

Metode Penjernihan Air Melalui Proses Fotokatalis Dengan TiO₂ Dan Aplikasinya

Water Clearance Method Through Photocatalyst Process With TiO₂ And Its Applications

Napostia^{1*}, Sahrul Saehana², Muhammad Zaky³, Muhammad Jarnawi⁴, Rizki Ilmianih⁵

¹Universitas Tadulako

Corresponding Author: nurulistiqomah017@gmail.com

Kata Kunci	ABSTRAK
Fotokatalis TiO ₂ Penjernihan air Energi matahari	Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi metode fotokatalisis menggunakan TiO ₂ sebagai bahan utama dalam proses penjernihan air. penelitian meliputi fotokatalisis, karakterisasi fisik dan kimia TiO ₂ , serta pengukuran efektivitasnya dalam berbagai kondisi, seperti konsentrasi TiO ₂ , intensitas cahaya dan waktu paparan. Selain itu, aplikasi metode ini juga di evaluasi untuk skala laboratorium maupun potensinya untuk implementasi didunia nyata. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai absorbansi mencerminkan seberapa banyak cahaya diserap oleh sampel, dengan absorbansi tinggi menandakan konsentrasi zat penyerap yang lebih besar atau tingkat penyerapan yang lebih tinggi. Metode fotokatalisis dengan TiO ₂ mampu secara efektif mengurangi kandungan kontaminan dalam air, termasuk limbah buatan. Efektivitas proses ini dipengaruhi oleh konsentrasi TiO ₂ dan intensitas cahaya yang digunakan. Selain itu, metode ini memiliki keunggulan berupa penggunaan energi matahari yang melimpah, biaya operasional yang rendah dan dampak lingkungan yang minimal. Dengan demikian fotokatalisis menggunakan TiO ₂ dapat menjadi solusi yang menjanjikan untuk mengatasi masalah pencemaran air, terutama di wilayah dengan sumber daya energi terbatas.
Keywords	ABSTRACT
Photocatalysis TiO ₂ Water purification Solar Energy	This research aims to explore the photocatalysis method using TiO ₂ as the main ingredient in the water purification process. The research includes photocatalysis preparation, physical and chemical characterization of TiO ₂ , as well as measuring its effectiveness under various conditions, such as variations in TiO ₂ concentration, light intensity and exposure time. Apart from that, the application of this method is also evaluated on a laboratory scale and its potential for implementation in the real world. The results showed that the absorbance value reflects how much light is absorbed by the sample, with high absorbance indicating a greater concentration of absorbent substances or a higher absorption rate. The photocatalysis method with TiO ₂ is able to effectively reduce the content of contaminants in the water, including artificial waste. The effectiveness of this process is influenced by the concentration of TiO ₂ and the intensity of the light used. Thus, photocatalysis using TiO ₂ can be a promising solution to overcome the problem of water pollution, especially in areas with limited energy resources.

©2025 The Author
p-ISSN 2338-3240
e-ISSN 2580-5924

Received 17/03/2025; Revised 04/06/2025; Accepted 13/06/2025; Available Online 31/08/2025

How to cite: Napostia, N., Saehana, S., Zaky, M., Jarnawi, M., & Ilmianih, R. (2025). Metode penjernihan air melalui proses fotokatalis dengan TiO₂ dan aplikasinya. *JPFT: Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online*, 13(2), 145–154.

PENDAHULUAN

Eksperimen adalah metode penelitian yang melibatkan manipulasi variabel tertentu untuk mengamati dan mengukur efek yang dihasilkan pada variabel lain dalam kondisi yang terkendali. Tujuan utama eksperimen adalah untuk menguji hipotesis yang telah dirumuskan sebelumnya. Proses ini memungkinkan penelitian untuk hubungan sebab akibat antara variabel yang diteliti. Eksperimen merupakan suatu pengamatan dibawah kondisi yang terkontrol, dimana satu atau lebih variabel bebas diubah untuk menentukan pengaruhnya terhadap variabel terikat (Kerlinger, 2020).

Variasi spektrum parameter kualitas air direservoir tropis. Studi ini menggunakan data spektral berkala selama setahun dari tiga reservoir di Indonesia, yaitu Cirata, Saguling, dan Jatiluhur. Hasilnya menunjukkan bahwa parameter kualitas air memiliki variasi spektrum yang berbeda-beda di setiap reservoir, tergantung pada kondisi fisik dan biologis masing-masing. Studi ini memberikan pemahaman yang lebih baik tentang variasi spektral parameter kualitas air di reservoir tropis dan dapat membantu dalam manajemen dan pemantauan sumber daya air (Corsita, 2019).

