

Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI) Volume 14 Nomor 2 Tahun 2025, hal 224-233

KARAKTERISTIK TiO_2 HASIL SINTESIS KIMIA DAN GREEN SYNTHESIS MENGGUNAKAN EKSTRAK BUNGA MELATI (JASMINUM SAMBAC) SEBAGAI FOTOKATALIS POTENSIAL

¹⁾ Monica Dea Prahesti, ²⁾ Munasir

¹⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: monica.2021@mhs.unesa.ac.id

²⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: munasir@unesa.ac.id

Abstrak

Kontaminasi air oleh senyawa pewarna organik seperti Congo Red merupakan masalah lingkungan serius karena sifat karsinogenik dan resistensinya terhadap degradasi alami. Titanium dioksida (TiO_2) dikenal sebagai fotokatalis yang efektif untuk menguraikan senyawa berbahaya menjadi produk yang lebih aman. Penelitian ini membandingkan karakteristik TiO_2 yang disintesis secara kimia dengan TiO_2 yang disintesis menggunakan metode green synthesis berbasis ekstrak bunga melati (Jasminum sambac). Sintesis hijau menggunakan senyawa fitokimia sebagai agen reduksi alami. Karakterisasi dilakukan menggunakan XRD dan FTIR untuk menganalisis struktur kristal dan gugus fungsional dari kedua sampel. Hasil XRD menunjukkan bahwa kedua metode menghasilkan fase anatase dengan ukuran kristal rata-rata 7,19 nm, namun green synthesis menunjukkan intensitas difraksi yang lebih tinggi. FTIR mengidentifikasi keberadaan gugus Ti-O dan O-H pada kedua sampel, dengan variasi intensitas akibat pengaruh senyawa alami dari ekstrak bunga melati. Uji fotokatalitik memperlihatkan bahwa TiO_2 mampu mendegradasi larutan Congo Red hingga 98,7% dalam 60 menit, menegaskan efektivitasnya dalam aplikasi pengolahan limbah cair berwarna. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan ekstrak bunga melati (Jasminum sambac) sebagai agen pada green synthesis dapat menghasilkan TiO_2 dengan struktur dan sifat fotokatalitik yang mendukung degradasi senyawa organik berbahaya dalam air.

Kata Kunci: TiO_2 , green synthesis, bunga melati, XRD, FTIR, fotokatalis, Congo Red, karakterisasi.

Abstract

Water contamination by organic dyes such as Congo Red is a serious environmental problem due to its carcinogenic properties and resistance to natural degradation. Titanium dioxide (TiO_2) is known as an effective photocatalyst for decomposing hazardous compounds into safer products. This study compared the characteristics of chemically synthesized TiO_2 with TiO_2 synthesized using a green synthesis method based on jasmine (Jasminum sambac) flower extract. Green synthesis uses phytochemical compounds as natural reducing agents. Characterization was carried out using XRD and FTIR to analyze the crystal structure and functional groups of both samples. XRD results showed that both methods produced anatase phase with an average crystal size of 7.19 nm, but green synthesis showed higher diffraction intensity. FTIR identified the presence of Ti-O and O-H groups in both samples, with variations in intensity due to the influence of natural compounds from jasmine flower extract. Photocatalytic tests showed that TiO_2 was able to degrade Congo Red solution up to 98.7% in 60 minutes, confirming its effectiveness in colored wastewater treatment applications. These results indicate that the use of jasmine (Jasminum sambac) flower extract as an agent in green synthesis can produce TiO_2 with a structure and photocatalytic properties that support the degradation of hazardous organic compounds in water.

Keywords: TiO_2 , green synthesis, jasmine flower, XRD, FTIR, photocatalyst, Congo Red, characterization.

I. PENDAHULUAN

Kontaminasi air dan tanah merupakan salah satu isu lingkungan yang paling mendesak dewasa ini, terutama disebabkan oleh limbah industri yang mengandung senyawa berbahaya seperti pewarna organik (Balsamo et al., 2021). Salah satu zat pewarna yang sering dijumpai dalam limbah industri adalah Congo Red, yang termasuk golongan azo dan dikenal memiliki sifat karsinogenik serta sulit terurai di lingkungan perairan (Bahadoran et al., 2022). Pewarna ini banyak digunakan di berbagai sektor seperti tekstil, kosmetik, dan farmasi (Al-Onazi & Ali, 2021). Keberadaan Congo Red dalam air limbah tidak hanya mengganggu proses fotosintesis organisme akuatik akibat konsumsinya terhadap oksigen, tetapi juga berdampak serius terhadap kesehatan manusia karena potensi bioakumulasinya yang tinggi (Kundu & Mondal, 2019). Oleh karena itu, diperlukan strategi pengolahan limbah yang mampu menguraikan senyawa organik berbahaya menjadi zat yang lebih aman seperti CO_2 dan H_2O . Salah satu metode yang dianggap menjanjikan adalah proses fotokatalitik menggunakan material semikonduktor (Balsamo et al., 2021).

Titanium dioksida (TiO_2) merupakan salah satu semikonduktor yang banyak diteliti dan digunakan sebagai fotokatalis karena memiliki stabilitas kimia yang tinggi, tidak beracun, serta aktivitas fotokatalitik yang baik (Raja et al., 2016). TiO_2 memiliki struktur kristal yang khas dan luas permukaan spesifik yang tinggi, sehingga cocok digunakan dalam pengolahan air limbah (Wen et al., 2019). Namun, beberapa keterbatasan seperti hanya aktif di bawah sinar UV karena lebar celah pita sebesar 3,2 eV (fase anatase) dan 3,0 eV (fase rutile), serta tingginya laju rekombinasi pasangan elektron-hole, menyebabkan efisiensi fotokatalitiknya menjadi rendah (Garrafa-Gálvez et al., 2019). Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk meningkatkan struktur dan sifat permukaan TiO_2 agar mendukung efisiensi kerja fotokatalis.

