

Synthesis and Characterization of Nanocomposites TiO₂-ZnO With Co-Precipitation Method For The Purification of Sei Gohong Peat Water Palangka Raya

Annisa Aulia Hatma, Luqman Hakim*, Thathit Suprayogi, Jhon Wesly Manik
Physics Study Program, FMIPA University of Palangka Raya, Palangkaraya, Indonesia

*Email Korespondensi: luqman_h@mipa.upr.ac.id

Hatma, A. A., Hakim, L., Suprayogi, T., & Manik, J. W. (2026). Synthesis and Characterization of Nanocomposites TiO₂-ZnO With Co-Precipitation Method For The Purification of Sei Gohong Peat Water Palangka Raya. *Varied Knowledge Journal*, 4(1), 897-910.
<https://doi.org/10.71094/vkj.v4i1.343>

Diterima: 01-07-2026
Direvisi: 03-07-2026
Disetujui: 18-08-2026
Publish: 24-08-2026



Copyright © 2026, The Author(s). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.

Abstract: Peat water is a potential raw water source in Central Kalimantan; however, its utilization is limited due to its high acidity (pH 3–5) and high organic matter content, which causes a brownish-red color. This study aimed to synthesize and characterize TiO₂-ZnO nanocomposites using the co-precipitation method and evaluate their effectiveness as photocatalysts for the purification of peat water from Sei Gohong Village, Palangka Raya. The nanocomposites were synthesized through the co-precipitation method using low-temperature processing (<100°C). Material characterization was carried out using X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive X-ray (SEM–EDX), and UV–Visible spectroscopy. XRD analysis confirmed the formation of TiO₂ and ZnO crystalline phases, with the main diffraction peak positions at 2θ of 54.67° (A1), 49.02° (A2), 55.70° (A3), 54.06° (A4), and 54.97° (A5). SEM–EDX characterization of sample A2 showed an average particle size of 180.51 ± 2.03 nm. Photocatalytic performance testing demonstrated that the A2 nanocomposite (75% TiO₂:25% ZnO) exhibited the highest peat water purification efficiency, achieving an absorbance reduction of 67.35% after 5 hours of UV irradiation and increasing the peat water pH from 4 to 7. These findings indicate that the synthesized TiO₂-ZnO nanocomposite has good potential as an effective photocatalyst for peat water purification.

Keywords: Peat Water, TiO₂-ZnO Nanocomposites, Photocatalysis, Co-Precipitation, Water Purification

Abstrak: Air gambut merupakan sumber air baku yang potensial di Kalimantan Tengah, namun memiliki kualitas yang rendah karena tingkat keasaman yang tinggi (pH 3–5) serta kandungan zat organik yang menyebabkan warna merah kecoklatan. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengarakterisasi nanokomposit TiO₂-ZnO menggunakan metode kopresipitasi serta menguji efektivitasnya sebagai fotokatalis dalam penjernihan air gambut dari Desa Sei Gohong, Palangka Raya. Sintesis nanokomposit dilakukan menggunakan metode kopresipitasi dengan suhu rendah (<100°C). Karakterisasi material dilakukan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive X-ray (SEM–EDX), dan UV–Visible Spectroscopy (UV–Vis). Hasil analisis XRD menunjukkan puncak difraksi utama pada posisi 2θ sebesar 54,67° (A1), 49,02° (A2), 55,70° (A3), 54,06° (A4), dan 54,97° (A5). Hasil karakterisasi SEM–EDX pada sampel A2 menunjukkan ukuran butiran rata-rata sebesar 180,51 ± 2,03 nm. Pengujian aktivitas fotokatalitik menunjukkan bahwa nanokomposit A2 (75% TiO₂:25% ZnO) memberikan kinerja terbaik dengan persentase penurunan absorbansi sebesar 67,35% setelah 5 jam penyinaran UV, serta mampu meningkatkan pH air gambut dari 4 menjadi 7. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanokomposit TiO₂-ZnO hasil sintesis berpotensi digunakan sebagai material fotokatalis yang efektif untuk penjernihan air gambut.

Kata Kunci: Air Gambut, Fotokatalis, Kopresipitasi, Nanokomposit TiO₂-ZnO, Penjernihan Air

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan dasar bagi kehidupan manusia, namun tidak semua sumber air memiliki kualitas yang memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai air bersih. Salah satu sumber air yang banyak ditemukan di Kalimantan Tengah adalah air gambut. Air gambut memiliki karakteristik berupa warna cokelat kemerahan, kondisi asam, serta kandungan bahan organik terlarut yang relatif tinggi. Keberadaan bahan organik tersebut berkontribusi terhadap warna dan karakteristik optik air gambut sehingga pengolahannya diperlukan sebelum digunakan untuk keperluan tertentu. Karakteristik air gambut juga perlu diperhatikan dalam pemanfaatannya karena dapat memengaruhi penggunaan air tersebut pada berbagai keperluan (Dari et al., 2021). Selain karakteristik kimianya, air gambut juga dapat menjadi habitat berbagai mikroorganisme. Ismiati et al. (2020) melaporkan adanya bakteri yang dapat diisolasi dan dikarakterisasi dari air gambut, yang menunjukkan bahwa karakteristik air gambut tidak hanya berkaitan dengan parameter fisikokimia, tetapi juga aspek biologis.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk meningkatkan kualitas air gambut, seperti koagulasi-flokulasi dan adsorpsi. Suherman dan Sumawijaya (2013) melaporkan penggunaan metode koagulasi-flokulasi dalam suasana basa untuk menghilangkan warna dan zat organik dari air gambut. Metode adsorpsi juga telah digunakan untuk mengurangi kandungan logam pada air gambut. Apriani et al. (2013) menggunakan karbon aktif kulit durian sebagai adsorben logam Fe pada air gambut, sedangkan Istighfarini et al. (2017) mengkaji pengaruh massa dan ukuran partikel adsorben sabut kelapa terhadap efisiensi penyisihan Fe pada air gambut. Metode-metode tersebut menunjukkan bahwa kualitas air gambut dapat diperbaiki melalui perlakuan tertentu, tetapi penelitian ini difokuskan pada penggunaan fotokatalisis untuk mengurangi karakteristik penyerap cahaya yang ditunjukkan melalui perubahan absorbansi.

