Dalton : J. Pend. Kim. dan Ilmu. Kim. (e-ISSN 2621-3060) Vol. 9, No. 1, 2026
DOI: http://dx.doi.org/10.31602/dl.v9i1.22902

Dalton : Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia

ORIGINAL ARTICLE

SINTESIS TiO_2 BERBASIS EKSTRAK ETANOL KULIT BUAH DURIAN SEBAGAI FOTOKATALIS ZAT WARNA *INDIGO CARMINE*

Dosi Novita Sari[1] · Khoiriah[2]* · Romy Dwipa Yamesa Away[1]

Received: 02 Februari 2026 | Revised: 05 Maret 2026 | Accepted: 06 Maret 2026 | Published: 30 April 2026
UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal Uniska-Daltonjurnal 2026

Abstrak Penelitian ini bertujuan mensintesis titanium dioksida (TiO_2) melalui pendekatan *green synthesis* menggunakan ekstrak etanol kulit buah durian (*Durio zibethinus*) sebagai agen penstabil alami serta mengevaluasi aktivitas fotokatalitiknya dalam degradasi zat warna *indigo carmine*. Metode penelitian ini meliputi ekstraksi etanol kulit buah durian, analisis Total Phenolic Content (TPC) dan Total Flavonoid Content (TFC), sintesis TiO_2 menggunakan metode sol-gel, serta karakterisasi material menggunakan FTIR, XRD, dan UV-Vis DRS. Aktivitas fotokatalitik TiO_2 diuji melalui degradasi *indigo carmine* di bawah penyinaran sinar UV. Hasil menunjukkan terbentuknya TiO_2 fase anatase dengan ukuran kristalin 8.87 nm, lebih kecil dibandingkan TiO_2 komersial yaitu 48.81 nm. TiO_2 hasil sintesis memiliki energi celah pita yang lebih rendah dan aktivitas fotokatalitiknya yang lebih tinggi dengan efisiensi degradasi hampir ±99% setelah 60 menit.

Katakunci Titanium Dioksida · *Green Synthesis* · Kulit Buah Durian · Fotokatalis · *Indigo Carmine*

This is an open access article under the CC-BY 4.0 License. Copyright © 2026 by authors.

✉ Khoiriah
khoi013@brin.go.id

[1]Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang

[2]Pusat Penelitian Katalisis, Badan Riset dan Inovasi Nasional

Abstract This study aimed to synthesize titanium dioxide (TiO_2) through a green synthesis approach using ethanol extract of durian peel (Durio zibethinus) as a natural stabilizing agent and to evaluate its photocatalytic activity in the degradation of indigo carmine dye. The research methods included ethanol extraction of durian peel, analysis of Total Phenolic Content (TPC) and Total Flavonoid Content (TFC), synthesis of TiO_2 using the sol-gel method, and material characterization using FTIR, XRD, and UV-Vis DRS. The photocatalytic activity of TiO_2 was evaluated through the degradation of indigo carmine under UV irradiation. The results showed that the synthesized TiO_2 exhibited an anatase phase with a crystallite size of 8.87 nm, which was smaller than that of commercial TiO_2 48.81 nm. The synthesized TiO_2 also exhibited a lower band gap energy and higher photocatalytic activity compared to commercial TiO_2, achieving nearly ±99% degradation efficiency of indigo carmine after 60 minutes of UV irradiation.

Keywords Titanium Dioxide · Green Synthesis· Durian Peel · Photocatalyst · Indigo Carmine

PENDAHULUAN

Zat warna merupakan salah salah satu sumber pencemaran utama dalam air limbah industri tekstl karena keberadaanya yang sulit terdegradasi dan berpotensi mencemari lingkungan perairan. Salah satu zat warna sintetis yang banyak digunakan adalah *indigo carmine*, yang diaplikasikan dalam berbagai dalam industri tekstil, farmasi, kosmetik, dan pangan (Tabti *et al*., 2022). Dalam industri tekstil, *indigo carmine* digunakan pada proses pewarnaan kain denim (Choi, 2021). *Indigo carmine* atau indigotine merupakan zat warna anionik dengan struktur

aromatik yang memiliki sistem kromofor terkonjugasi (ikatan C=C) yang diapit oleh gugus karbonil (C=O) dan gugus sulfonat (SO_3^-), sehingga bersifat larut dalam air dan stabil secara kimia (Ristea & Zarnescu, 2023). Sruktur tersebut menyebabkan senyawa ini resisten terhadap degradasi biologis. Keberadaannya di perairan dapat menghambat penetrasi cahaya matahari, menurunkan aktivitas fotosintesis organisme akuatik, serta berpotensi menimbulkan efek tosik. Oleh karena itu, diperlukan metode pengelolahan yang efektif untuk mendegradasi zat warna tersebut menjadi senyawa yang lebih sederhana dan tidak berbahaya (Wang *et al*., 2022)