Pengembangan material berbasis titanium dioksida (TiO_2) pada dasarnya dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan sintesis, baik kimia, fisika, maupun metode yang ramah lingkungan. Salah satu pendekatan yang semakin banyak dikembangkan adalah green synthesis, yaitu metode sintesis yang memanfaatkan bahan alami, khususnya ekstrak tanaman sebagai agen reduksi dan penstabil. Metode ini lebih hemat biaya dan tidak menghasilkan produk samping berbahaya seperti metode sintesis kimia atau fisika (Helan et al., 2016; Hussain et al., 2016). Salah satu tanaman yang dapat dimanfaatkan adalah bunga melati (*Jasminum sambac*), yang dikenal luas di Indonesia dan mengandung berbagai senyawa fitokimia seperti alkaloid, flavonoid, dan terpenoid yang dapat berfungsi sebagai agen pereduksi dan penstabil nanopartikel (Al-Snafi, 2018; Aravind, Ahmad, et al., 2021). Senyawa-senyawa ini juga berperan dalam mengontrol ukuran partikel pada saat sintesis sehingga diperoleh struktur nano yang diharapkan (Aravind, Amalanathan, et al., 2021).

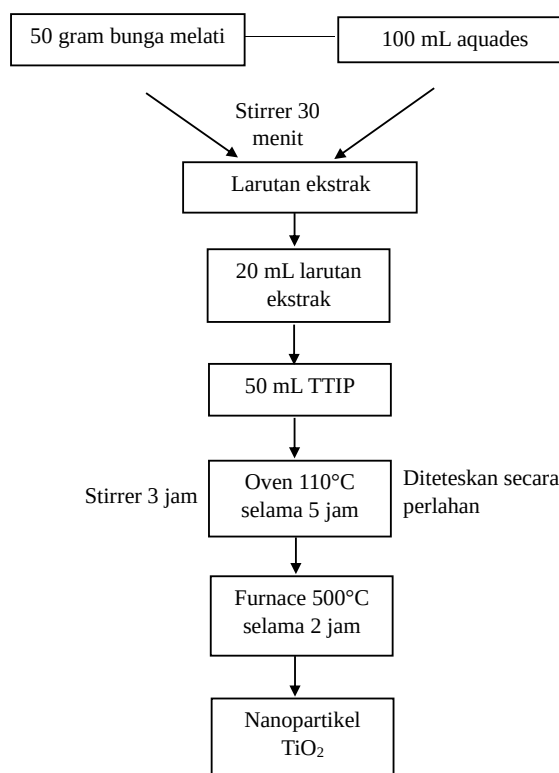
Untuk mengevaluasi struktur dan gugus fungsional dari TiO_2 hasil sintesis, baik yang dibuat secara kimia maupun melalui metode green synthesis, dilakukan karakterisasi menggunakan X-ray Diffraction (XRD) dan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Karakterisasi XRD diperlukan untuk mengetahui struktur kristal dan fase dari TiO_2 , seperti anatase atau rutile, serta untuk mengidentifikasi ukuran kristalit dan tingkat kristalinitas material. Sedangkan FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsional yang berperan selama proses sintesis, baik dari senyawa precursor maupun senyawa bioaktif dalam ekstrak bunga melati yang terikat pada permukaan nanopartikel. Selain itu, aktivitas fotokatalis Congo Red dengan TiO_2 dievaluasi melalui proses penyinaran menggunakan sinar UV, di mana perubahan absorbansi larutan dipantau menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui kemampuan degradasi katalis terhadap zat warna organik. Dengan demikian, karakterisasi XRD dan FTIR pada TiO_2 hasil sintesis kimia maupun green synthesis menjadi tahap penting untuk memahami perbedaan struktur kristal, gugus fungsional, serta keterkaitannya dengan aktivitas fotokatalitik dalam mendegradasi Congo Red, sehingga dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai potensi aplikasi material tersebut dalam pengolahan limbah organik.

II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Green Synthesis TiO₂ dari Bunga Melati

Bunga melati disiapkan 50 gram ke dalam 100 mL aquades dan mendidihkan campuran tersebut dengan stirrer selama 30 menit. Kemudian larutan tersebut difilter dan dapat disimpan untuk pengujian lebih lanjut. Diambil 50 mL TTIP dan tambahkan 20 mL ekstrak bunga melati ke dalam larutan TTIP tersebut. Larutan tersebut di stirrer selama 3 jam pada suhu ruangan. Warna larutan akan berubah dari putih murni menjadi abu-abu kekuningan yang mengkonfirmasi pembentukan partikel TiO₂. Kemudian, larutan disaring dan dikeringkan pada suhu 110°C selama 5 jam kemudian sampel tersebut dikalsinasi dalam furnace pada suhu 500°C selama 2 jam. Dalam proses sintesis tersebut jika dituliskan dalam persamaan reaksi kimia menjadi:



Gambar 1. Skema Sintesis TiO₂

Aktivitas Fotokatalitik Congo Red

Aktivitas fotokatalis Congo Red menggunakan TiO₂ dilakukan dengan menyiapkan larutan Congo Red pada konsentrasi 30 ppm dan 60 ppm, kemudian ditambahkan katalis TiO₂ sebanyak 0,02 gram dalam 30 mL larutan. Proses awal dilakukan melalui pengadukan dalam kondisi gelap selama 30 menit menggunakan magnetic stirrer untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi, dilanjutkan dengan penyinaran menggunakan sinar UV pada variasi waktu tertentu. Setelah proses penyinaran, larutan hasil reaksi dipisahkan menggunakan sentrifugasi dengan kecepatan 2500 rpm sebelum dilakukan analisis lanjutan menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk memantau perubahan absorbansi pada panjang gelombang karakteristik Congo Red.