Fotokatalisis merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendegradasi senyawa organik dengan memanfaatkan material semikonduktor dan energi cahaya. Titanium dioksida (TiO_2) merupakan salah satu material semikonduktor yang banyak digunakan sebagai fotokatalis karena memiliki stabilitas kimia dan aktivitas fotokatalitik yang baik (Chen et al., 2020; Sutanto & Wibowo, 2015). Prinsip fotokatalisis TiO_2 berkaitan dengan pembentukan pasangan elektron-hole setelah material menerima energi cahaya yang sesuai. Proses tersebut selanjutnya dapat menghasilkan spesies oksigen reaktif (*Reactive Oxygen Species/ROS*) yang berperan dalam proses oksidasi senyawa organik (Fujishima et al., 2008; Nosaka & Nosaka, 2017). Namun, TiO_2 memiliki keterbatasan dalam efisiensi pemanfaatan cahaya dan rekombinasi pasangan elektron-hole sehingga berbagai strategi modifikasi material dikembangkan untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya.

Penggunaan TiO_2 untuk pengolahan air gambut telah dilaporkan pada beberapa penelitian. Andayani et al. (2011) menggunakan TiO_2 dalam bentuk *beads* untuk degradasi asam humat pada air gambut. Jayadi et al. (2014) mengembangkan reaktor fotokatalis menggunakan TiO_2 untuk degradasi bahan organik pada air gambut, sedangkan Ulfah Ramadhani et al. (2017) mengkaji degradasi bahan organik pada air gambut menggunakan fotokatalis TiO_2 lapis tipis. Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa TiO_2 dapat digunakan sebagai material fotokatalis untuk pengolahan bahan organik pada air gambut.

Salah satu pendekatan untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik TiO_2 adalah mengombinasikannya dengan semikonduktor lain, termasuk seng oksida (ZnO). ZnO merupakan material semikonduktor yang juga memiliki potensi untuk digunakan sebagai fotokatalis.

Karakteristik ZnO dapat dipengaruhi oleh kondisi sintesis, seperti konsentrasi prekursor, konsentrasi agen pengendap, kecepatan pengadukan, dan waktu pengadukan (Adzra et al., 2022). Sutanto dan Wibowo (2015) juga membahas TiO₂ dan ZnO sebagai material semikonduktor fotokatalis serta penggunaannya dalam berbagai aplikasi.

Penggabungan TiO₂ dan ZnO dapat menghasilkan heterojungsi yang berpotensi memengaruhi pemisahan dan perpindahan pembawa muatan. Rekayasa heterojungsi merupakan salah satu pendekatan yang dikembangkan untuk meningkatkan kinerja fotokatalis (Low et al., 2017). Yu et al. (2014) menunjukkan bahwa rekayasa heterojungsi dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik TiO₂ melalui pengaturan transfer muatan pada antarmuka material. Oleh karena itu, kombinasi TiO₂ dan ZnO menjadi salah satu alternatif untuk memperoleh material fotokatalis dengan karakteristik yang berbeda dibandingkan material tunggal.

Penelitian mengenai nanokomposit ZnO–TiO₂ telah dilakukan untuk berbagai aplikasi fotokatalitik. Lestari et al. (2012) melakukan preparasi nanokomposit ZnO–TiO₂ menggunakan metode sonokimia dan menguji aktivitasnya untuk fotodegradasi fenol. Safriani et al. (2022) mengkaji pengaruh penambahan nanopartikel terhadap morfologi nanokomposit TiO₂/ZnO, sedangkan Shofi Nur Aliyah et al. (2021) mengkaji pengaruh suhu kalsinasi komposit Zn terhadap karakteristik komposit TiO₂/ZnO. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa komposisi dan kondisi sintesis dapat memengaruhi karakteristik material TiO₂/ZnO.

Selain pengembangan komposit, TiO₂ juga dapat dikombinasikan dengan material pendukung untuk aplikasi pengolahan air. Wibowo et al. (2016) mengkaji penggunaan TiO₂/kitosan dan TiO₂/bentonit sebagai material penjernih air embung. Pendekatan tersebut menunjukkan bahwa pengembangan material berbasis TiO₂ dapat diarahkan untuk meningkatkan aplikasinya dalam pengolahan air.

Karakteristik kristal merupakan salah satu parameter yang perlu diperhatikan dalam penelitian material fotokatalis. Hubungan antara fase permukaan dan aktivitas fotokatalitik TiO₂ telah dilaporkan oleh Zhang et al. (2008), sehingga identifikasi fase kristal menjadi bagian penting dalam evaluasi material. Ukuran kristal dapat diperkirakan berdasarkan pelebaran puncak difraksi menggunakan persamaan Scherrer (Sumardiyasa & Manuaba, 2018). Selain karakteristik kristal, morfologi dan komposisi unsur juga diperlukan untuk memberikan gambaran mengenai karakteristik material hasil sintesis.

Berdasarkan penelitian terdahulu, penggunaan TiO₂ dan ZnO sebagai fotokatalis telah banyak dikembangkan, termasuk untuk pengolahan air gambut. Namun, penelitian mengenai nanokomposit TiO₂–ZnO hasil metode kopresipitasi yang diaplikasikan secara langsung pada air gambut alami dari Desa Sei Gohong, Kota Palangka Raya masih perlu dikembangkan. Penelitian ini menggunakan variasi komposisi TiO₂ dan ZnO untuk mengevaluasi pengaruh komposisi terhadap karakteristik kristal, morfologi, komposisi unsur, penurunan absorbansi, dan perubahan pH air gambut.

Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan variasi komposisi TiO₂–ZnO hasil sintesis kopresipitasi untuk pengolahan air gambut alami dari Desa Sei Gohong, Kota Palangka Raya. Efektivitas material dievaluasi berdasarkan perubahan absorbansi dan pH setelah proses fotokatalitik, sedangkan karakteristik material dianalisis menggunakan XRD dan SEM–EDX. Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai hubungan antara variasi komposisi material dan kinerja fotokatalitiknya dalam pengolahan air gambut.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi nanokomposit $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$ menggunakan metode kopresipitasi serta mengevaluasi efektivitasnya sebagai fotokatalis dalam penjernihan air gambut melalui analisis karakteristik kristal, morfologi, komposisi unsur, perubahan absorbansi, dan perubahan pH air gambut.

METODE

Nanokomposit $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$ disintesis menggunakan metode kopresipitasi. Pemilihan metode ini didasarkan pada prosedur sintesis yang relatif sederhana dan memungkinkan pengaturan komposisi prekursor selama pembentukan material. Kondisi sintesis, termasuk konsentrasi prekursor dan agen pengendap, dapat memengaruhi karakteristik material ZnO yang dihasilkan (Adzra et al., 2022).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi titanium triklorida (TiCl_3), seng asetat dihidrat ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), natrium hidroksida (NaOH), akuades, dan sampel air gambut yang berasal dari Desa Sei Gohong, Kota Palangka Raya. Larutan TiCl_3 yang digunakan memiliki konsentrasi 0,5 M, larutan seng asetat dihidrat memiliki konsentrasi 0,5 M, sedangkan larutan NaOH sebagai agen pengendap memiliki konsentrasi 1,0 M. Seluruh bahan yang digunakan merupakan bahan kimia dengan tingkat kemurnian *pro analysis* (p.a.).