Metode pengolahan limbah konvesional seperti koagulasi, adsorpsi, dan filtrasi umunya hanya memindahkan polutan dari fase ke fase lain tanpa mendegradasinya secara menyeluruh, sehingga berpotensi menghasilkan limbah sekunder. Sebagai alternatif, fotokatalis heterogen menggunakan material semikonduktur telah banyak dikembangkan karena mampu mendegradasi senyawa organik kompleks menjadi CO_2, H_2O, senyawa intermediet organik, dan ion anorganik melalui pembentukan radikal hidroksil (•OH). Titanium dioksida (TiO_2) merupakan fotokatalis yang paling banyak digunakan karena memiliki celah pita energi yang sesuai, stabilitas kimia dan termal yang tinggi, tidak bersifat toksik, serta biaya produksi yang relatif rendah. Namun, sintesis TiO_2 secara konvesional umumnya melibatkan agen penstabil kimia sintetis yang berpotensi mencemari lingkungan (Chen *et al*., 2020).

Dalam beberapa tahun terakhir, pendekatan *green synthesis* berkembang sebagai agen penstabil (Anaya-esparza *et al*., 2024). Beberapa penelitian telah malaporkan degradasi *indigo carmine* menggunakan fotokatalis berbasis TiO_2, seperti komposit TiO_2/karbon aktif dari limbah biomasaa dengan agen penstabil gliserol, TiO_2 termodifikasi zeolit alam, serta lempung terpilar TiO_2 yang disintesis menggunakan surfakatan (Domínguez *et al*., 2024; Rakhmawaty *et al*., 2024; Zhan *et al*., 2022). Meskipun meningkatkan efisiensi degradasi, sebagian besar pendekatan tersebut masih bergantung pada material pendukung tambahan dan agen penstabil kimia sintetis yang dapat meningkatkan kompeleksitas proses serta dampak lingkungan.

Kulit buah durian (*Durio zibethinus*) merupakan limbah pertanian yang melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal. Kulit durian diketahui mengandung metabolit sekunder seperti flavonoid, senyawa fenolik, dan polifenol yang memiliki gugus hidroksil (OH) aktif, sehingga berpotensi berperan dalam proses pembentukkan dan stabilitas partikel TiO_2 (Tran *et al*., 2024). Penelitian oleh (Liang *et al*., 2025) melaporkan sintesis CuO menggunakan ekstrak kulit durian (*Durio zibethinus*) sebagai agen pereduksi dan penstabil menghasilakn aktivitas fotokatalitik yang baik dengan efisiensi penurunan COD sebesar 79%. Pemanfaatan ekstrak etanol kulit durian sebagai agen penstabil dalam *green syhthesis* diharapakan mampu menghasilkan material TiO_2 dengan karakteristik yang baik sekaligus mengurangi dampak lingkungan dari proses sintesis. Etanol dipilih sebagai pelarut karena memiliki polaritas menengah yang efektif mengekstraksi senyawa fenolik dan flavonoid lebih tinggi dibandingkan dengan pelarut metanol, aseton, dan heksana (Tran *et al*., 2024). Dimana pelarut etanol bersifat relatif aman dan rendah toksitas sehingga cocok untuk prinsip *green synthesis*. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis TiO_2 berbasis ekstrak etanol kulit buah durian melalui pendekatan *green synthesis* serta mengevaluasi aktivitas fotokatalitiknya dalam degradasi zat warna *indigo carmine* di bawah penyinaran lampu UV. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan fotokatalis ramah lingkungan sekaligus meningkatkan pemanfaatan limbah biomassa sebagai bahan pendukung sintesis material anorganik. Dengan demikian, kebaruan dari penelitian ini terletak pada penggunaan ekstrak etanol kulit buah durian sebagai agen penstabil alami dalam sintesis TiO_2 secara lebih ramah lingkungan serta penerapannya sebagai fotokatalis dalam degradasi zat warna *indigo carmine*.

METODE PENELITIAN

Bahan

Titanium (IV) isopropoksida (TTIP, 97%) dari Sigma Aldrich digunakan sebagai prekursor utama dalam sintesis TiO_2. Etanol dari Smart Lab sebagai pelarut. Akuadest sebagai hidrolisis, Etanol 96% sebagai pelarut ekstraksi kulit buah durian, kulit buah durian dari pasar lokal serpong untuk sumber ekstrak bermediasi untuk proses sintesis hijau, zat warna *indigo carmine* dari sigma aldrich sebagai polutan organik. Asam klorida (HCl, Merck) dan natrium hidroksida (NaOH,Merck) digunakan untuk pengaturan pH larutan. Asam galat (Merck) dan kuersetin (Merck) digunakan sebagai standar acuan dalam penentuan Total Phenolic Content (TPC) dan Total Flavonoid Content (TFC), natrium karbonat (Na_2CO_3, Merck), pereaksi Folin-Ciocalteu, Natrium nitrit ($NaNO_2$, Merck) dan Aluminium Klorida ($AlCl_3$, Merck).