B. Variabel Operasional Penelitian

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah metode karakterisasi (XRD dan FTIR) serta kondisi perlakuan termal yang seragam, yaitu suhu kalsinasi 500°C selama 2 jam dan suhu pengeringan 110°C selama 5 jam. Variabel manipulasi adalah jenis metode sintesis yang digunakan, yaitu metode kimia dan metode *green*

synthesis menggunakan ekstrak bunga melati (*Jasminum sambac*), yang mempengaruhi pembentukan struktur kristal dan gugus fungsional TiO_2 . Sementara itu, variabel respon adalah hasil karakterisasi material yang meliputi struktur kristal (fase, indeks miller, dan ukuran kristal yang diperoleh dari data XRD) serta gugus fungsional yang teridentifikasi melalui spektrum FTIR. Variabel-variabel ini dirancang untuk mengetahui pengaruh perbedaan

C. Metode Karakterisasi dan Teknik Analisis Data

X-Ray Diffraction (XRD)

Analisis difraksi sinar-X (XRD) dapat digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam suatu material yang ditentukan dengan cara parameter struktur kisi. Pola dari difraksi sinar X mengidentifikasi sampel kristal dengan mencocokkan pola tersebut dengan *Join Commite on Powdered Diffraction Standard Library* (JCPDS). Karakterisasi XRD pada sampel TiO_2 menggunakan instrument *X-ray Diffraction (on an Xpert MPD Diffractometer with Radiation of CuK α ($\lambda=1.5406 \text{ \AA}$))*. Hasil karakterisasi dari XRD dapat diolah dan dianalisis menggunakan software *Match* dan origin untuk mengetahui fasa yang terbentuk dari sampel dan mencocokkan pola tersebut dengan referensi JCPDS.

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Fourier Transform Infra Red (FTIR) digunakan untuk mengidentifikasi ikatan-ikatan antar gugus senyawa organik pada suatu material. Teknik pada FTIR ini mengacu pada penyerapan radiasi IR dan mengacu pada penyerapan energi dari foton yang mendorong terjadinya eksitasi elektron yaitu transisi dari keadaan energi yang lebih rendah menuju energi yang lebih tinggi. Dari keadaan yang tereksitasi tersebut dapat menghasilkan getaran ikatan molekul seperti peregangan, pembengkokan, puntiran, goyangan, kibasan dan deformasi diluar bidang yang terjadi pada bilangan gelombang pada wilayah spektrum cahaya inframerah. Karakterisasi FTIR menggunakan alat *Shimadzu type IR Prestige-21 (Kyoto, Japan)* dengan hasil karakterisasi berupa grafik hubungan antara panjang gelombang dengan transmitansi yang akan dibandingkan dengan referensi penelitian yang digunakan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Mekanisme peran senyawa fitokimia dari ekstrak melati dalam mempengaruhi kristalisasi TiO_2 dan Hasil Sintesis Nanopartikelnya

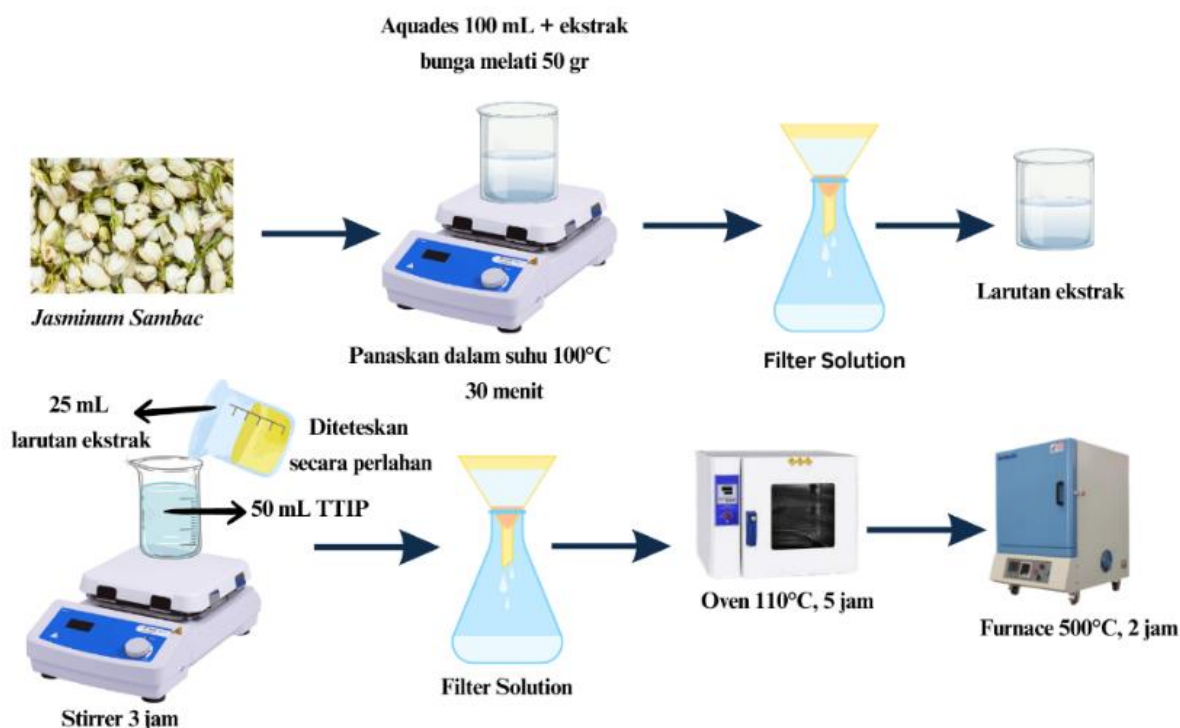
Proses sintesis hijau TiO_2 dengan memanfaatkan ekstrak bunga melati melibatkan peran penting dari berbagai senyawa fitokimia yang terkandung di dalamnya, seperti flavonoid, fenolik, terpenoid, alkaloid, serta asam lemak. Senyawa-senyawa bioaktif tersebut umumnya memiliki gugus fungsional $-\text{OH}$, $-\text{C}=\text{O}$, dan $-\text{COOH}$ yang mampu berinteraksi kuat dengan prekursor titanium, misalnya titanium tetraisopropoksida (TTIP). Kehadiran gugus aktif ini memungkinkan terbentuknya kompleks dengan ion Ti(IV) , yang selanjutnya bertindak sebagai agen pengompleks sehingga memperlambat laju hidrolisis maupun proses kondensasi. Mekanisme tersebut menyebabkan nukleasi TiO_2 berlangsung lebih terkendali, menghasilkan ukuran kristalit berukuran lebih kecil dan sekaligus mencegah terjadinya aglomerasi partikel secara berlebihan (Sofyan et al., 2025).