Proses sintesis diawali dengan mencampurkan larutan TiCl_3 dan larutan seng asetat sesuai variasi komposisi yang telah ditentukan. Campuran kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga homogen. Selanjutnya, larutan NaOH 1,0 M ditambahkan secara perlahan sambil dilakukan pengadukan hingga terbentuk endapan. Endapan yang diperoleh didiamkan (*aging*), kemudian dipisahkan melalui proses penyaringan dan dicuci menggunakan akuades hingga mencapai pH netral. Endapan selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu kurang dari 100 °C hingga diperoleh serbuk hasil sintesis. Serbuk kemudian dihaluskan sebelum dilakukan proses karakterisasi.

Karakterisasi material dilakukan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive X-ray (SEM–EDX), dan UV–Visible Spectroscopy (UV–Vis). XRD digunakan untuk mengidentifikasi struktur dan fase kristal serta menghitung ukuran kristal. Perhitungan ukuran kristal dilakukan menggunakan persamaan Scherrer sebagaimana digunakan dalam analisis ukuran kristal berbasis data XRD (Sumardiyasa & Manuaba, 2018).

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

dengan:

λ = panjang gelombang sinar-X yang digunakan

θ = sudut difraksi sinar-X

D = ukuran kristal

K = konstanta yang besarnya bergantung pada faktor bentuk kristal dan bidang difraksi (hkl)

β = pelebaran puncak difraksi berdasarkan *Full Width at Half Maximum* (FWHM) dalam satuan radian.

SEM–EDX digunakan untuk mengamati morfologi permukaan, bentuk dan ukuran partikel, serta komposisi unsur penyusun material. Karakterisasi morfologi penting dilakukan karena perubahan komposisi TiO_2 dan ZnO dapat menghasilkan perbedaan morfologi nanokomposit,

sebagaimana dilaporkan pada penelitian sebelumnya (Safriani et al., 2022). EDX digunakan untuk mengidentifikasi unsur penyusun material hasil sintesis.

UV-Vis digunakan untuk mengevaluasi karakteristik optik dan perubahan absorbansi air gambut setelah proses fotokatalitik. Pengujian aktivitas fotokatalitik dilakukan dengan menambahkan material hasil sintesis ke dalam sampel air gambut, kemudian campuran disinari menggunakan sinar ultraviolet selama waktu penyinaran yang telah ditentukan. Penggunaan TiO₂ untuk fotodegradasi bahan organik pada air gambut telah dilaporkan dalam penelitian sebelumnya (Andayani et al., 2011; Jayadi et al., 2014; Ulfah Ramadhani et al., 2017).

Proses fotokatalitik berkaitan dengan eksitasi elektron pada material semikonduktor akibat penyinaran. Proses tersebut menghasilkan pasangan elektron-hole yang dapat berperan dalam pembentukan spesies oksigen reaktif dan degradasi senyawa organik (Fujishima et al., 2008; Nosaka & Nosaka, 2017). Kombinasi TiO₂ dan ZnO digunakan dalam penelitian ini karena pembentukan heterojungsi dapat memengaruhi pemisahan dan transfer pembawa muatan (Low et al., 2017; Yu et al., 2014).

Efektivitas fotokatalis dievaluasi berdasarkan perubahan nilai absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis serta perubahan pH air gambut setelah proses penyinaran. Persentase penurunan absorbansi dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{Penurunan} = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100\%$$

dengan:

A₀ = absorbansi awal (kontrol)

A_t = absorbansi akhir setelah perlakuan fotokatalitik.

Seluruh proses karakterisasi XRD, SEM-EDX, dan UV-Vis serta pengujian aktivitas fotokatalitik dilakukan sebanyak tiga kali ulangan (*triplo*) pada setiap variasi komposisi nanokomposit. Nilai hasil pengukuran disajikan sebagai nilai rata-rata, sedangkan variasi data dinyatakan dalam bentuk simpangan baku (*standard deviation*).

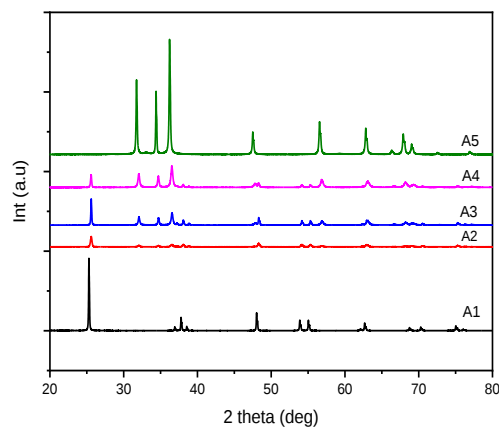
Data hasil karakterisasi dan pengujian fotokatalitik dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan karakteristik kristal, morfologi, komposisi unsur, perubahan absorbansi, dan perubahan pH pada setiap variasi komposisi TiO₂-ZnO untuk menentukan komposisi yang memberikan kinerja fotokatalitik terbaik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi XRD Nanokomposit TiO₂-ZnO

Preparasi dilakukan menggunakan serbuk ZnO dan TiO₂ yang berasal dari prekursor Zn(CH₃COO)₂ dan TiCl₃ melalui metode kopresipitasi. Sintesis nanokomposit TiO₂-ZnO bertujuan menghasilkan material fotokatalis yang mampu meningkatkan efektivitas penjernihan air gambut dari Desa Sei Gohong, Kota Palangka Raya. Karakterisasi menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) dilakukan untuk mengidentifikasi fase kristal, struktur kristal, serta ukuran kristal dari setiap variasi komposisi nanokomposit.