Preparasi dan Ekstrasi Etanol Kulit Buah Durian

Kulit buah durian terlebih dahulu dibersihkan dari kotoran menggunakan air mengalir, kemudian dipotong menjadi ukuran kecil dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 50 ℃ hingga kering. Selanjutnya dihaluskan menggunakan grinder dan diayak dengan saringan berukuran 60 mesh untuk memperoleh serbuk kulit durian yang homogen. Metode maserasi kulit durian dilakukan dengan perbandingan 1: 10 (b/v) dan pelarut etanol 96%. Proses maserasi dilakukan selama 72 jam pada suhu ruang. Setelah proses maserasi selesai, campuran disaring untuk memisahkan filtrat menggunakan corong buchner yang dilapisi kertas saring Whatman No.1. filtrat kemudian diuapkan menggunakan rotary evaporator pada suhu 50 ℃ selama 1 jam hingga diperoleh ekstrak kental. Pembuatan ekstrak kulit buah durian mengacu pada metode yang dilaporkan oleh (Raaf *et al*., 2024).

Uji Total phenolic contect (TPC) dan Total Flavonoid Content (TFC)

Pengujian Total Phenolic Content (TPC) dan Total Flavonoid Content (TFC) dilakukan terhadap ekstrak kulit buah durian dengan pelarut etanol. Analisis TPC dilakukan menggunakan asam galat sebagai standar dengan konsentrasi 0, 50, 100, 200, 300, dan 500 ppm yang disiapkan dari larutan stok 1000 ppm menggunakan pelarut teknis. Sebanyak 100 µL akuades, 150 µL larutan Na_2CO_3, dan 50 µL pereaksi Folin-Ciocalteu, kemudian diamkan selama 1 jam. Absorbansi larutan diukur pada panjang gelombang 765 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Analisis TFC dilakukan menggunakan kuersetin sebagai standar dengan konsentrasi 0, 50, 100, 200, 300, dan 500 ppm yang disiapkan dari larutan stok 1000 ppm menggunakan pelarut teknis. Sebanyak 100 µL larutan standar dicampurkan dengan 140 µL akuades, 30 µL larutan $NaNO_2$, larutan $AlCl_3$, dan 400 µL larutan NaOH. Absorbansi larutan kemudian diukur pada panjang gelombang 510 nm menggunakan spektrofotometri UV-Vis (Al *et al*., 2017).

Sintesis TiO_2 dengan Ekstrak Kulit Buah Durian

TiO_2 disintesis menggunakan metode sol-gel. Larutan titanium tetraisopropoksida (TTIP) (0,3 M) dalam etanol pro analysis (p.a) disiapkan dan dihidrolisis melalui penambahan bertahap dengan akuades serta ekstrak etanol kulit buah durian dengan perbandingan volume TTIP: etanol: air: ekstrak yaitu 2:5:1:1 (v/v). Proses sintesis dilakukan dibawah pengandukan magnetik strier pada kecepatan 500 rpm selama 24 jam pada suhu ruang. Gel yang terbentuk kemudian disentrifugasi pada kecepatan 9.500 rpm selama 8 menit, gel yang terbentuk disentrifugasi dan dicuci tiga kali dengan akuades, dan endapan kuning dikeringkan pada suhu 80 ℃ selama 24 jam dan dikalsinasi pada suhu 500 ℃ selama 2 jam dan digerus hingga diperoleh serbuk TiO_2 bewarna putih (Khoiriah & Putri, 2024). TiO_2 komersial digunakan sebagai pembanding.

Karakaterisasi Hasil Sintesis TiO_2

TiO_2 hasil sintesis diidentifikasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR, Bruker Tensor II) pada rentang bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1} untuk melihat gugus fungsi. Struktur kristalin TiO_2 dianalisis menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD, Rigaku SmartLab) dengan radiasi Cu Kα (λ = 1,54 Å), sedangkan ukuran kristalit rata-rata dihitung menggunakann persamaan Scherrer. Celah pita optik ditentukan melalui UV-Vis *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS).

Uji Aktivitas Fotokatalisis TiO_2 pada Degradasi *Indigo carmine*

Kinerja fotokatalitik TiO_2 diuji melalui degradasi zat warna *indigo carmine* di bawah penyinaran UV. Larutan *indigo carmine* 10 ppm dicampur dengan 0.1 g TiO_2 dan diaduk dalam kondisi gelap selama 15 menit untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi-desorpsi. Kemudian disinari menggunakan lampu UV (λ = 254 nm, 15 w) selama 60 menit.

Pengambilan sampel sebanyak 5 ml dilakukan setiap 15 menit, diikuti dengan sentrifugasi pada 10.000 rpm selama 10 menit untuk memisahkan katalis. Larutan hasil sentrifugasi dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis (Genesys 150, Thermi Scientific) pada rentang 500-700 nm. Persentase degradasi dihitung berdasarkan persamaan (1) (Aritonang *et al*., 2025)

$$\text{Degradasi } (\%) = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100\% \qquad (1)$$

A_0 = Absorbansi awal larutan *indigo carmine*
A_t = Absorbansi akhir larutan *indigo carmine*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji Total Phenolic Content (TPC) dan Total Flavonoid Content (TFC)