Selain bertindak sebagai agen pengompleks, biomolekul dari ekstrak melati juga berfungsi sebagai *capping agent* yang menstabilkan permukaan inti TiO_2 yang baru terbentuk. Kehadiran senyawa aromatik maupun terpenoid memungkinkan molekul tersebut menempel pada permukaan partikel, sehingga mengarahkan pertumbuhan kristal secara anisotropik dan lebih terkontrol. Efek ini secara langsung memengaruhi fase kristal yang dihasilkan. Beberapa penelitian melaporkan terbentuknya fase anatase murni dengan ukuran partikel yang sangat kecil ketika kondisi pelarut dan pH dikontrol dengan tepat. Sebaliknya, studi lain melaporkan bahwa keberadaan senyawa tertentu dalam ekstrak melati dapat menstimulasi terbentuknya fase rutil, yang ditunjukkan dengan ukuran kristal realif lebih besar, yakni sekitar 31–42 nm (Aravind, Amalanathan, et al., 2021).

Perbedaan fase kristal anatase atau rutil yang dihasilkan melalui sintesis hijau menggunakan ekstrak melati menunjukkan adanya pengaruh kuat dari komposisi fitokimia, kondisi pH, serta jenis pelarut yang

digunakan. Kandungan flavonoid dan fenolik yang lebih tinggi cenderung menstabilkan fase anatase, sedangkan keberadaan senyawa terpenoid atau asam lemak dapat mempercepat transisi menuju fase rutil. Mekanisme ini berkaitan dengan perubahan energi permukaan dan jalur kinetika pertumbuhan kristal, dimana biomolekul dalam ekstrak berinteraksi langsung dengan dengan ion Ti(IV) selama proses sol-gel (Shakeel et al., 2025; Sofyan et al., 2025). Dengan kata lain, senyawa fitokimia dalam ekstrak melati tidak hanya berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil nanopartikel, tetapi juga berfungsi sebagai pengendali fase kristal TiO_2 yang dihasilkan.

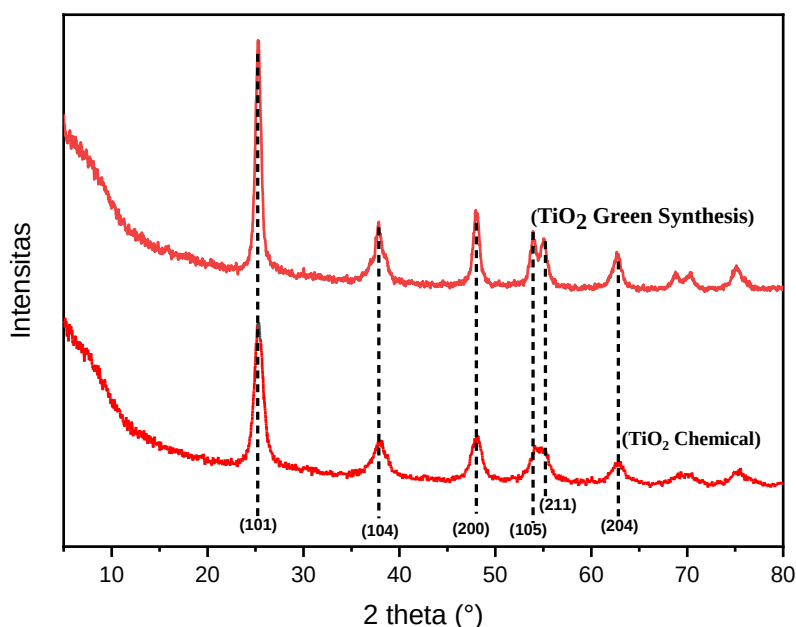
Proses *green synthesis* TiO_2 ditunjukkan pada **Gambar 2**, diawali dengan pembuatan ekstrak bunga melati dengan menyiapkan 50 gram bunga melati lalu dimasukan dalam 100 mL aquades dan mendidihkan campuran tersebut dengan diaduk menggunakan *stirrer* pada suhu 100°C . Hasil dari larutan ekstrak tersebut difilter dan dapat disimpan jika akan digunakan untuk pengujian lebih lanjut. Lalu, menambahkan 50 mL TTIP dan 20 mL hasil larutan ekstrak tersebut ditambahkan secara perlahan. Larutan tersebut akan diaduk menggunakan stirrer selama 3 jam pada suhu ruangan. Terdapat perubahan warna dari putih murni menjadi abu-abu kekuningan yang menunjukkan bahwa terbentuknya partikel TiO_2 . Kemudian larutan tersebut difilter dan dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C dalam waktu 5 jam dan dikalsinasi menggunakan *furnace* pada suhu 500°C selama 2 jam (Aravind, Ahmad, et al., 2021). Hasil dari nanopartikel TiO_2 yang telah diperoleh akan dilakukan karakterisasi XRD dan FTIR.