Limbah dapat didefensikan sebagai material atau zat yang tidak diinginkan atau tidak terpakai lagi dan perlu dibuang atau bisa kembali diolah. Limbah dapat berasal dari berbagai sumber, seperti industri, rumah tangga, pertanian dan lain-lain (Manulang, 2020). Limbah cair merupakan sisa-sisa produksi atau proses industri yang berupa cairan dan tidak dapat langsung dibuang ke lingkungan tanpa pengelolaan terlebih dahulu. Limbah cair mengandung zat-zat yang dapat mencemari air tanah, seperti logam berat dan senyawa organik (A. Rahmat, 2019).

Karakteristik limbah cair dari industri sangat bervariasi tergantung pada jenis produk yang dihasilkan dan proses produksi yang digunakan. Limbah cair ini memiliki pH yang rendah atau tinggi, suhu yang tinggi, dan kandungan COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang tinggi. Oleh karena itu, pengelolaan limbah cair sangat penting dilakukan sebelum dibuang ke lingkungan (Arutanti dkk. 2019). Limbah buatan adalah limbah yang dihasilkan oleh aktivitas manusia dan tidak dapat diuraikan oleh alam dengan cepat. Limbah buatan terdiri dari berbagai jenis, seperti limbah industri, limbah rumah tangga, limbah elektronik, dan limbah plastik. Strategi yang dapat digunakan untuk mengurangi dampak limbah buatan, seperti daur ulang, pengurangan penggunaan bahan kimia berbahaya, dan penggunaan teknologi yang ramah lingkungan (Smith, 2019).

TiO₂ merupakan fotokatalis yang ideal untuk penanganan pencemaran air limbah karena sifatnya yang inert secara kimia dan biologis, tidak toksik, serta memiliki biaya operasional yang relatif rendah (Behpour, 2020). Fotokatalis juga merupakan salah satu cara yang efektif dalam pengolahan limbah cair. Fotokatalis dapat mengubah energi Cahaya menjadi energi kimia dan dalam prosesnya akan menghasilkan radikal hidroksil yang bereaksi redok dengan senyawa organik, sehingga air akan kembali jernih karena terpisahkan dari limbah cair (Miyake, 2019).

Proses katalitis sangat bergantung pada massa katalis yang digunakan dan lamanya waktu penyinaran. Semakin banyak massa fotokatalitis yang digunakan maka radikal hidroksil (OH) yang terbentuk pun akan semakin banyak sehingga proses foto degradasi akan menjadi semakin efektif, begitu juga dengan waktu penyinaran, semakin lama dilakukan penyinaran maka interaksi antara fotokatalitis dengan sinar semakin efektif sehingga semakin banyak pula energi foton yang diserap oleh foto katalitis dan molekul air (Sari, 2019).

METODE

Penelitian ini merupakan studi kuantitatif yang dilakukan di laboratorium dengan tujuan menjernihkan air menggunakan fotokatalis TiO_2 serta mengukur absorbansi air limbah. Desain penelitian mencakup perencanaan eksperimen, pemilihan variabel seperti jenis kontaminan, konsentrasi TiO_2 , dan intensitas cahaya, serta pembuatan fotokatalis melalui sintesis dan karakterisasi. Setelah persiapan, proses fotokatalisis dilakukan dengan mengekspos air yang telah terkontaminasi dengan TiO_2 pada sinar matahari atau UV, diikuti dengan analisis hasil menggunakan spektrofotometer untuk menilai efektivitas penghilangan kontaminan.

Langkah-langkah penelitian meliputi penentuan tujuan, studi literatur, desain eksperimen, serta pembuatan dan karakterisasi fotokatalis. Selanjutnya, dilakukan uji aktivitas fotokatalisis dan analisis data untuk mengevaluasi efektivitas metode yang digunakan. Hasil penelitian kemudian diinterpretasikan secara statistik untuk menyusun kesimpulan mengenai potensi aplikasi TiO_2 dalam penjernihan air.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika pada Mei 2024 dengan populasi berupa air limbah yang terkontaminasi dan sampel berupa air sungai keruh yang diuji dalam kondisi laboratorium. Data dikumpulkan melalui pengamatan langsung terhadap serapan air limbah yang dilapisi TiO_2 menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengukur absorbansi cahaya dan menganalisis konsentrasi senyawa dalam air.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Titanium dioksida (TiO_2) merupakan bahan semikonduktor yang banyak digunakan dalam fotokatalisis, sensor, dan material optik. Karakterisasi TiO_2 mencakup:

1. Struktur Kristal: TiO_2 memiliki tiga fase utama—anatase, rutil, dan brookite. Anatase memiliki aktivitas fotokatalitik tinggi, sementara rutil lebih stabil pada suhu tinggi. Identifikasi struktur dilakukan dengan X-ray Diffraction (XRD).
2. Ukuran Partikel dan Morfologi: Ukuran partikel berpengaruh pada luas permukaan spesifik dan reaktivitas. SEM dan TEM digunakan untuk mengamati morfologi dan distribusi partikel.
3. Luas Permukaan dan Porositas: Pengukuran BET digunakan untuk menentukan luas permukaan dan distribusi pori, yang berpengaruh pada efektivitas katalitik.
4. Sifat Optik: UV-Vis spektroskopi digunakan untuk menentukan celah pita (band gap), di mana anatase memiliki band gap sekitar 3,0 eV.
5. Sifat Elektronik: Pengukuran impedansi elektrokimia (EIS) memberikan informasi tentang konduktivitas listrik dan transfer muatan, yang penting dalam fotokatalisis.
6. Karakterisasi Fotokatalitik: Efisiensi diuji melalui degradasi polutan organik
7. menggunakan indikator seperti metilen biru.
8. Modifikasi TiO_2 : Doping dengan logam mulia atau anion tertentu dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik dengan memperluas absorpsi spektrum cahaya dan mengurangi rekombinasi elektron-hole.

Setelah karakterisasi dilakukan, penelitian ini menguji efektivitas TiO_2 dalam proses penjernihan air melalui metode fotokatalisis, baik pada skala laboratorium maupun potensi aplikasinya di lingkungan nyata.

Untuk meningkatkan efisiensi aplikasi TiO_2 dalam proses penjernihan air, penelitian ini juga mengeksplorasi media pendukung berupa serat batang pisang yang telah dilapisi dengan senyawa aktif. Pendekatan ini bertujuan agar TiO_2 dapat terdistribusi merata, terapung di permukaan, serta memaksimalkan penyerapan cahaya matahari sebagai sumber energi utama dalam fotokatalisis.



Gambar 1. Serat batang pisang yang dilapisi oleh TiO_2

Pada eksperimen ini serat batang pisang yang dioleskan *Lannea cormendalika* kemudian dilapisi oleh titanium dioksida sangat efisien, dikarenakan TiO_2 nya terapung di permukaan wadah sehingga sangat mudah di serap oleh cahaya sinar matahari secara langsung disinilah terjadi kontaminasi sehingga air limbah tersebut menjadi jernih.

Adapun manfaat Serat pisang yang dilapisi oleh titanium dioksida (TiO_2) untuk penjernihan air limbah buatan adalah sebagai berikut:

1. Efektivitas sebagai Fotokatalis: Pelapisan serat pisang dengan TiO_2 meningkatkan sifat fotokatalitik material tersebut. TiO_2 , sebagai fotokatalis yang aktif di bawah paparan cahaya UV atau matahari, mampu menghasilkan radikal bebas yang dapat menguraikan senyawa organik dalam air limbah. Ini membantu dalam menurunkan kandungan polutan dan zat berbahaya.
2. Peningkatan Area permukaan: Serat pisang yang memiliki struktur berpori dan area permukaan yang luas memberikan tempat yang optimal bagi TiO_2 untuk berinteraksi dengan polutan di udara limbah. Ini meningkatkan efisiensi penyerapan polutan serta mempermudah efisiensi fotokatalitik.
3. Bahan Ramah Lingkungan: Penggunaan serat pisang sebagai substrat merupakan pendekatan yang ramah lingkungan, memanfaatkan limbah buatan dan bahan yang mudah terurai.
4. Kemampuan Degradasi Polutan: Serat pisang berlapis TiO_2 menunjukkan kemampuan dalam menguraikan berbagai senyawa organik dan mikroorganisme dalam air limbah buatan, sehingga menghasilkan udara yang lebih bersih. Efektivitas ini dipengaruhi oleh konsentrasi TiO_2 , durasi waktu pemaparan, dan intensitas cahaya yang diterima.
5. Potensi Pengembangan Lebih Lanjut: Meski menunjukkan hasil yang positif, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan parameter seperti ketebalan lapisan TiO_2 , kondisi pencahayaan, dan ketahanan material terhadap penggunaan jangka panjang.