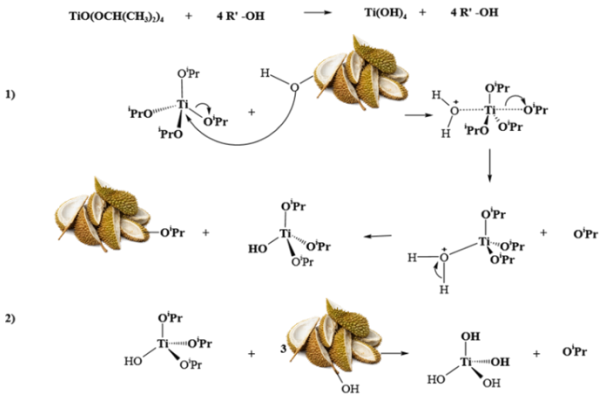
Tabel 1. Hasil Uji Total Phenolic Content (TPC) dan Total Flavonoid Content (TFC) ekstrak Etanol kulit buah durian

TPC (Total *Phenolic Content*) (GAE/g^{-1})	TFC (Total *Flavonoid Content*) (QE/g^{-1})
39.91	24.01

Berdasarkan Tabel 1. hasil analisis kandungan senyawa bioktif pada ekstrak kulit buah durian menunjukkan nilai TPC yang lebih tinggi dibandingkan TFC mengindikasikan ekstrak etanol kulit buah durian mengandung senyawa fenolik.kandungan senyawa fenolik menujukkan potensi ekstrak etanol kulit buah durian dalam mencegah agregasi partikel TiO_2, senyawa fenolik dapat bertindak sebagai agen penstabil yang melapisi permukaan TiO_2, memberikan penghalang sterik meningkatkan kestabilan serta dispersi partikel. Senyawa fenolik dan flavonoid diketahui memiliki gugus hidroksil (-OH) yang berperan dalam proses sintesis nanopartikel, khususnya sebagai agen penstabil. Gugus fungsi tersebut mampu berinteraksi dengan ion titanium melalui mekanisme kompleksasi atau ikatan koordinasi, sehingga dapat mengontrol laju hidrolisis dan kondensasi prekursor titanium selama sintesis TiO_2 (Alcazar *et al*., 2026).

Sintesis dan Karakterisasi TiO_2

Nanopartikel TiO_2 berhasil disintesis melalui pendekatan *green synthesis* menggunakan ekstrak etanol kulit durian sebagai agen penstabil pada metode sol-gel suhu ruang. Titanium tetra isopropoksida $(Ti(OCH_9CH_3)_2)_4$ digunakan sebagai prekursor, sedangkan etanol berfungsi sebagai pelarut untuk menghasilkan sistem reaksi yang homogen melalui pengandukkan kontinu.



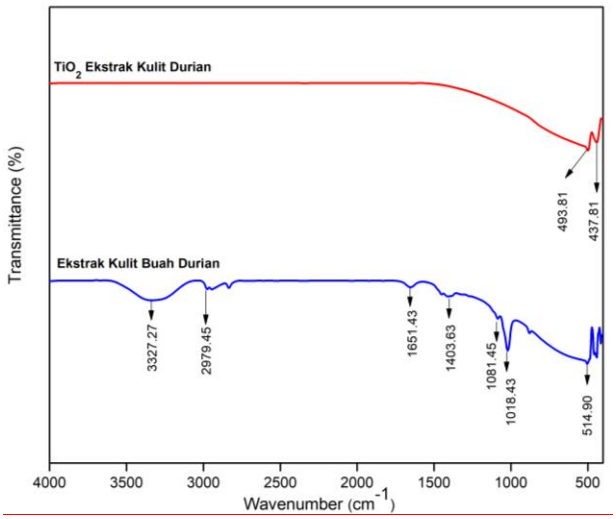
Gambar 1. Mekanisme hidrolisis reaksi pembentukkan TiO_2 menggunakan ekstrak etanol kulit buah durian.

Proses sintesis diawali dengan reaksi hidrolisis setelah penambahan akuadest dan ekstrak kulit durian. Hidrolisis terjadi melalui mekanisme substitusi nukleofilik, dimana gugus alkoksida ($-OCH(CH_3)_2$) pada prekursor TTIP digantikan oleh gugus hidroksil (-OH) dari air dan senyawa bioaktif dalam ekstrak. Seperti gambar 1 Reaksi ini menghasilkan gugus Ti-OH dan isopropanol sebagai produk samping, serta membentukan senyawa berupa titanium hidroksida ($Ti(OH)_4$) (Deliza *et al*., 2025)

Ekstrak etanol kulit durian mengandung flavonoid dan senyawa fenolik yang kaya gugus hidroksil, sehingga berperan sebagai agen penghidrolisis dan penstabil. Gugus (-OH) yang bersifat nukleofilik mempercepat proses hidrolisis, sementara biomolekul organik bertindak sebagai *capping agent* alami mengontrol pertumbuhan inti partikel (Singh *et al*., 2025) . Selanjutnya kondensasi antara gugus Ti-OH menghasilkan ikatan Ti-O-Ti yang membentukan jaringan gel TiO_2.