Gambar 3. Sintesis TiO_2 menggunakan ekstrak Jasmine

B. Hasil Karakterisasi XRD

Analisis karakterisasi XRD digunakan untuk mengidentifikasi fase kristalin dalam suatu material, yang ditentukan melalui parameter struktur kisi pada material TiO_2 . Gambar XRD menunjukkan pola difraksi dari nanopartikel TiO_2 yang disintesis baik dengan metode kimia maupun metode green synthesis menggunakan ekstrak jasmir. Rentang sudut difraksi berada pada $10^\circ < 2\theta < 80^\circ$, dengan puncak-puncak utama muncul pada $25,26^\circ$, $38,03^\circ$, $48,21^\circ$, $54,42^\circ$, $55,20^\circ$, dan $62,73^\circ$, masing-masing sesuai dengan indeks miller (101), (004), (200), (105), (211), dan (204) (Asaad Mahdi et al., 2023). Hal ini menunjukkan bahwa baik TiO_2 hasil sintesis kimia maupun hasil sintesis hijau memiliki struktur kristalin yang terbentuk dengan baik.



Gambar 4. Hasil Karakterisasi XRD

Puncak difraksi yang muncul pada sudut $25,26^\circ$ dengan indeks miller (101) menunjukkan sifat kristalin yang tinggi dari nanopartikel TiO_2 , yang mengindikasikan bahwa material berada dalam fase anatase dengan struktur kristal tetragonal. Hasil ini sesuai dengan data JCPDS nomor 1010942 dan didukung oleh penelitian sebelumnya oleh (Asaad Mahdi et al., 2023). Menariknya, pada sampel TiO_2 yang disintesis menggunakan metode green synthesis, puncak difraksi menunjukkan intensitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode kimia. Peningkatan intensitas ini disebabkan oleh keberadaan senyawa polifenol dalam ekstrak tanaman jasmin yang digunakan dalam proses green synthesis, sebagaimana dijelaskan oleh (Aravind, Amalanathan, et al., 2021), yang berperan dalam mempengaruhi proses kristalisasi selama sintesis.

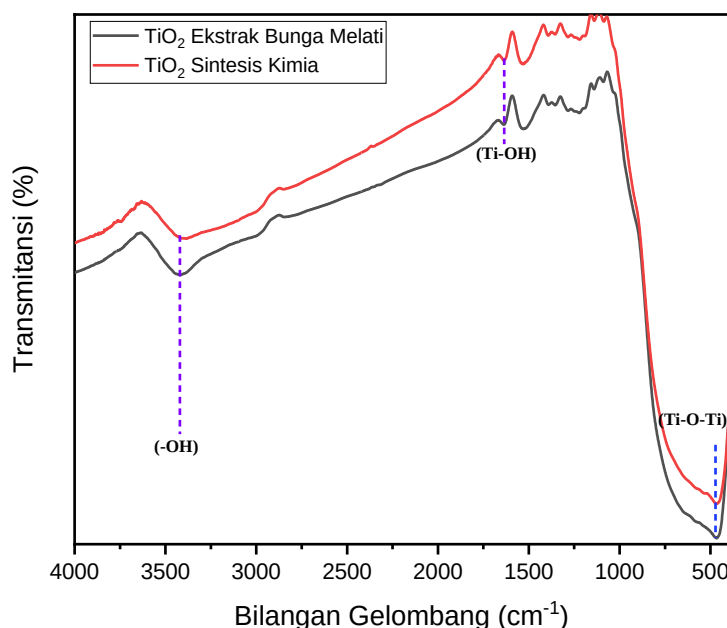
Untuk menentukan rata-rata ukuran kristal, digunakan persamaan Scherrer, di mana DDD merupakan ukuran kristal, λ adalah panjang gelombang sinar-X, dan β adalah lebar penuh pada setengah maksimum dari puncak difraksi. Berdasarkan perhitungan dengan rumus tersebut, ukuran rata-rata kristal TiO_2 adalah sebesar 7,19 nm. Ukuran ini mengindikasikan bahwa material TiO_2 yang diperoleh tergolong dalam nanokristalit, karena berukuran di bawah 100 nm (Garrafa-Gálvez et al., 2019). Hal ini menegaskan bahwa metode sintesis yang digunakan berhasil menghasilkan partikel dengan ukuran nanoskalanya, baik pada sintesis kimia maupun melalui metode hijau menggunakan ekstrak jasmin.

C. Hasil Karakterisasi FTIR

Karakterisasi FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsional yang terdapat dalam senyawa TiO_2 baik secara kimia maupun hasil sintesis menggunakan ekstrak jasmine. Spektrum FTIR pada kedua sampel menunjukkan puncak karakteristik dari TiO_2 yang muncul pada rentang bilangan gelombang 500–800 cm^{-1} . Pada panjang bilangan 465,83 cm^{-1} terlihat adanya mode pembengkokan dari ikatan Ti-O, yang merupakan ciri khas struktur TiO_2 . Selain itu, terdapat pula pita serapan pada 1633 cm^{-1} yang menunjukkan adanya getaran pembengkokan dari gugus O-H. Gugus ini kemungkinan besar berasal dari molekul air yang teradsorpsi di permukaan material, baik pada TiO_2 yang disintesis secara kimia maupun menggunakan bahan alami dari ekstrak jasmine.