Karakterisasi Fisik dan Kimia TiO₂

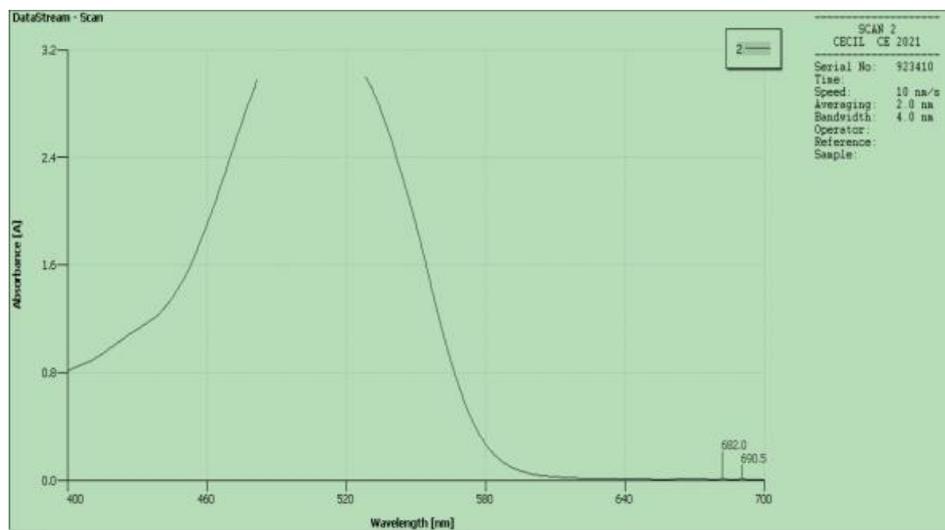
1. Fisik: Ukuran nanopartikel (5-100 nm) berpengaruh pada fotokatalisis. XRD mengidentifikasi struktur kristal, SEM/TEM untuk morfologi, dan BET untuk luas permukaan.
2. Kimia: Komposisi dianalisis dengan EDS, sedangkan band gap diukur menggunakan UV-Vis DRS. TiO₂ memiliki sifat redoks kuat yang memungkinkannya menghasilkan pasangan elektron-hole, diuji melalui EIS.

Struktur dan Morfologi TiO₂

TiO₂ memiliki struktur kristal tetragonal dengan bentuk anatase lebih aktif secara fotokatalitik dibandingkan rutil dan brookite. Morfologi bervariasi dari nanopartikel hingga nanotube, yang berpengaruh pada luas permukaan dan reaktivitas.

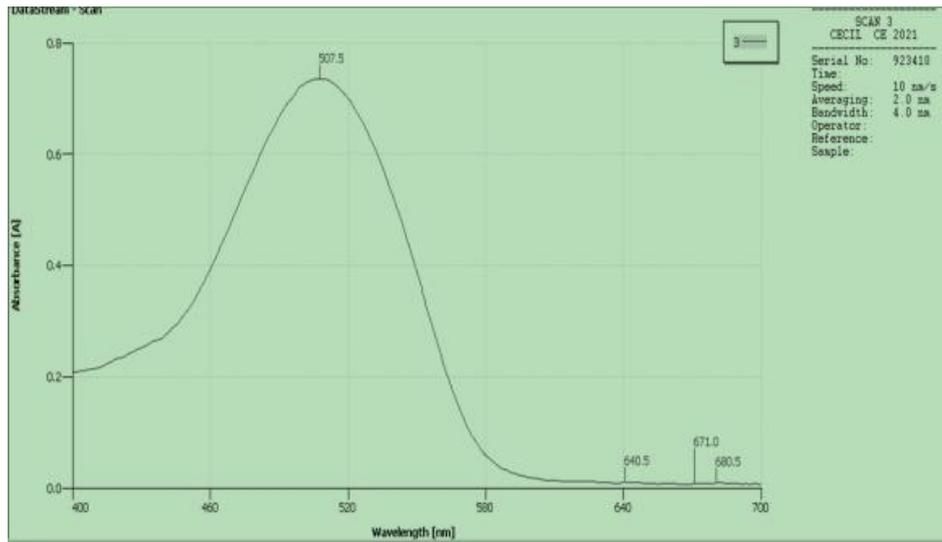
Hasil Penjernihan Air Limbah

Penjernihan air limbah merujuk pada proses pengolahan air yang terkontaminasi limbah sehingga dapat digunakan kembali atau dibuang dengan aman ke lingkungan. Proses ini mencakup berbagai metode seperti filtrasi, koagulasi-flokulasi, pengendapan, dan teknologi yang lebih maju seperti oksidasi kimia, fotokatalisis, dan membrane (Gupta, 2022).