Hasil pola difraksi XRD untuk sampel A1, A2, A3, A4, dan A5 ditunjukkan pada Gambar 1, sedangkan hasil perhitungan ukuran kristal menggunakan persamaan Scherrer disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1. Pola difraksi pada sampel A1,A2,A3,A4 dan A5

Berdasarkan hasil analisis Origin yang mengacu pada perhitungan ukuran kristal menggunakan persamaan(1) dengan nilai FWHM dari puncak-puncak difraksi sinar-X pada disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Ukuran Kristal dan Puncak-Puncak Difraksi XRD Nanopartikel TiO₂-ZnO dan Nanokomposit TiO₂-ZnO

Jenis Sampel	Sampel	Keterangan		Bentuk	h k l	Posisi Puncak (2θ)	FWHM (°)	B (rad)	D (nm)
		TiO ₂	ZnO						
TiO ₂	A1	100%	0%	tetragonal	0 1 1	54,67	0,24285	0,004239	39,24
	A2	75%	25%	tetragonal, hexagonal	0 1 1 1 0 0	49,02	0,41568	0,007255	25,16
Nanokomposit TiO ₂ -ZnO	A3	50%	50%	tetragonal, hexagonal	0 1 1 1 0 0	55,70	0,31603	0,005516	28,79
	A4	25%	75%	tetragonal, hexagonal	0 1 1 1 0 0	54,06	0,31603	0,005516	25,10
ZnO	A5	0%	100%	hexagonal	1 0 0	54,97	0,29100	0,005079	26,15

Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak Origin dan perhitungan persamaan Scherrer, diperoleh ukuran kristal sebesar 39,24 nm untuk A1, 25,16 nm untuk A2, 28,79 nm untuk A3, 25,10 nm untuk A4, dan 26,15 nm untuk A5. Nilai tersebut dihitung berdasarkan FWHM puncak difraksi utama masing-masing sampel. Penggunaan persamaan Scherrer untuk memperkirakan ukuran kristal berdasarkan pelebaran puncak difraksi sejalan dengan pendekatan yang dibahas oleh Sumardiyasa dan Manuaba (2018).

Hasil difraksi sinar-X menunjukkan keberadaan fase kristal yang berkaitan dengan TiO₂ dan ZnO pada variasi sampel. Sampel A2, A3, dan A4 menunjukkan dua fase kristal, yaitu fase anatase TiO₂ dan fase zincite ZnO, sehingga ketiga sampel tersebut menunjukkan karakteristik nanokomposit TiO₂-ZnO. Sampel A1 menunjukkan fase anatase TiO₂, sedangkan A5 menunjukkan fase zincite ZnO.

Pola difraksi TiO₂ pada A1 sesuai dengan referensi Crystallography Open Database (COD) No. 00-230-0450 yang menunjukkan struktur tetragonal fase anatase. Sementara itu, pola difraksi

ZnO pada A5 sesuai dengan COD No. 96-900-4179 yang menunjukkan struktur heksagonal fase zincite. Identifikasi fase menjadi parameter penting karena fase kristal dan karakteristik permukaan TiO_2 berkaitan dengan aktivitas fotokatalitik (Zhang et al., 2008).

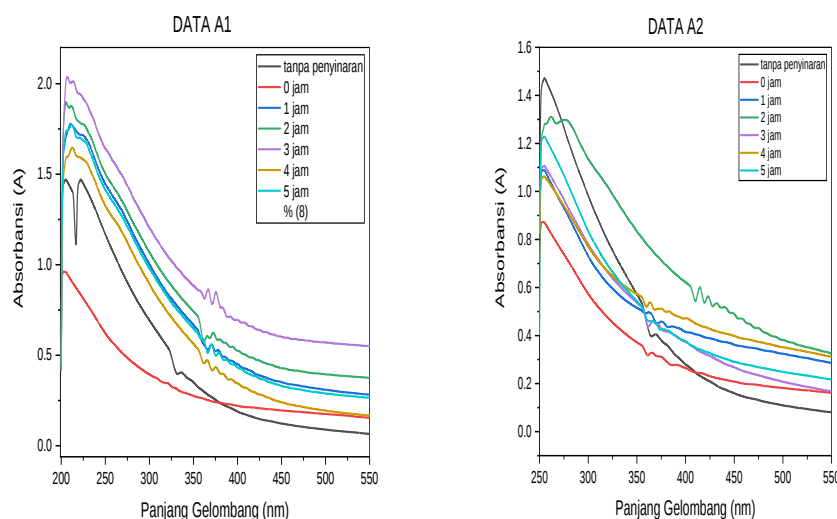
Perbedaan ukuran kristal pada setiap variasi dapat berkaitan dengan perubahan komposisi prekursor selama proses sintesis serta proses pembentukan inti dan pertumbuhan kristal selama kopresipitasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran kristal TiO_2 pada A1 sebesar 39,24 nm, sedangkan ukuran kristal pada material dengan kombinasi $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$ berada pada kisaran 25,10–28,79 nm. Temuan tersebut menunjukkan adanya perbedaan ukuran kristal setelah kombinasi kedua material. Penelitian sebelumnya mengenai TiO_2/ZnO juga menunjukkan bahwa komposisi dan kondisi perlakuan sintesis dapat memengaruhi karakteristik material (Lestari et al., 2012; Safriani et al., 2022; Shofi Nur Aliyah et al., 2021).

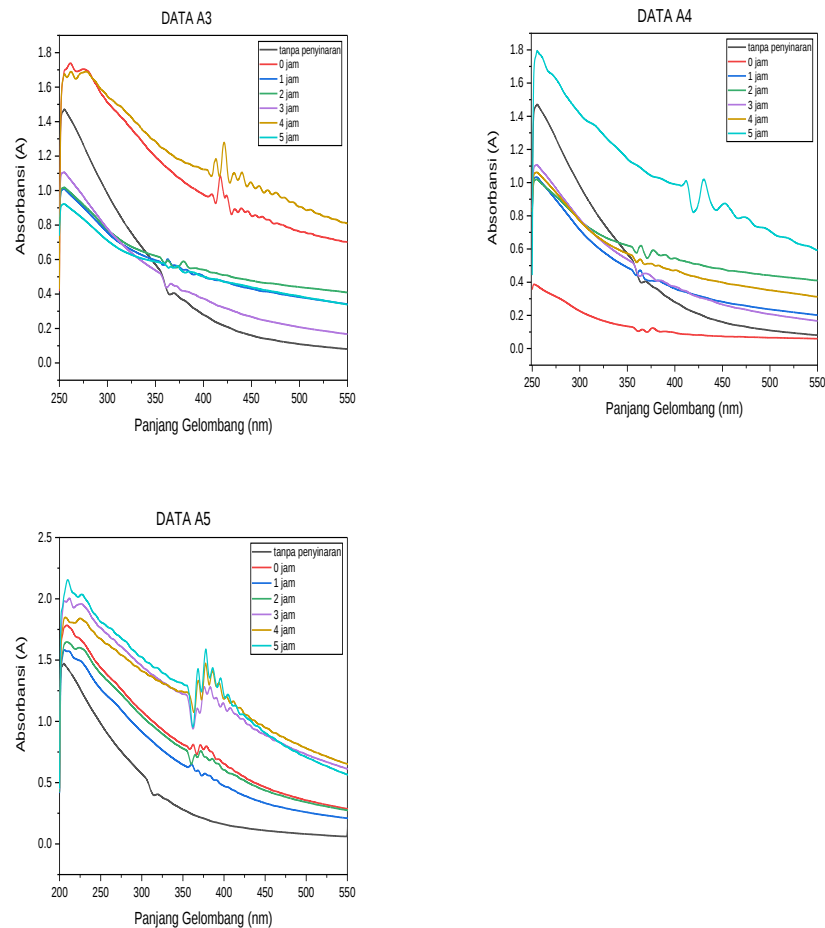
Karakterisasi UV–Vis dan Aktivitas Fotokatalitik