Lebih lanjut, pita serapan yang lebar pada rentang bilangan gelombang 3600–3000 cm^{-1} mengindikasikan adanya mode peregangan O-H dari gugus hidroksil. Dalam spektrum FTIR, hal ini ditunjukkan secara spesifik pada bilangan gelombang 3419 cm^{-1} . Keberadaan gugus hidroksil ini memperkuat informasi mengenai adanya adsorpsi air dan kemungkinan interaksi permukaan yang terjadi selama proses sintesis. Pada sampel TiO_2 hasil ekstrak jasmine, meskipun pola spektrumnya menyerupai TiO_2 chemical, dapat terlihat adanya sedikit perbedaan intensitas pada beberapa bilangan gelombang yang menunjukkan adanya pengaruh dari bahan alami selama proses sintesis. Namun, secara umum puncak-puncak utama pada

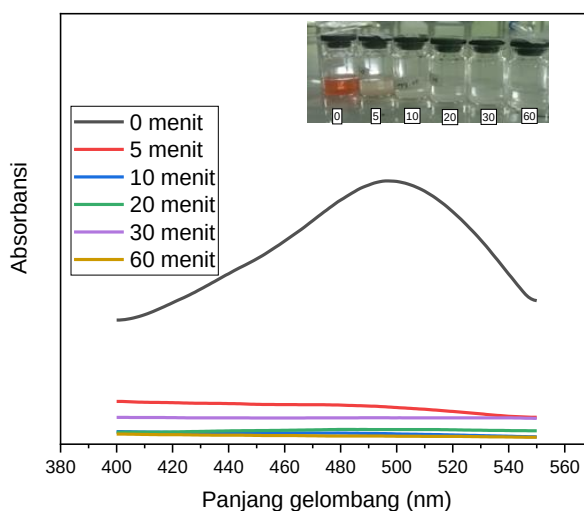
kedua jenis TiO_2 tetap menunjukkan bahwa gugus fungsional utama seperti Ti-O dan O-H berhasil terbentuk sebagaimana mestinya dalam struktur TiO_2 (Chougala et al., 2017).



Gambar 5. Hasil Karakterisasi FTIR

D. Hasil Karakterisasi Fotokatalitik Terhadap Congo Red

Hasil uji fotokatalitik menggunakan katalis TiO_2 murni memperlihatkan kemampuan degradasi yang signifikan terhadap larutan Congo Red. Uji dilakukan pada dua variasi konsentrasi, yaitu 30 ppm dan 60 ppm, dengan massa katalis 0,02 gram dalam 30 mL larutan Congo Red. Proses fotodegradasi dipantau menggunakan analisis UV-Vis dengan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang karakteristik Congo Red. Spektrum serapan hasil uji fotokatalitik ditampilkan pada Gambar 6.

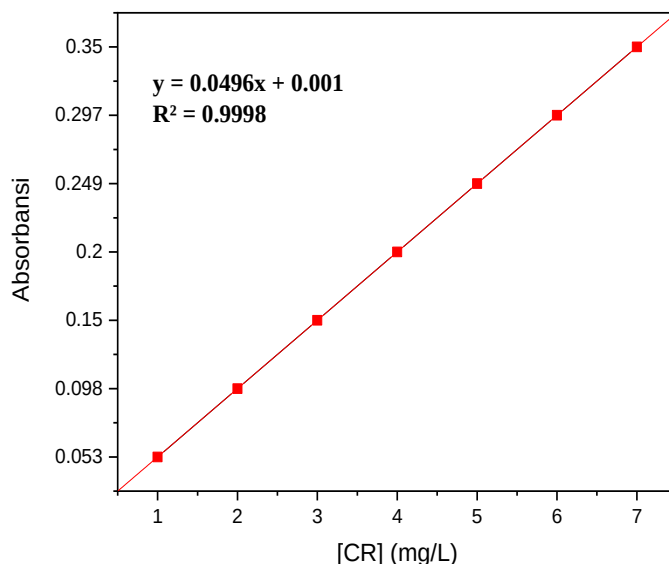


Gambar 6. Spektrum UV-Vis Congo Red dengan katalis TiO_2

Hasil aktivitas fotokatalis tersebut dapat diketahui persentasi degradasi dari larutan pewarna Congo Red menggunakan persamaan:

$$\% \text{Degradasi} = \frac{\text{kosentrasi awal} - \text{kosentrasi akhir}}{\text{kosentrasi awal}} \times 100\%$$

Untuk mengetahui nilai konsentrasi akhir yang menunjukkan konsentrasi setelah aktivitas fotokatalis dapat menggunakan kurva standar congo red dengan konsentrasi yang digunakan yaitu 1 ppm hingga 7 ppm yang disajikan pada gambar.

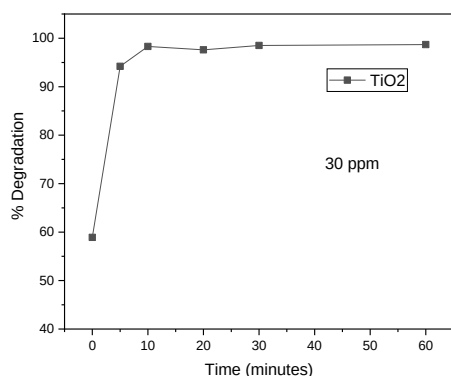


Gambar 7. Kurva Standar CO

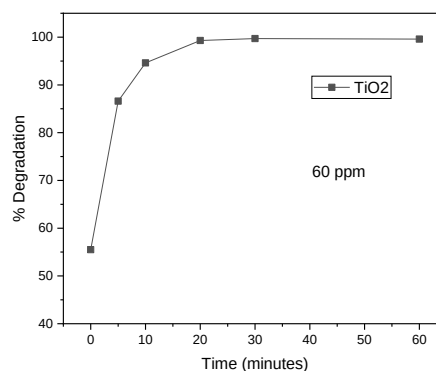
Dari hasil kurva tersebut persamaan yang dihasilkan yaitu :

$$y = 0,496x + 0,001$$

Dimana y mewakili nilai absorbansi dari pewarna *Congo Red* pada saat setelah proses iradiasi sedangkan x merupakan nilai konsentrasi akhir pada saat setelah proses iradiasi.. Untuk mengetahui persentase degradasi dapat menggunakan persamaan 1 dan 2. Hasil dari perhitungan tersebut ditampilkan pada **Gambar 8** dan **9** yang masing-masing mewakili konsentrasi 30 ppm dan 60 ppm.