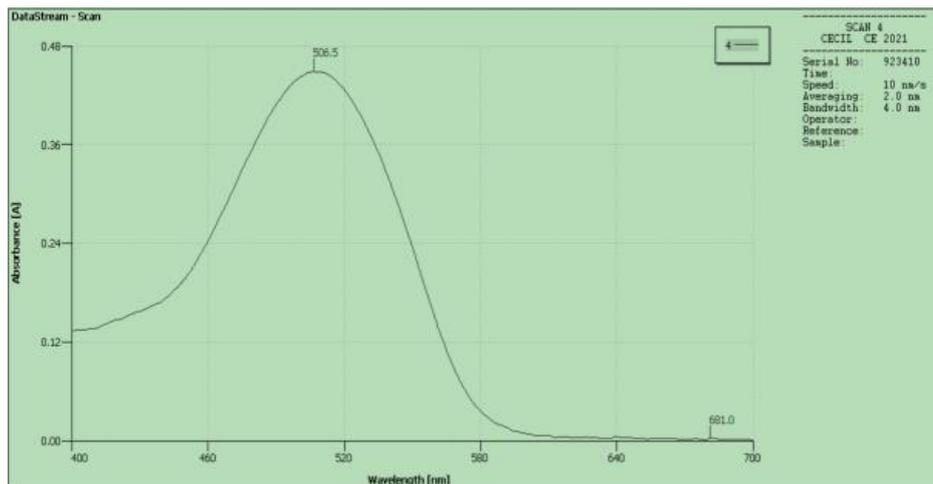
Gambar 2. Grafik uji UV-Vis Pada Sampel 1

Jika grafik menunjukkan absorbansi sebesar 0.8 kesimpulan yang dapat diambil adalah bahwa sampel yang diuji menyerap 84% dari cahaya pada panjang gelombang tertentu. Absorbansi yang tinggi (0.8) menandakan bahwa sedikit cahaya yang lolos melalui sampel, sehingga konsentrasi zat atau partikel yang menyerap cahaya di dalam sampel mungkin cukup tinggi. Hasil ini sejalan dengan penelitian Meng Nan Chong dkk. yang menyatakan bahwa efektivitas fotokatalis sangat dipengaruhi oleh nilai absorbansi terhadap cahaya UV atau cahaya tampak (Chong, 2010).



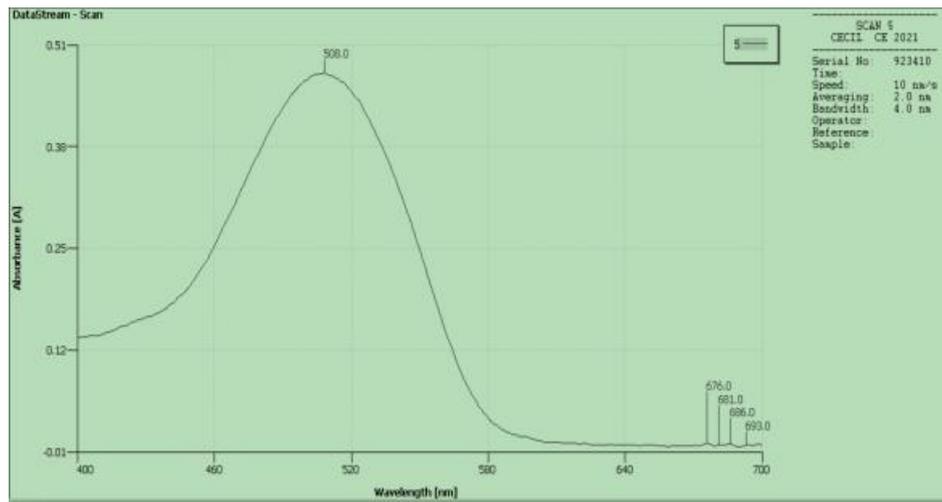
Gambar 3. Grafik uji UV-Vis Pada Sampel 2

Efektivitas Proses, Jika grafik tersebut terkait dengan proses kimia seperti fotokatalisis atau adsorpsi, absorbansi sebesar 0.12 mungkin menandakan tingkat penyerapan cahaya yang rendah, sehingga cahaya yang diserap pada gelombang yaitu sekitar 24,14% yang berarti bahwa proses belum berjalan secara optimal atau sampel tidak memiliki konsentrasi tinggi zat yang dapat menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu. Hasil ini sejalan dengan temuan dari penelitian Kumar dkk yang menyatakan bahwa efisiensi fotokatalitik sangat bergantung pada besarnya energi yang diserap oleh material dan konsentrasi katalis dalam sistem (Kumar, 2021).