Karakterisasi *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*

Spektrum FTIR ekstrak etanol kulit buah durian seperti pada gambar 2 menunjukkan pita serapan khas senyawa bioktif, terutama fenolik dan flavonoid.



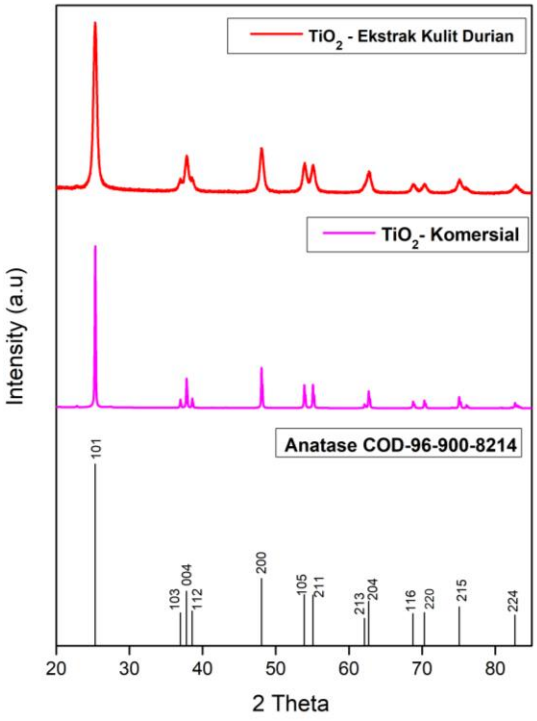
Gambar 2. Spektrum FTIR

Pita serapan lebar 3327.27 cm^{-1} berkaitan dengan vibrasi ulur gugus O-H, yang merupakan karakteristik senyawa fenolik. Pita pada 2979.45 cm^{-1} menujukkan vibrasi ulur C-H alifatik, sedangkan pita pada 1651.43 cm^{-1} diasosiasikan dengan vibrasi ulur C=O atau C=C aromatik. Pita pada 1403.63 cm^{-1} berhubungan dengan vibrasi tekuk O-H fenolik atau C-H aromatik, sementara pita pada 1081.45 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur C-O, yang mengonfirmasi keberadaan gugus alkohol dalam ekstrak (Pasieczna-Patkowska *et al*., 2025).

Pita pada 514.90 cm^{-1} diduga berkaitan dengan vibrasi ikatan anorganik. Pada spektrum TiO_2- ekstrak kulit durian, pita serapan dominan pada 493.81 cm^{-1} dan 437.81 cm^{-1} merupakan karakteristik vibrasi ulur ikatan Ti-O-Ti dan Ti-O yang menegaskan terbentuknya TiO_2 (Saravanan & Dubey, 2021). Berkurangnya pita serapan gugus organik pada spektrum TiO_2 ekstrak dibandingkan dengan ekstrak murni menunjukkan adanya interaksi senyawa fenolik dan flavonoid dengan ion titanium selama proses sintesis (Ansari *et al*., 2022).

Hasil FTIR mengindikasikan bahwa senyawa fenolik dan flavonoid dalam ekstrak kulit buah durian berperan sebagai agen penstbil alami melalui mekanisme kompleksasi, sehingga mampu menghambak aglomerasi dan mendukung pembentukkan TiO_2 yang stabil dalam proses green synthesis.

2.2 Karakterisasi *X-ray Diffraction* (XRD)

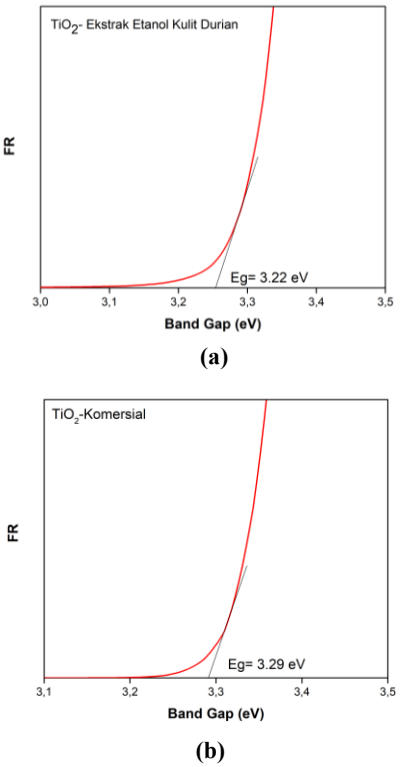


Gambar 3. Pola XRD TiO_2

Pola *X-ray Diffraction* pada gambar 3 TiO_2 hasil sintesis menggunakan ekstrak kulit buah durian menunjukkan puncak-puncak difraksi yang khas pada sudut 2θ sekitar 25.3°, 37.8°, 48.0°, 53.9°, 55.1°, 62.8°, 62.7°, 68.8°, 70.3°, 75.0°, dan 82.6°, yang masing-masing berkorelasi dengan bidang kristal (101), (103), (004), (112), (200), (105), (211), (204), (116) (220), (215) dan (224). Puncak-puncak tersebut sesuai dengan data standart TiO_2 anatase (COD 96-900-8214) dan TiO_2 komersial, yang menegaskan bahwa TiO_2 hasil sintesis berada dalam fase anatase (Domínguez *et al*., 2024).