Gambar 8. Grafik pengaruh waktu terhadap persentase degradasi pada konsentrasi 30 ppm



Gambar 9. Grafik pengaruh waktu terhadap persentase degradasi pada konsentrasi 60 ppm

Pada hasil pengujian dengan konsentrasi awal 30 ppm Congo Red, fotokatalis TiO_2 murni mampu mencapai degradasi hingga 98,7% setelah waktu iradiasi 60 menit. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat kemungkinan rekombinasi pasangan elektron-hole, aktivitas fotokatalitik TiO_2 tetap efisien dalam menurunkan konsentrasi zat warna (**Gambar 8**). Efisiensi degradasi yang tinggi ini mengindikasikan bahwa TiO_2 murni sudah cukup efektif digunakan sebagai katalis dalam proses fotodegradasi zat warna organik (Martínez et al., 2020).

Uji lebih lanjut pada konsentrasi Congo Red 60 ppm juga memperlihatkan tren serupa. Dalam kondisi tersebut, TiO_2 tetap menunjukkan efisiensi degradasi yang tinggi, yakni sebesar 98,7% pada waktu iradiasi 60 menit (**Gambar 9**). Peningkatan konsentrasi awal larutan Congo Red tidak terlalu memengaruhi efektivitas

fotodegradasi, sehingga dapat dikatakan bahwa TiO₂ murni memiliki stabilitas kinerja yang baik terhadap variasi konsentrasi zat warna (Martínez et al., 2020).

Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa TiO₂ memiliki kinerja yang baik sebagai fotokatalis, di mana material tersebut terbukti mampu menghasilkan radikal oksidatif ($\bullet\text{OH}$ dan $\bullet\text{O}_2^-$) yang cukup untuk mendegradasi Congo Red secara signifikan. Efisiensi tinggi yang diperoleh membuktikan bahwa TiO₂ murni layak digunakan sebagai fotokatalis dasar dalam pengolahan limbah cair yang mengandung zat warna sintetis (Martínez et al., 2020; Tayebi et al., 2019).

Namun, jika dibandingkan dengan beberapa penelitian sebelumnya, kinerja TiO₂ murni umumnya berada pada tingkat yang lebih rendah. Pada studi (AbdulKareem et al., 2023), TiO₂ murni hanya mencapai degradasi sekitar seperempat dari efisiensi nanokomposit, yakni sekitar 20% setelah 75 menit, yang menunjukkan keterbatasan akibat rekombinasi elektron-hole yang tinggi. Hal serupa juga terlihat dalam penelitian (Martínez et al., 2020), di mana TiO₂ murni hanya mampu mendegradasi 72,5% etilparaben dalam 40 menit, lebih rendah dibandingkan nanokomposit yang dapat mencapai hampir 99% pada waktu yang sama. Sementara itu, penelitian (Garrafa-Gálvez et al., 2019) memperlihatkan bahwa TiO₂ murni hanya mencapai degradasi 55% dalam 60 menit, kembali menegaskan kendala utama berupa rekombinasi pasangan elektron-hole. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa meskipun hasil penelitian ini menunjukkan efisiensi TiO₂ murni yang lebih tinggi dibandingkan studi-studi sebelumnya, perbandingan tersebut menegaskan bahwa efektivitas TiO₂ murni dalam fotodegradasi sangat dipengaruhi oleh kondisi uji, jenis polutan, serta intensitas cahaya yang digunakan.

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa baik metode sintesis kimia maupun green synthesis menggunakan ekstrak bunga melati (*Jasminum sambac*) berhasil menghasilkan nanopartikel TiO₂ dengan struktur kristalin fase anatase dan ukuran kristal dalam skala nanometer. Karakterisasi XRD menunjukkan bahwa intensitas puncak difraksi pada TiO₂ hasil green synthesis lebih tinggi, mengindikasikan tingkat kristalinitas yang lebih baik, kemungkinan akibat peran senyawa bioaktif dalam ekstrak melati selama proses sintesis. Hasil FTIR juga menunjukkan adanya gugus fungsional utama Ti-O dan O-H pada kedua jenis sampel, dengan perbedaan intensitas yang menunjukkan pengaruh senyawa alami terhadap struktur permukaan material. Uji fotokatalitik memperlihatkan bahwa TiO₂ mampu mendegradasi larutan Congo Red hingga 98,7% dalam 60 menit, menegaskan efektivitasnya dalam aplikasi pengolahan limbah cair berwarna. Oleh karena itu, green synthesis dapat menjadi alternatif ramah lingkungan yang potensial untuk menghasilkan fotokatalis TiO₂ berkinerja baik dalam aplikasi pengolahan limbah.

