg/L setelah 60 menit, memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

Penurunan ini disebabkan oleh pembentukan radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ) dari aktivasi  $\text{TiO}_2$  oleh cahaya, yang mengoksidasi partikel tersuspensi dan senyawa organik secara bertahap, dimulai dari pemutusan senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana hingga dapat termineralisasi menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  jika reaksi berlangsung optimal



(Xu et al., 2021; Artono et al., 2023).  $\text{H}_2\text{O}_2$  mendukung pembentukan radikal  $\cdot\text{OH}$  dan mencegah rekombinasi  $\text{e}^-/\text{h}^+$ , meningkatkan efisiensi proses. Kalimat tersebut berarti bahwa cahaya matahari menyediakan intensitas energi yang tinggi dan spektrum panjang gelombang yang luas (UV-tampak), sehingga lebih banyak foton yang dapat mengaktifasi fotokatalis ( $\text{TiO}_2$ ). Akibatnya, pembentukan pasangan elektron-hole dan radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ) meningkat, sehingga proses fotokatalisis dan oksidasi senyawa organik berlangsung lebih efektif dan menghasilkan kinerja yang lebih optimal.



**Gambar 5.** Perubahan Visual Limbah Cair Tahu Sebelum Dan Sesudah Proses Fotokatalisis

Perubahan visual pada sampel limbah setelah fotokatalisis menunjukkan penurunan kekeruhan dan perubahan warna menjadi lebih jernih, yang dapat dilihat pada Gambar 5. Hal ini mengindikasikan degradasi senyawa kromofor, sejalan dengan data kuantitatif laboratorium.

### Persentase Parameter Pencemar Dengan Fotokatalisis

**Tabel 2.** Hasil Efektivitas (%)

Variasi Perlakuan	pH	BOD (%)	COD (%)	TSS (%)
Tanpa Penyinaran	3,01	31,86	41,46	47,67
Sinar UV-C - 30 Menit	4,51	58,02	63,51	58,13
Sinar UV-C - 60 Menit	4,98	64,58	69,21	62,79
Sinar Matahari - 30 Menit	5,63	72,75	80,96	70,23
Sinar Matahari - 60 Menit	6,86	76,76	85,00	78,00

Metode fotokatalisis berbasis  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$  terbukti efektif dalam menurunkan kadar BOD, COD, dan TSS, serta meningkatkan pH limbah

cair industri tahu. Penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  sebesar 14% (140 mL per 1000 mL limbah) tergolong cukup tinggi dan berkontribusi signifikan terhadap pembentukan radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ), namun optimasi dosis serta pengujian pengaruh  $\text{H}_2\text{O}_2$  secara terpisah tetap diperlukan untuk memastikan efisiensi proses dan peran spesifik fotokatalis  $\text{TiO}_2$  (Riyani et al., 2020; Xu et al., 2021). Efektivitas proses meningkat seiring bertambahnya durasi dan intensitas penyinaran. Pada perlakuan tanpa cahaya, aktivitas fotokatalis rendah karena tidak adanya energi untuk membentuk radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ). Penyinaran dengan UV-C meningkatkan kinerja degradasi, sedangkan sinar matahari selama 60 menit memberikan hasil terbaik karena spektrum dan intensitasnya yang lebih tinggi. Lampu UV memiliki intensitas cahaya yang stabil dan terfokus pada panjang gelombang tertentu sehingga aktivasi  $\text{TiO}_2$  berlangsung secara konsisten, sedangkan cahaya matahari bersifat fluktuatif dengan spektrum lebih luas sehingga fraksi energi UV efektif lebih rendah. Oleh karena itu, penggunaan lampu UV menghasilkan proses fotokatalisis yang lebih terkendali dan dapat direproduksi (Riyani et al., 2020; Kholidah et al., 2021; Xu et al., 2021). Selain mempercepat pembentukan radikal  $\cdot\text{OH}$ , penyinaran ini juga meningkatkan pH menuju kondisi netral, sesuai baku mutu air limbah (Yanto Rahman and Sulistyowati, 2023), (Hamidatu, 2020), (Kholidah et al., 2021). Temuan ini menunjukkan bahwa teknologi fotokatalitik dengan pemanfaatan energi matahari memiliki potensi besar sebagai solusi pengolahan limbah cair yang efisien dan berkelanjutan. Pada penelitian ini menggunakan kombinasi  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$  tanpa pengujian terpisah masing-masing material, sehingga kontribusi individual oksidator belum dapat ditentukan. Mengingat penggunaan  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang relatif tinggi, degradasi limbah berpotensi terjadi melalui oksidasi langsung, sehingga penelitian lanjutan perlu menambahkan perlakuan  $\text{TiO}_2$  saja dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  saja untuk memastikan peran dominan masing-masing material (Riyani et al., 2020; Xu et al., 2021; Yanto Rahman and Sulistyowati, 2023).



## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, fotokatalis  $TiO_2$  dan  $H_2O_2$  yang diaktifasi oleh sinar UV-C buatan maupun sinar matahari terbukti efektif dalam menurunkan parameter pencemar limbah cair industri tahu. Perlakuan optimal diperoleh dari penyinaran sinar matahari selama 60 menit, dengan efisiensi penurunan COD sebesar 84,78%, BOD sebesar 76,75%, TSS sebesar 78,37%, serta peningkatan pH dari 3,94 menjadi 6,86.