Ukuran kristalin TiO_2 ditentukan menggunakan persamaan Scherrer berdasarkan pelebaran puncak difraksi utama. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa TiO_2 hasil sintesis dengan ekstrak kulit buah durian memiliki ukuran kristalin sebesar 8.87 nm, sedangkan TiO_2 komersial memiliki ukuran kristalin sebesar 48.81 nm. Perbedaan ukuran kristalin yang signifikan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan ekstrak kulit buah durian memberikan pengaruh terhadap pengendalian pertumbuhan kristal TiO_2. Sebaliknya, TiO_2 komersial yang tidak melibatkan agen penstabil alami menunjukkan ukuran kritalin yang lebih besar akibat pertumbuhan kristal yang berlangsung tanpa pengendalian (Rakhmawaty *et al*., 2024). Hasil karakterisasi XRD ini menunjukkan bahwa ekstrak kulit buah durian tidak hanya mendukung pembentukkan TiO_2 anatase, tetapi juga mengontrol ukuran kristalin material.

2.5 Karakterisasi UV-VIS *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS)

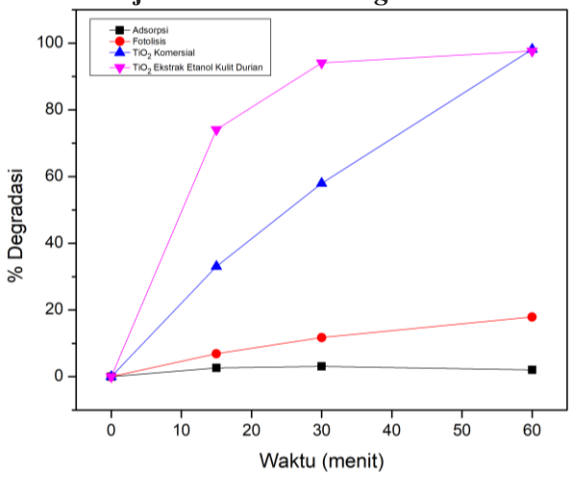


Gambar 4. Grafik celah pita (a) TiO_2-ekstrak etanol kulit buah durian (b) TiO_2-Komersial

Sifat optik TiO_2 dianalisis menggunakan UV-Vis *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS) dan nilai energi celah pita ditentukan menggunakan metode plot Tauc. Hasil analisis menunjukkan ditunjukkan pada gambar 4 Bahwa TiO_2 hasil sintesis menggunakan ekstrak etanol kulit buah durian menunjukkan nilai energi celah pita yang lebih rendah yaitu 3.22 eV, sedangkan TiO_2 komersial memiliki energi celah pita sebesar

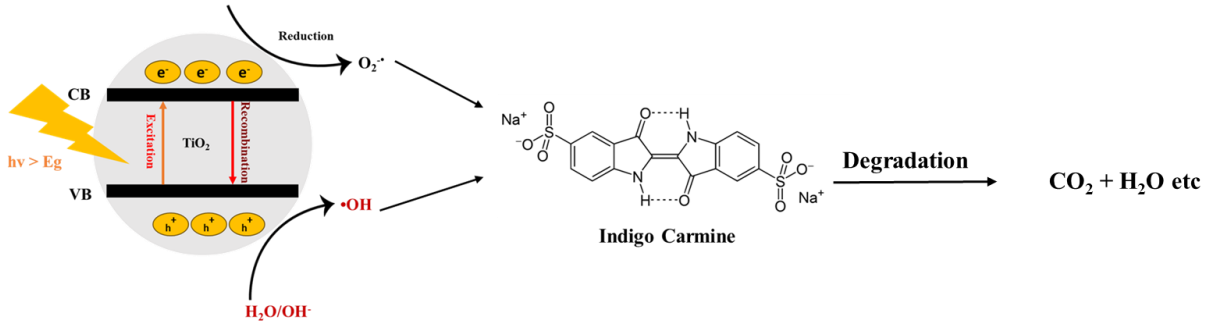
3.29 eV. Penurunan nilai energi celah pita pada TiO_2 ekstrak kulit buah durian mengindikasikan adanya modifikasi optik material akibat penggunaan ekstrak alami selama proses sintesis (Shakeel *et al*., 2025). Perubahan ini berkaitan dengan ukuran kristalin yang lebih kecil dari data XRD. Ukuran kristalin yang lebih kecil dapat menyebabkan perubahan struktur pita energi dari interaksi senyawa fenolik dan flavonoid dengan permukaan TiO_2.