B. Saran

Diperlukan penelitian lanjutan untuk menguji kinerja fotokatalitik TiO₂ hasil green synthesis secara langsung dalam degradasi limbah pewarna seperti Congo Red, serta mengkaji stabilitas dan efisiensinya dalam berbagai kondisi lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- AbdulKareem, E. A., Mahmoud, Z. H., & Khadom, A. A. (2023). Sunlight assisted photocatalytic mineralization of organic pollutants over rGO impregnated TiO₂ nanocomposite: Theoretical and experimental study. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2023.100446>
- Al-Onazi, W. A., & Ali, M. H. H. (2021). Synthesis and characterization of cerium oxide hybrid with chitosan nanoparticles for enhancing the photodegradation of Congo Red dye. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(9), 12017-12030. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-05832-7>
- Al-Snafi, A. S. (2018). Pharmacology and Medicinal Properties of *Jasminum Officinale*. *Indo American Journal of Pharmaceutical Science*, 05(04), 2191-2197. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1214994>
- Aravind, M., Ahmad, A., Ahmad, I., Amalanathan, M., Naseem, K., Mary, S. M. M., Parvathiraja, C., Hussain, S., Algarni, T. S., Pervaiz, M., & Zuber, M. (2021). Critical green routing synthesis of silver NPs using jasmine flower extract for biological activities and photocatalytic degradation of methylene blue. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 1-29. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104877>

- Aravind, M., Amalanathan, M., & Mary, M. S. M. (2021). Synthesis of TiO₂ nanoparticles by chemical and green synthesis methods and their multifaceted properties. *SN Applied Sciences*, 3(4), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04281-5>
- Asaad Mahdi, M., Farhan, M. A., Mahmoud, Z. H., Mahdi Rheima, A., sabri Abbas, Z., Kadhim, M. M., dhari jawad al-bayati, A., Salam Jaber, A., Hachim, S. K., & Hussain Ismail, A. (2023). Direct sunlight photodegradation of congo red in aqueous solution by TiO₂/rGO binary system: Experimental and DFT study. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(8), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104992>
- Bahadoran, A., Jabarabadi, K. M., Mahmud, Z. H., Bokov, D., Janani, B. J., & Fakhri, A. (2022). Quick and sensitive colorimetric detection of amino acid with functionalized-silver/copper nanoparticles in the presence of cross linker, and bacteria detection by using DNA-template nanoparticles as peroxidase activity. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 268, 120636., 268. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.saa.2021.120636>
- Balsamo, S. A., Fiorenza, R., Condorelli, M., Pecoraro, R., Brundo, M. V., Presti, F. Lo, & Sciré, S. (2021). One-pot synthesis of TiO₂-rGO photocatalysts for the degradation of groundwater pollutants. *Materials*, 14(5938), 1–20. <https://doi.org/10.3390/ma14205938>
- Chougala, L. S., Yatnatti, M. S., Linganagoudar, R. K., Kamble, R. R., & Kadadevarmath, J. S. (2017). A simple approach on synthesis of TiO₂ nanoparticles and its application in dye sensitized solar cells. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 9(4), 1–6. [https://doi.org/10.21272/jnep.9\(4\).04005](https://doi.org/10.21272/jnep.9(4).04005)
- Garrafa-Gálvez, H. E., Alvarado-Beltrán, C. G., Almaral-Sánchez, J. L., Hurtado-Macías, A., Garzon-Fontecha, A. M., Luque, P. A., & Castro-Beltrán, A. (2019). Graphene role in improved solar photocatalytic performance of TiO₂-RGO nanocomposite. *Chemical Physics*, 521, 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.chemphys.2019.01.013>
- Helan, V., Prince, J. J., Al-Dhabi, N. A., Arasu, M. V., Ayeshamariam, A., Madhumitha, G., Roopan, S. M., & Jayachandran, M. (2016). Neem leaves mediated preparation of NiO nanoparticles and its magnetization, coercivity and antibacterial analysis. *Results in Physics*, 6, 712–718. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2016.10.005>
- Hussain, I., Singh, N. B., Singh, A., Singh, H., & Singh, S. C. (2016). Green synthesis of nanoparticles and its potential application. *Biotechnology Letters*, 38(4), 545–560. <https://doi.org/10.1007/s10529-015-2026-7>
- Kundu, A., & Mondal, A. (2019). Photodegradation of methylene blue under direct sunbeams by synthesized anatase titania nanoparticles. *SN Applied Sciences*, 1(3), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0280-3>
- Martínez, R. M., Alvares, M. A., Ramon, M. V. L., Quesada, G. C., Utrilla, J. R., & Sánchez, P. M. (2020). Hydrothermal Synthesis of rGO-TiO₂ Composites as High-Performance UV Photocatalysts for Ethylparaben Degradation. *Journal of Catalysts*, 10(5), 1–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/catal10050520>
- Raja, V., Shiamala, L., Alamelu, K., & Jaffar Ali, B. M. (2016). A study on the free radical generation and photocatalytic yield in extended surfaces of visible light active TiO₂ compounds. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 152, 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.03.008>
- Shakeel, N., Piwoński, I., Iqbal, P., & Kisielewska, A. (2025). Green Synthesis of Titanium Dioxide Nanoparticles: Physicochemical Characterization and Applications: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(12), 1–33. <https://doi.org/10.3390/ijms26125454>
- Sofyan, N., Muhammad, Ridhova, A., Angellinnov, F., M'rad, M., Yuwono, A. H., Dhaneswara, D., Priyono, B., & Fergus, J. W. (2025). Jasmine flowers extract mediated green synthesis of tio₂ nanoparticles and their photocurrent characteristics for dye-sensitized solar cell application. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, 14(2), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s40243-025-00320-y>
- Tayebi, M., Kolaei, M., Tayyebi, A., Masoumi, Z., Belbasi, Z., & Lee, B. K. (2019). Reduced graphene oxide (RGO) on TiO₂ for an improved photoelectrochemical (PEC) and photocatalytic activity. *Solar Energy*, 190, 185–194. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.020>
- Wen, X., Zhao, S., & Asuha, S. (2019). Preparation of nitrogen-doped mesoporous tio₂/rgo composites and its application to visible light-assisted photocatalytic degradation. *Journal of Nanomaterials*, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2019/6467107>