Karakterisasi UV–Vis dilakukan untuk mengevaluasi perubahan absorbansi air gambut setelah proses fotokatalisis. Cahaya ultraviolet digunakan sebagai sumber energi untuk mengaktifkan material semikonduktor. Pada proses fotokatalisis TiO_2 , penyinaran dapat menghasilkan pasangan elektron-hole yang selanjutnya berperan dalam proses oksidasi senyawa organik (Fujishima et al., 2008; Jayadi et al., 2014).

Pengujian dilakukan menggunakan reaktor fotokatalitik tipe *batch* yang dilengkapi satu lampu UV berdaya 10 watt dengan panjang gelombang maksimum 360 nm dan rapat fluks sebesar 0,074 watt/cm². Lampu UV ditempatkan pada jarak 8 cm dari permukaan air gambut. Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 1200 rpm pada suhu kamar agar distribusi fotokatalis tetap tercampur selama proses penyinaran. Dinding reaktor dilapisi bahan reflektif untuk memaksimalkan cahaya yang diterima sampel.

Karakterisasi UV–Vis pada masing-masing sampel ditunjukkan pada Gambar 2.



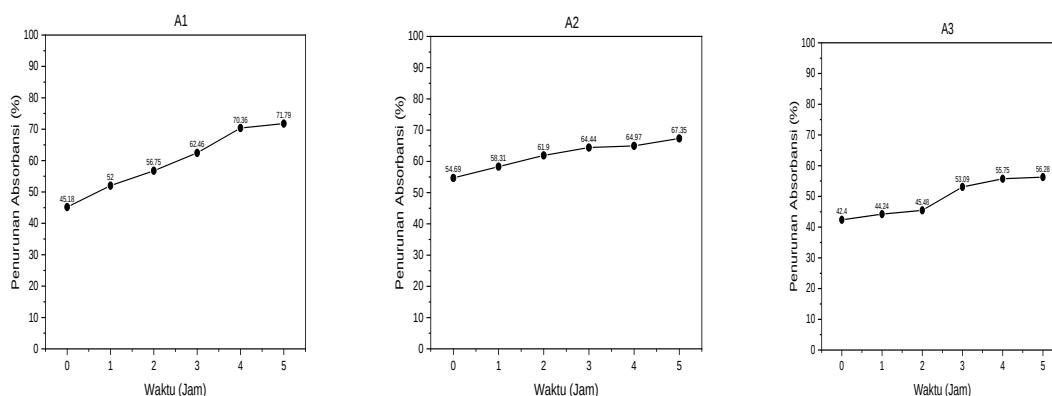


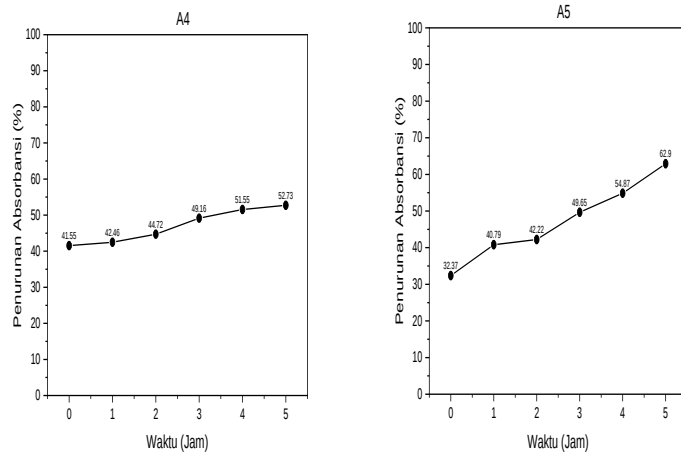
Gambar 2. Karakterisasi dan analisa UV Vis pada sampel A1,A2,A3,A4 dan A5

Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan sebelum pengujian fotokatalitik. Hasil pengukuran menunjukkan absorbansi maksimum pada 211 nm untuk A1, 262 nm untuk A2, 256 nm untuk A3, 254 nm untuk A4, dan 210 nm untuk A5. Perbedaan panjang gelombang maksimum menunjukkan adanya perbedaan respons optik pada masing-masing variasi komposisi material.

Penurunan Absorbansi Air Gambut

Pengaruh lama penyinaran terhadap penurunan absorbansi air gambut ditunjukkan pada Gambar 3.





Gambar 3. Penurunan Abs A1, A2, A3, A4 dan A5

Pengujian dilakukan selama 0, 1, 2, 3, 4, dan 5 jam penyinaran menggunakan sinar ultraviolet. Sampel air gambut diambil setiap satu jam untuk dianalisis menggunakan spektrofotometer UV–Vis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh sampel mengalami penurunan absorbansi seiring bertambahnya waktu penyinaran. Persentase penurunan absorbansi setelah 5 jam berturut-turut adalah 71,79% (A1), 67,35% (A2), 56,28% (A3), 52,73% (A4), dan 62,90% (A5).

Walaupun sampel A1 menunjukkan persentase penurunan absorbansi terbesar, sampel A2 dipilih sebagai komposisi optimum karena mampu memberikan keseimbangan antara efektivitas penurunan absorbansi, peningkatan pH hingga kondisi netral, serta terbentuknya fase nanokomposit TiO₂–ZnO yang paling baik berdasarkan hasil karakterisasi XRD dan SEM–EDX. Oleh karena itu, komposisi 75% TiO₂ : 25% ZnO (A2) dipandang sebagai komposisi yang paling efektif untuk aplikasi fotokatalitik pada penjernihan air gambut.

Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa aktivitas fotokatalitik tidak hanya ditentukan oleh keberadaan dua material semikonduktor, tetapi dapat dipengaruhi oleh komposisi dan karakteristik material yang dihasilkan. Konsep heterojungsi TiO₂/ZnO secara teoritis dapat mendukung pemisahan pembawa muatan (Low et al., 2017; Yu et al., 2014), tetapi besarnya aktivitas fotokatalitik tetap perlu ditentukan berdasarkan hasil eksperimen pada masing-masing komposisi.

Perubahan pH Air Gambut

Nilai pH air gambut sebelum dan sesudah perlakuan fotokatalitik disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai pH air gambut sebelum dan sesudah dilakukan proses fotokatalitik

Sampel	Penyinaran	Sebelum Proses	Sesudah Proses
Air Gambut tanpa Penyinaran		4	4
A1	0 jam	4	4
	1 jam		6
	2 jam		6
	3 jam		6
	4 jam		6
	5 jam		6
A2	0 jam	4	6
	1 jam		4
	2 jam		5

	3 jam		5
	4 jam		6
	5 jam		7
A3	0 jam	4	7
	1 jam		5
	2 jam		5
	3 jam		5
	4 jam		6
	5 jam		6
A4	0 jam	4	6
	1 jam		5
	2 jam		6
	3 jam		6
	4 jam		6
	5 jam		6
A5	0 jam	4	6
	1 jam		5
	2 jam		5
	3 jam		5
	4 jam		6
	5 jam		6

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pH awal seluruh sampel air gambut berada pada pH 4, yang menunjukkan kondisi asam. Setelah proses fotokatalitik berlangsung selama lima jam, terjadi peningkatan nilai pH pada seluruh perlakuan. Peningkatan pH tertinggi diperoleh pada sampel A2, yaitu dari pH 4 menjadi pH 7, sedangkan sampel lainnya mengalami peningkatan hingga kisaran pH 6.

Dengan demikian, pH 4 merupakan kondisi awal (initial pH) air gambut sebelum perlakuan, sedangkan pH 7 merupakan kondisi akhir (final pH) yang berhasil dicapai setelah proses fotokatalitik dan menjadi kondisi optimum hasil penjernihan air gambut. Pernyataan ini menjelaskan bahwa kondisi optimum yang dimaksud dalam penelitian adalah pH akhir setelah perlakuan, bukan kondisi pH awal larutan.

Penurunan absorbansi dan perubahan pH pada penelitian ini perlu dipandang sebagai dua parameter yang saling melengkapi dalam mengevaluasi perubahan karakteristik air gambut setelah perlakuan. Penggunaan TiO_2 untuk degradasi bahan organik pada air gambut telah dilaporkan sebelumnya (Andayani et al., 2011; Jayadi et al., 2014; Ulfah Ramadhani et al., 2017). Mekanisme fotokatalitik berkaitan dengan pembentukan spesies oksigen reaktif yang dapat berperan dalam oksidasi senyawa organik (Nosaka & Nosaka, 2017).

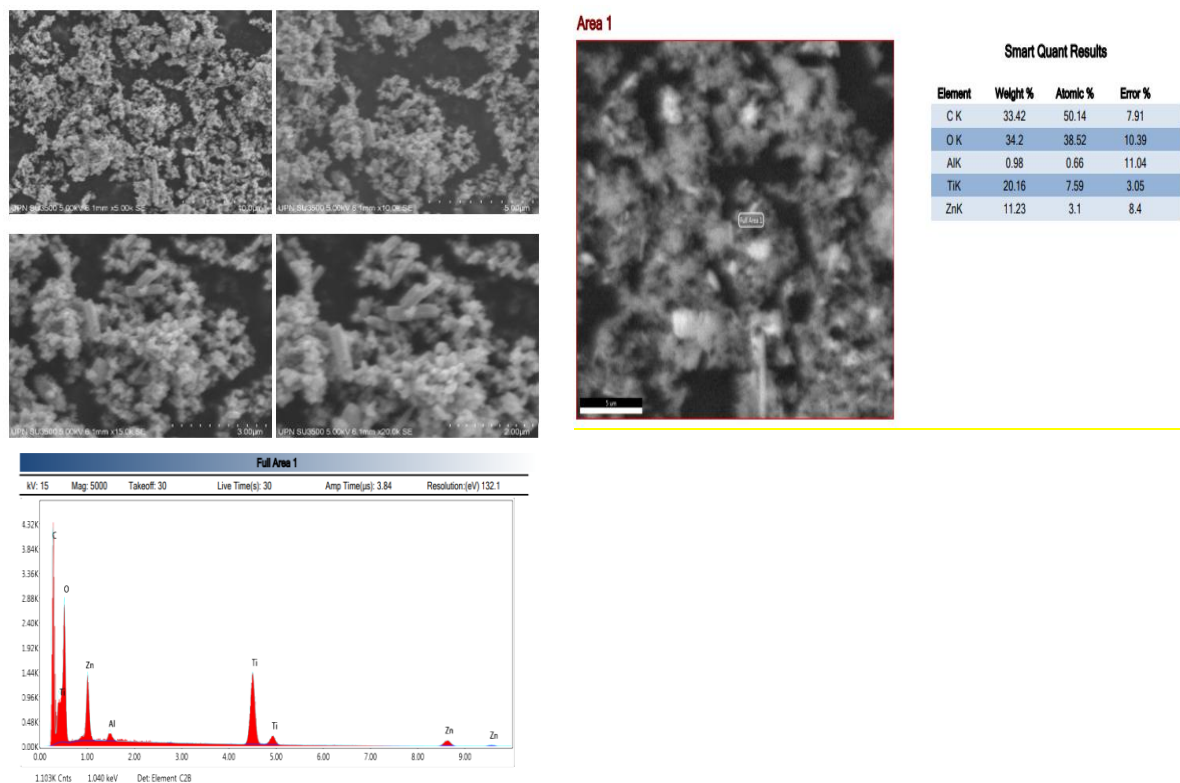
Berdasarkan kombinasi penurunan absorbansi dan perubahan pH, A2 dipilih sebagai sampel terbaik untuk karakterisasi lebih lanjut menggunakan SEM–EDX.

Karakterisasi SEM–EDX

Sampel A2 dengan komposisi 75% TiO_2 : 25% ZnO dipilih untuk karakterisasi SEM–EDX berdasarkan hasil pengujian fotokatalitik. SEM–EDX digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan, ukuran partikel, serta komposisi unsur penyusun material. Penggunaan SEM untuk

mengamati morfologi nanokomposit TiO_2/ZnO juga telah dilakukan dalam penelitian sebelumnya (Safriani et al., 2022).