Evaluasi Uji Fotokatalisis *Indigo carmine*



Gambar 5. Grafik aktivitas fotokatalitik *indigo carmine*

Uji aktivitas fotokatalitik zat warna *indigo carmine* yang ditunjukkan pada gambar 5 memperlihatkan bahwa adsorpsi TiO_2 ekstrak kulit buah durian dan fotolisis memberikan degradasi yang relatif rendah. Adsorpsi hanya menghasilkan degradasi dibawah 5%, sedangkan fotolisis tanpa katalis menunjukkan degradasi yang terbatas. Hal ini menegaskan bahwa degradasi *indigo carmine* dipengaruhi fotokatalis. Sedangkan keberadaan TiO_2 secara signifikan meningkatkan efisiensi degradasi. TiO_2 berbasis ekstrak kulit buah menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang lebih tinggi dibandingkan TiO_2 komersial, terutama pada tahap awal reaksi dengan degradasi mencapai > 70% dalam 15 menit dan hampir sempurna setelah 60 menit iradiasi. Peningkatan aktivitas ini dapat dikaitkan dengan ukuran kristalin yang lebih kecil, fase anatase yang lebih stabil, serta sifat optik yang rendah, sehingga meningkatkan situs aktif dan efisiensi pemisahan pasangan elektron-*hole*.



Gambar 6. Mekanisme fotokatalitik TiO_2 dalam proses degradasi *indigo carmine*

Hasil ini selaras dengan penelitian terdahulu yang melaporkan bahwa degradasi fotokatalitik *indigo carmine* beradaan TiO_2 sebagai fotokatalis. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa adsorpsi dan fotolisis tanpa katalis hanya memberikan kontribusi degradasi yang minimal, sedangkan TiO_2 mampu menghasilkan spesies oksigen reaktif seperti radikal hidroksil (•OH) dan radikal superoksida ($•O^{2-}$) (Nosaka, 2022). yang berperan dalam menyerang struktur molekul *indigo carmine* Seperti pada gambar 6, khususnya gugus kromofor dan ikatan rangkap, sehingga menyebabkan pemutusan rantai molekul dan pembentukkan senyawa intermediet dengan sruktur yang lebih sederhana. Produk samping degradasi dilaporkan penelitian terdahulu meliputi senyawa aromatik teroksidasi seperti asam isatin sulfonat dan asam sulfonat antranilat, yang selanjutnya terdegradasi menjadi senyawa alifatik berantai pendek sebelum mengalami mineralisasi menjadi CO_2, H_2O, SO_4^{2-}, dan NO^{3-} (Zhan *et al*., 2022)

KESIMPULAN

TiO_2 berhasil disintesis melalui pendekatan *green synthesis* menggunakan ekstrak etanol kulit buah durian sebagai agen penstabil alami. Ekstrak tersebut memiliki kandungan fenolik dan flavonoid yang berperan dalam mengendalikan pertumbuhan kristal serta mencegah aglomerasi partikel TiO_2. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa TiO_2 hasil sintesis berada dalam fase anatase dengan ukuran kristalin lebih kecil dan energi celah pita lebih rendah dibandingkan TiO_2 komersial. TiO_2 hasil sintesis menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang lebih tinggi dalam degradasi zat warna *indigo carmine* di bawah penyinaran UV. Hasil ini menegaskan potensi kulit buah durian sebagai biomassa ramah lingkungan untuk sintesis fotokatalis yang efektif dalam pengelolahan limbah zat warna.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini didukung oleh Lembaga pengelola dana pendidikan (LPDP) melalui progran riset dan inovasi untuk indonesia maju kompetisi (RIIM-Kompetesi G7) serta Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN, 61/11.7/HK/2024), Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Al, E. T., Of, O., & Composition, F. (2017). *Validation of Spectrophotometric Methods for the Determination of Total Polyphenol and Total Flavonoid Content ′ ,. 21*, 1795–1803. https://doi.org/10.5740/jaoacint.17-0066

Alcazar, K., Tous, L., Herrera, A., Martinez-bernett, D., & Saba, M. (2026). *TiO 2 Nanoparticles Obtained by Green Synthesis : Characterization and Evaluation of Their Effect on the Self-Cleaning and Antifungal Properties of an Aqueous Paint-Type Coating*.

Anaya-esparza, L. M., Arnulfo, C., Rodr, E., & Mart, F. (2024). *Plant-Based Extracts as Reducing , Capping , and Stabilizing Agents for the Green Synthesis of Inorganic Nanoparticles*.

Ansari, A., Siddiqui, V. U., Rehman, W. U., Akram, M. K., Siddiqi, W. A., Alosaimi, A. M., Hussein, M. A., & Rafatullah, M. (2022). Correction: Green Synthesis of TiO2 Nanoparticles Using Acorus calamus Leaf Extract and Evaluating Its Photocatalytic and In Vitro Antimicrobial Activity (Catalysts, (2022), 12, (181), 10.3390/catal12020181). *Catalysts*, *12*(11). https://doi.org/10.3390/catal12111451

Aritonang, A. B., Putri, R. A., Sisca, V., Madiabu, M. J., & Khoiriah, K. (2025). Photocatalytic Degradation of Acid Yellow 25 Using Nanoparticle TiO_2 Mediated Petai Pod Extract. *Baghdad Science Journal*, *22*(6), 1851–1862. https://doi.org/10.21123/2411-7986.4960

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 TiO 2 -based photocatalysts : A review*. *268*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121725