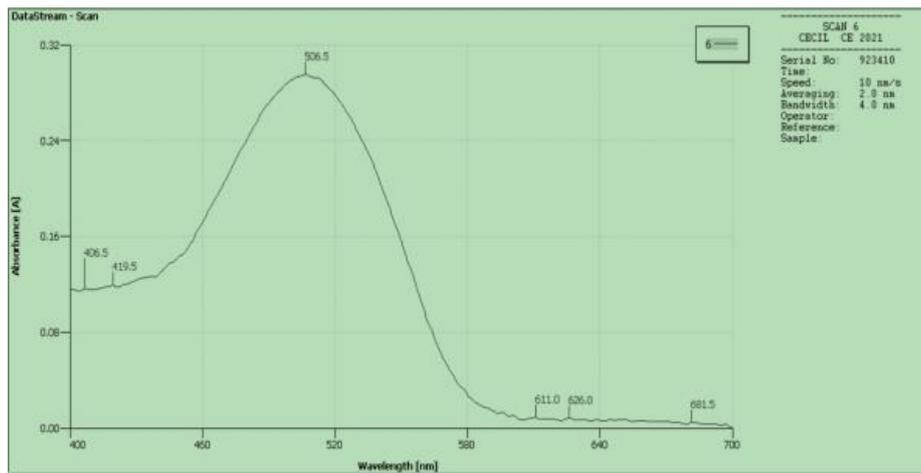
Gambar 4 Grafik uji UV-Vis Pada Sampel 3

Efektivitas Proses, Jika grafik tersebut terkait dengan proses kimia seperti fotokatalisis atau adsorpsi, absorbansi sebesar 0.14 mungkin menandakan tingkat penyerapan cahaya yang rendah, sehingga cahaya yang diserap pada gelombang yaitu sekitar 27,56% yang berarti bahwa proses belum berjalan secara optimal atau sampel tidak memiliki konsentrasi tinggi zat yang dapat menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu. Hasil ini sejalan dengan temuan Zhou dkk. yang menjelaskan bahwa rendahnya efisiensi serapan cahaya dalam proses fotokatalisis berkaitan langsung dengan kurangnya konsentrasi material aktif serta keterbatasan luas permukaan penyerap cahaya (Zhou, 2022).



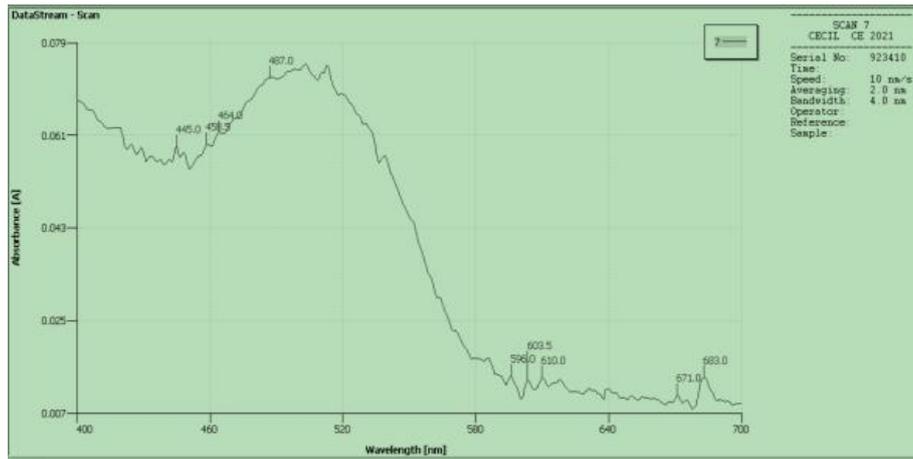
Gambar 5. Grafik uji UV-Vis Pada Sampel 4

Absorbansi sebesar 0.13 menunjukkan tingkat penyerapan cahaya yang relatif rendah, yang dapat terkait dengan rendahnya konsentrasi zat atau efisiensi sedang dalam proses yang sedang diukur. Temuan ini sejalan dengan penelitian Ali dkk. yang menyebutkan bahwa performa fotokatalitik TiO_2 sangat dipengaruhi oleh konsentrasi material aktif serta konfigurasi media reaksi terhadap sumber cahaya (Ali, 2021).