Hasil karakterisasi SEM–EDX ditunjukkan pada Gambar 4.



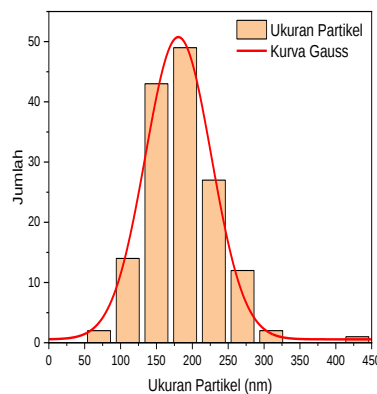
Gambar 4. Hasil Karakterisasi SEM-EDX dari $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$

Hasil pengamatan SEM menunjukkan bahwa nanokomposit $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$ memiliki morfologi berupa agregat partikel dengan bentuk tidak seragam, terdiri atas butiran berbentuk hampir bulat (*spherical*) dan sebagian memanjang (*rod-like*). Sebagian partikel mengalami aglomerasi sehingga membentuk kelompok-kelompok partikel berukuran lebih besar. Fenomena ini umum dijumpai pada material hasil sintesis kopresipitasi akibat tingginya energi permukaan nanopartikel yang mendorong terjadinya penggumpalan selama proses pengeringan maupun kalsinasi.

Analisis EDX menunjukkan keberadaan unsur utama penyusun nanokomposit, yaitu titanium (Ti), seng (Zn), dan oksigen (O). Selain itu, terdeteksi pula unsur aluminium (Al) dalam jumlah yang relatif kecil. Keberadaan unsur Al diduga berasal dari kontaminasi selama proses preparasi sampel atau dariudukan (*sample holder*) SEM sehingga tidak memengaruhi pembentukan fase utama nanokomposit $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$.

Distribusi Ukuran Partikel

Distribusi ukuran partikel hasil analisis SEM ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Distribusi ukuran butiran dari gambar SEM-EDX

Ukuran partikel dianalisis menggunakan perangkat lunak ImageJ, kemudian distribusi ukuran partikel dimodelkan menggunakan pendekatan kurva Gaussian. Berdasarkan pendekatan tersebut diperoleh ukuran partikel rata-rata sebesar $180,51 \pm 2,03$ nm. Sementara itu, apabila dihitung menggunakan rata-rata langsung dari seluruh data hasil pengukuran, diperoleh ukuran partikel sebesar $188,37 \pm 48,66$ nm.

Perbedaan nilai simpangan baku antara kedua metode disebabkan oleh perbedaan pendekatan statistik yang digunakan. Pendekatan kurva Gaussian hanya memperhitungkan distribusi utama data sehingga menghasilkan simpangan baku yang relatif kecil. Sebaliknya, metode rata-rata langsung memasukkan seluruh data hasil pengukuran, termasuk partikel-partikel berukuran sangat kecil maupun sangat besar akibat aglomerasi, sehingga menghasilkan simpangan baku yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran partikel nanokomposit belum sepenuhnya homogen dan masih terdapat variasi ukuran butiran yang cukup besar sebagai konsekuensi dari proses sintesis kopresipitasi. Meskipun demikian, distribusi ukuran partikel masih berada pada rentang nanometer sehingga material yang dihasilkan tetap memenuhi karakteristik sebagai nanokomposit.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode Gaussian lebih merepresentasikan ukuran partikel dominan pada sampel, sedangkan rata-rata langsung menggambarkan keseluruhan variasi ukuran partikel yang terdapat pada material. Oleh karena itu, kedua metode saling melengkapi dalam menjelaskan karakteristik morfologi nanokomposit $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$ yang dihasilkan.

Secara keseluruhan, hasil XRD menunjukkan keberadaan fase anatase TiO_2 pada sampel yang mengandung TiO_2 dan fase zincite ZnO pada sampel yang mengandung ZnO , sedangkan A2, A3, dan A4 menunjukkan keberadaan kedua fase tersebut. Hasil SEM-EDX pada A2 juga menunjukkan keberadaan unsur Ti, Zn, dan O. Karakteristik tersebut mendukung identifikasi A2 sebagai material berbasis $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$ yang selanjutnya dievaluasi berdasarkan kinerja fotokatalitiknya. Pengembangan material berbasis TiO_2 dan ZnO serta pemanfaatannya sebagai semikonduktor fotokatalis sejalan dengan kajian terdahulu mengenai material TiO_2/ZnO (Sutanto & Wibowo, 2015; Lestari et al., 2012).