Choi, K. (2021). Dyes and Pigments Discoloration of indigo dyes by eco-friendly biocatalysts. *Dyes and Pigments*, *184*(August 2020), 108749. https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2020.108749

Deliza, Rahayu, S. L., Liandi, A. R., Putri, R. A., & Safni, S. (2025). Green synthesis approach on fabrication of TiO2 nanoparticle using peel extract of Baccaurea racemosa for photocatalytic degradation of Acid Red-185. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, *23*(February), 101074. https://doi.org/10.1016/j.enmm.2025.101074

Domínguez, D., Ortiz-dominguez, C., & Caudillo-flores, U. (2024). Direct obtaining of pure anatase TiO2 nanostructures , characterization , size-tuning , and applications. *Nano-Structures*

& Nano-Objects, *39*(March). https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2024.101215

Khoiriah, K., & Putri, R. A. (2024). Biosynthesis of titanium dioxide nanoparticles using peel extract of Parkia speciosa for methyl orange degradation. *South African Journal of Botany*, *170*, 120–129. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.05.021

Liang, Y., Chan, Y., Aminuzzaman, M., & Shahinuzzaman, M. (2025). *Green Synthesis and Characterization of Copper Oxide Nanoparticles from Durian (Durio zibethinus) Husk for Environmental Applications*.

Nosaka, Y. (2022). Water Photo-Oxidation over TiO 2 —History and Reaction Mechanism. *Catalysts*, *12*(1557).

Pasieczna-Patkowska, S., Cichy, M., & Flieger, J. (2025). Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy in Characterization of Green Synthesized Nanoparticles. *Molecules*, *30*(3), 1–36. https://doi.org/10.3390/molecules30030684

Raaf, A., Mulana, F., Syamsuddin, Y., & Suriaini, N. (2024). *Effect of Drying Pretreatment Methods on Amla (Emblica officinalis) Extracts Obtained Through Maceration Using Ethanol as Solvent*. *15*(August 2022), 917–926. https://doi.org/10.14716/ijtech.v15i4.5669

Rakhmawaty, D., Rahmawati, D., Diki, M., Takei, T., Rostika, A., & Rahayu, I. (2024). A review of recent developments in green synthesis of TiO 2 nanoparticles using plant extract : Synthesis , characterization and photocatalytic activity. *Inorganic Chemistry Communications*, *165*(January), 112531. https://doi.org/10.1016/j.inoche.2024.112531

Ristea, M. E., & Zarnescu, O. (2023). Indigo Carmine: Between Necessity and Concern. *Journal of Xenobiotics*, *13*(3), 509–528. https://doi.org/10.3390/jox13030033

Saravanan, S., & Dubey, R. S. (2021). *Materials Today : Proceedings Optical and morphological studies of TiO 2 nanoparticles prepared by sol – gel method*. *47*, 1811–1814. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.207

Shakeel, N., Piwonski, I., Iqbal, P., & Kisielewska, A. (2025). Green Synthesis of Titanium Dioxide Nanoparticles : Physicochemical Characterization and Applications : A Review. *International Journal of Moleculer Science*, *26*(5454), 1–33.

Singh, G., Singh, G., Kumar, S., & Singh, G. (2025). Polysaccharide- and phenolic-rich Pinus patula extract-mediated TiO_2 nanoparticles for photocatalytic degradation of methylene blue and 4-nitrophenol. *International Journal of Biological Macromolecules*, *327*(P2), 147357. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.147357

Tabti, S., Benchettara, A., Smaili, F., Benchettara, A., & Eddine, S. (2022). Electrodeposition of lead dioxide on Fe electrode : application to the degradation of Indigo Carmine dye. *Journal of Applied Electrochemistry*. https://doi.org/10.1007/s10800-022-01709-7

Tran, H. K., Phuong, N., Nguyen, N., Thuy, T., Nguyen, T., Nguyen, K. N., & Do, B. D. (2024a). Extraction of flavonoids from durian (Durio zibethinus) fruit rinds and evaluation of their antioxidant , antidiabetic and anticancer properties. *International Journal of Food Science and Technology*, *59*, 1409–1420. https://doi.org/10.1111/ijfs.16886

Tran, H. K., Phuong, N., Nguyen, N., Thuy, T., Nguyen, T., Nguyen, K. N., & Do, B. D. (2024b). *Original article Extraction of flavonoids from durian (Durio zibethinus) fruit rinds and evaluation of their antioxidant , antidiabetic and anticancer properties*. 1409–1420. https://doi.org/10.1111/ijfs.16886

Wang, C., Wang, S., Zhang, J., Jiang, S., Cui, D., Sun, H., Liu, C., Li, L., & Zhao, M. (2022). *The Biodegradation of Indigo Carmine by Bacillus safensis HL3 Spore and Toxicity Analysis of the Degradation Products*. 1–14.

Zhan, W., Du, Y., Lan, J., Lei, R., Li, R., Du, D.,

& Zhang, T. C. (2022). Electrochemical degradation of indigo carmine by low voltage pulse electrolysis. *Journal of Molecular Liquids*, *348*, 118006. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.118006