Gambar 6. Grafik uji UV-Vis Pada Sampel 5

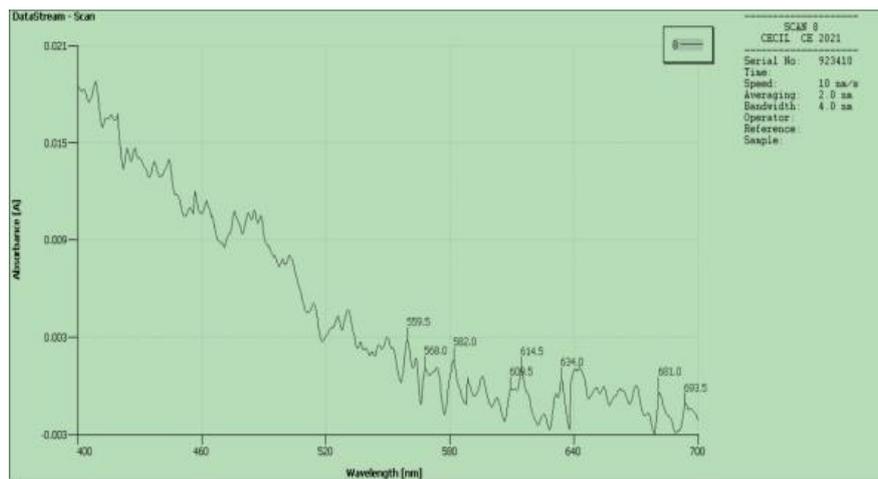
Konsentrasi zat dalam spektroskopi, absorbansi sering kali berhubungan dengan konsentrasi zat sesuai dengan Hukum Lambert-Beer. Absorbansi 0.12 mungkin menunjukkan konsentrasi zat yang relatif rendah. Sehingga panjang gelombang yang diserap sekitar 24.14% Aktivitas Fotokatalitik, jika absorbansi dikaitkan dengan aktivitas fotokatalitik, nilai yang rendah (0.12) mungkin menunjukkan aktivitas yang rendah atau efisiensi yang kurang dalam proses fotokatalisis. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian Zhang dkk. yang melaporkan bahwa efisiensi fotokatalitik TiO_2 sangat dipengaruhi oleh konsentrasi material dan intensitas cahaya yang digunakan (Zhang, 2020).



Gambar 7. Grafik uji UV-Vis Pada Sampel 6

Konsentrasi Rendah, Absorbansi yang rendah (0.069) umumnya menunjukkan bahwa konsentrasi zat yang menyerap cahaya dalam sampel juga rendah. Efisiensi Penyerapan Rendah, Jika grafik ini terkait dengan pengujian efisiensi suatu proses (misalnya, fotokatalisis atau reaksi kimia), angka ini bisa menunjukkan bahwa zat atau material tidak terlalu efektif dalam menyerap cahaya pada panjang gelombang tersebut.

Keberadaan Zat, Meski rendah adanya absorbansi menunjukkan bahwa zat yang diujimemang hadir dalam larutan atau media, walaupun dalam konsentrasi yang sedikit.



Gambar 8. Grafik uji UV-Vis Pada Sampel 7

Konsentrasi Zat: Berdasarkan hukum Lambert-Beer, absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi zat penyerap. Jika absorbansi rendah, kemungkinan konsentrasi zat yang diserap dalam sampel juga rendah, atau sifat materialnya memang tidak terlalu efisien dalam menyerap cahaya pada panjang gelombang yang diukur.

Konsentrasi TiO_2 terhadap aktivitas penjernihan udara berkaitan dengan kemampuannya dalam mengkatalisis reaksi fotokatalitik untuk menguraikan zat berbahaya. Peningkatan konsentrasi TiO_2 meningkatkan situs aktif, tetapi jika terlalu tinggi, dapat menyebabkan aglomerasi partikel yang mengurangi efektivitasnya. Dalam proses penjernihan air, waktu dan intensitas cahaya berpengaruh signifikan. Waktu paparan yang lebih lama meningkatkan reaksi oksidasi dan reduksi, tetapi setelah titik tertentu,

efektivitasnya menurun. Intensitas cahaya yang lebih tinggi meningkatkan produksi pasangan elektron-hole, namun ada batas kapasitas fotokatalis.