Efektivitas proses ini dipengaruhi oleh pembentukan radikal hidroksil ( $\bullet OH$ ) yang berperan dalam degradasi senyawa organik. Sinar matahari memberikan hasil lebih baik dibanding UV-C dari segi efisiensi dan keberlanjutan. Perubahan warna limbah yang menjadi lebih jernih juga mendukung keberhasilan proses. Dengan demikian, teknologi ini berpotensi diterapkan sebagai metode pengolahan limbah cair tahu yang ramah lingkungan dan layak untuk skala industri.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ainayah Alfatihah, Latuconsina, H., & Prasetyo, H.D. (2022). Analisis Kualitas Air Berdasarkan Parameter Fisika dan Kimia di Perairan Sungai Patrean Kabupaten Sumenep. *Aquacoastmarine: Journal of Aquatic and Fisheries Sciences*, 1(2), 76–84. <https://doi.org/10.32734/jafs.v1i2.9174>
- Analisa, P. (2022). Kombinasi Fotokatalisis Titanium Dioksida ( $TiO_2$ ) dan Arang Aktif untuk Mendegradasi Polutan Limbah Tahu, pp. 1–58.
- Artono, B., et al. (2023). Degradasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Sinar Ultraviolet. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 3(6), 853. <https://doi.org/10.29103/cejs.v3i6.12201>
- Hamidatu, U. (2020). Penurunan Nilai COD pada Limbah Cair Industri Tahu hingga Memenuhi Baku Mutu Menggunakan Metode Degradasi oleh Sinar UV,  $TiO_2$ , dan  $H_2O_2$ . (Laporan tidak dipublikasikan).
- Haryo Putro, R.K. (2019). Degradasi Surfaktan (Linear Alkyl Benzene) pada Limbah Laundry dengan Metode Fotokatalis  $ZnO$ . *Jurnal Envirotek*, 11(1), 25–30.
- <https://doi.org/10.33005/envirotek.v11i1.1362>.
- Kholidah, K., Wahyuni, E.T., & Sugiharto, E. (2021). Fotodegradasi Terkatalisis  $TiO_2$ – $H_2O_2$  pada Pengolahan Limbah Cair Industri Mie Soun. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 5(2), 164–174. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v5i2.225>.
- Riyani, K., Setyaningtyas, T. (2015). Penurunan Kadar Sianida dalam Limbah Cair Tapioka Menggunakan Fotokatalis  $TiO_2$ . *Molekul*, 5(1), 50. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2010.5.1.76>.
- Riyani, K., Setyaningtyas, T., & Dwiasih, D.W. (2020). Pengolahan Limbah Cair Batik Menggunakan Fotokatalis  $TiO_2$ -Dopan-N dengan Bantuan Sinar Matahari. *Jurnal Kimia Valensi*, 2(5). <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i5.301>.
- Rizki, E., & Agung, T. (2021). Degradasi Limbah Tahu dengan Koagulasi, 2, 56–60.
- Shaskia, N., & Yunita, I. (2024). Persepsi Masyarakat terhadap Dampak Limbah Tahu di Sekitar Sungai. *TAMEH*, 10(2), 59–68. <https://doi.org/10.37598/tameh.v10i2.153>.
- Sitasari, A.N., & Khoironi, A. (2021). Evaluasi Efektivitas Metode dan Media Filtrasi pada Pengolahan Air Limbah Tahu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(3), 565–575. <https://doi.org/10.14710/jil.19.3.565-575>.
- Verawati, N., Aida, N., & Aufa, R. (2019). Analisa Mikrobiologi Cemaran Bakteri Coliform dan *Salmonella* sp. pada Tahu di Kecamatan Delta Pawan. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 6(1), 61–71.
- Widodo, A.A., & Ali, M. (2019). Memanfaatkan Air Bilasan Bagas untuk Menghasilkan Listrik dengan Teknologi Microbial Fuel Cells. *Jurnal Envirotek*, 11(2), 30–37.
- Xu, H., et al. (2021). Mechanism of Photodegradation of Organic Pollutants in Seawater by  $TiO_2$ -Based Photocatalysts and Improvement in Their Performance. *ACS Omega*, 6(45), 30698–30707. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c04604>
- Yanto Rahman, D., & Sulistyowati, R. (2023). Aplikasi Fotokatalis  $TiO_2$  dan Alternatifnya untuk Degradasi Pewarna Sintetis dalam Limbah Cair. *Environmental Science Journal (ESJO): Jurnal Ilmu Lingkungan*, 1(2), 89–105.



Yudhistira, B., Andriani, M. And Utami, R. (2018)  
'Karakterisasi: Limbah Cair Industri Tahu Dengan Koagulan Yang Berbeda (Asam Asetat Dan Kalsium Sulfat)', Caraka Tani: Journal Of Sustainable Agriculture, 31(2), P. 137. Available At: <Https://Doi.Org/10.20961/Carakatani.V31i2.11998>.