Dengan demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$ memengaruhi karakteristik kristal dan kinerja fotokatalitik terhadap air gambut. A1 memberikan penurunan absorbansi tertinggi, sedangkan A2 memberikan kombinasi hasil yang dipilih sebagai kondisi optimum berdasarkan penurunan absorbansi, peningkatan pH hingga 7, dan keberadaan dua fase kristal $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penentuan komposisi optimum perlu mempertimbangkan lebih dari satu parameter karakteristik dan kinerja material.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, berhasil dilakukan sintesis dan karakterisasi nanokomposit TiO₂-ZnO yang berasal dari prekursor Zn(CH₃COO)₂ dan TiCl₃ menggunakan metode kopresipitasi. Hasil karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) menunjukkan bahwa nanokomposit yang dihasilkan memiliki fase kristal TiO₂ dan ZnO dengan struktur kristal yang sesuai, sedangkan karakterisasi SEM-EDX pada sampel A2 menunjukkan morfologi partikel yang relatif homogen dengan ukuran partikel rata-rata sebesar 180,51 ± 2,03 nm berdasarkan pendekatan kurva Gaussian. Pengujian aktivitas fotokatalitik menggunakan UV-Visible Spectroscopy (UV-Vis) menunjukkan bahwa nanokomposit A2 (75% TiO₂ : 25% ZnO) memiliki kinerja terbaik dalam proses penjernihan air gambut, ditandai dengan penurunan absorbansi sebesar 67,35% setelah 5 jam penyinaran sinar ultraviolet serta mampu meningkatkan pH air gambut dari 4 menjadi 7, sehingga kualitas air menjadi lebih baik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nanokomposit TiO₂-ZnO berpotensi dikembangkan sebagai material fotokatalis yang efektif untuk pengolahan air gambut, khususnya pada daerah yang memiliki sumber air gambut melimpah seperti Kalimantan Tengah. Penggunaan metode kopresipitasi yang sederhana, biaya sintesis yang relatif rendah, serta kemampuan fotokatalitik yang baik menjadikan material ini berpotensi untuk diaplikasikan pada sistem pengolahan air bersih dalam skala yang lebih besar. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji pengaruh variasi ukuran partikel, konsentrasi fotokatalis, intensitas dan jenis sumber cahaya, serta waktu penyinaran terhadap efisiensi degradasi senyawa organik pada air gambut. Selain itu, diperlukan pengujian pada skala pilot maupun skala lapangan (*pilot scale*) serta evaluasi stabilitas dan penggunaan ulang (*reusability*) nanokomposit TiO₂-ZnO agar dapat mendukung penerapan teknologi fotokatalisis secara berkelanjutan pada sistem pengolahan air gambut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adzra, Z., Hadisantoso, E. P., & Setiadji, S. (2022). Pengaruh konsentrasi prekursor, konsentrasi agen pengendap, kecepatan, dan waktu pengadukan pada sintesis ZnO nanopartikel dan aplikasinya untuk penanganan metilen biru secara fotokatalisis. *Gunung Djati Conference Series*, 7, 109–119.
- Andayani, W., & Bagyo, A. N. M. (2011). TiO₂ beads for photocatalytic degradation of humic acid in peat water. *Indonesian Journal of Chemistry*, 11(3), 253–257. <https://doi.org/10.22146/ijc.21389>
- Apriani, R., Faryuni, I. D., & Wahyuni, D. (2013). Pengaruh konsentrasi aktivator kalium hidroksida (KOH) terhadap kualitas karbon aktif kulit durian sebagai adsorben logam Fe pada air gambut. *Prisma Fisika*, 1(2), 82–86. <https://doi.org/10.26418/pf.v1i2.2931>
- Chen, D., Cheng, Y., Zhou, N., Chen, P., Wang, Y., Li, K., Huo, S., Cheng, P., Peng, P., Zhang, R., Wang, L., Liu, H., Liu, Y., & Ruan, R. (2020). Photocatalytic degradation of organic pollutants using TiO₂-based photocatalysts: A review. *Journal of Cleaner Production*, 268, 121725. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121725>
- Dari, A. W., Frieda, & Meilawaty, O. (2021). Pengaruh air gambut sebagai campuran beton terhadap kuat tekan beton di Kota Palangka Raya. *Jurnal Teknik: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan*, 5(1), 44–55. <https://doi.org/10.52868/jt.v5i1.4530>
- Fujishima, A., Zhang, X., & Tryk, D. A. (2008). TiO₂ photocatalysis and related surface phenomena. *Surface Science Reports*, 63(12), 515–582. <https://doi.org/10.1016/j.surfrep.2008.10.001>
- Ismiati, Fauziah, I., & Rahmiati. (2020). Isolasi dan karakteristik bakteri pada air gambut di kawasan Desa Sungai Daun Kecamatan Pasir Limau Kapas Kabupaten Rokan Hilir Provinsi Riau. *Jurnal Ilmiah Biologi UMA (JIBIOMA)*, 2(1), 39–45.

- Istighfarini, S. A. E., Daud, S., & Hs, E. (2017). Pengaruh massa dan ukuran partikel adsorben sabut kelapa terhadap efisiensi penyisihan Fe pada air gambut. *JOM FTEKNIK*, 4(1), 1–8.
- Jayadi, S. F., Destiarti, L., & Sitorus, B. (2014). Pembuatan reaktor fotokatalis dan aplikasinya untuk degradasi bahan organik air gambut menggunakan katalis TiO₂. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 3(3), 55–58.
- Lestari, D., Sunarto, W., & Susatyo, E. B. (2012). Preparasi nanokomposit ZnO/TiO₂ dengan sonokimia serta uji aktivitasnya untuk fotodegradasi fenol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 1(1). <https://doi.org/10.15294/ijcs.v1i1.574>
- Low, J., Yu, J., Jaroniec, M., Wageh, S., & Al-Ghamdi, A. A. (2017). Heterojunction photocatalysts. *Advanced Materials*, 29(20), 1601694. <https://doi.org/10.1002/adma.201601694>
- Nosaka, Y., & Nosaka, A. Y. (2017). Generation and detection of reactive oxygen species in photocatalysis. *Chemical Reviews*, 117(17), 11302–11336. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00161>
- Safriani, L., Septyani, A., & Aprilia, A. (2022). Pengaruh penambahan nanopartikel ZnO terhadap morfologi nanokomposit TiO₂/ZnO. *Jiif (Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika)*, 6(2), 182–188. <https://doi.org/10.24198/jiif.v6i2.41201>
- Aliyah, S. N., & Maharani, D. K. (2021). Pengaruh suhu kalsinasi komposit Zn terhadap karakteristik komposit TiO₂/ZnO. *Unesa Journal of Chemistry*, 10(1), 79–84. <https://doi.org/10.26740/ujc.v10n1.p79-84>
- Suherman, D., & Sumawijaya, N. (2013). Menghilangkan warna dan zat organik air gambut dengan metode koagulasi-flokulasi suasana basa. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, 23(2), 14. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2013.v23.75>
- Sumadiyasa, M., & Manuaba, I. B. S. (2018). Determining crystallite size using Scherrer formula, Williamson-Hull plot, and particle size with SEM. *Buletin Fisika*, 19(1), 28–34. <https://doi.org/10.24843/BF.2018.v19.i01.p06>
- Sutanto, H., & Wibowo, S. (2015). *Semikonduktor fotokatalis seng oksida dan titania: Sintesis, deposisi dan aplikasi*. Penerbit Telescope.
- Ramadhani, S. U., Destiarti, L., & Syahbanu, I. (2017). Degradasi bahan organik pada air gambut dengan fotokatalis TiO₂ lapis tipis. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 6(1), 50–56.
- Wibowo, E. A. P., Aji, N. R., Ujiningtyas, R., Mayasari, T., & Widiarti, N. (2016). Fotokatalis TiO₂/kitosan dan TiO₂/bentonit sebagai penjernih air embung di lingkungan Unnes. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 5(2), 807–812. <https://doi.org/10.23887/jst-undiksha.v5i2.8580>
- Yu, J., Low, J., Xiao, W., Zhou, P., & Jaroniec, M. (2014). Enhanced photocatalytic activity of TiO₂ by heterojunction engineering. *Journal of the American Chemical Society*, 136(25), 8839–8842. <https://doi.org/10.1021/ja500603d>
- Zhang, J., Xu, Q., Feng, Z., Li, M., & Li, C. (2008). Importance of the relationship between surface phases and photocatalytic activity of TiO₂. *Angewandte Chemie International Edition*, 47(9), 1766–1769. <https://doi.org/10.1002/anie.200704788>