Efektivitas TiO_2 dalam fotokatalisis dapat dianalisis menggunakan spektroskopi UV-Vis, yang mengukur perubahan konsentrasi polutan dalam larutan melalui absorbansi. Faktor yang mempengaruhi efektivitasnya meliputi konsentrasi TiO_2 , intensitas cahaya, dan waktu iradiasi. Metode spektroskopi UV-Vis juga digunakan untuk membandingkan efektivitas TiO_2 dalam degradasi polutan, dengan pemantauan absorbansi pada panjang gelombang tertentu. Dalam mekanisme fotokatalisis, TiO_2 menyerap cahaya UV, mengeksitasi elektron ke pita konduksi, lalu menghasilkan radikal bebas yang menghancurkan kontaminan menjadi produk tidak berbahaya. Teknologi ini ramah lingkungan karena hanya membutuhkan cahaya dan fotokatalis tanpa bahan kimia tambahan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa TiO_2 (titanium dioksida) terbukti efektif dalam menjernihkan air limbah buatan melalui proses fotokatalisis. Dalam proses ini, TiO_2 yang bersifat semikonduktor diaktifkan oleh cahaya (terutama sinar UV atau matahari), menghasilkan radikal bebas seperti $\bullet\text{OH}$ dan $\text{O}_2\bullet^-$ yang mampu menguraikan zat pencemar organik dan anorganik di dalam air. Efektivitas Tinggi TiO_2 mampu mengurangi tingkat kekeruhan dan konsentrasi zat pencemar (seperti zat warna, logam berat, dan bahan kimia berbahaya) dalam air limbah buatan secara signifikan. Efektivitas TiO_2 sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya, waktu kontak, konsentrasi TiO_2 , pH larutan, dan suhu lingkungan. Regenerasi dan Reusabilitas TiO_2 dapat digunakan kembali setelah proses fotokatalisis, meskipun efisiensinya dapat menurun setelah beberapa kali pemakaian. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa TiO_2 efektif dan potensial sebagai agen fotokatalis dalam menjernihkan air limbah buatan

DAFTAR PUSTAKA

- A. Rahmat, d. (2019). *Pengaruh Temperatur Pada Limbah Cair*.
- Ali, K. K. (2021). Enhanced photocatalytic activity of modified TiO_2 nanostructures under visible light. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9, 104668.
- Arutanti. O., Abdullah M. Khairulrijal, & Mahfud ZH (2019) Penjernihan air dari pencemar organik dengan proses fotokatalisis pada permukaan TiO_2 . *Jurnal nanosains dan nanoteknologi*, 4, 2-4.
- Behpour (2020). Photocatalytic Activity of TiO_2 Ag Nanoparticle on Degradation of Water Pollutions. *Journal of Nanomaterials and Biostructures.*, 5, 467-475.
- Chong, M. N. (2010). Recent developments in photocatalytic water treatment technology: a review. *Water Research.*, 44, 2997–3027.
- Corsita, L. (2019). Pengaruh Rezim Hidrologi dan Karakterisasi Ekologis terhadap Kualitas Air (Studi Kasus Waduk Jatiluhur). *Jurnal MEDIAN Arsitektur dan Planologi*, 9, 13-22.
- Darmawan, M. &. (2020). penyisihan linear alkylbenzene sulfonate (LAS) & total dissolved solid (TDS) menggunakan proses fotokatalis dengan kombinasi katalis TiO_2 -Zno . *Jurnal Envitotek*.

- Gupta, V. &. (2022). Photocatalytic Degradation of Wastewater Pollutants using TiO₂ Nanocomposites. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10, 107-211.
- Kerlinger, F. (2020). Similarities and Differences in Social Attitudes in Four Western Countries. *International Journal of Psychology*, 13, 25-37.
- Kumar, R. U. (2021). Recent advancements in TiO₂-based photocatalysts for water purification under solar light. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9, 104801.
- Manulang, D. &. (2020). *Pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3)*. . Jakarta: Erlangga.
- Miyake (2019). Employment, income, and education and risk of postpartum depression: the Osaka Maternal and Child Health Study. *Journal of affective disorders*, 130, 133-137.
- Sari (2020). Penurunan Kadar Amonia Secara Alami Pada Limbah Cair Tahu (Doctoral Dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Smith. (2019). Understanding the concept of artificial waste and its environmental implications". *Environmental Science and Pollution Research* 2019.
- Zhang, Y. L. (2020). Enhanced photocatalytic degradation using TiO₂-based materials under visible light irradiation: A review. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121092.
- Zhou, Y. W. (2022). Recent progress in TiO₂-based photocatalysts for pollutant degradation under solar irradiation. . *Catalysis Today*, 397, 174-185.