



Sintesis dan Karakterisasi CuO sebagai Fotokatalis untuk Degradasi *Methylene Blue* dan *Methyl Orange*

Linda Suyati^{1*}, Pramastuti Adiar Rukmi¹, dan Salsabila Salsabila¹

¹Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia 50275

*Corresponding author: linda_suyati@live.undip.ac.id

Received: 22 September 2025/ Accepted: 9 November 2025

Available online: 30 November 2025

Abstrak

Pencemaran air yang disebabkan oleh limbah pewarna sintesis *methylene blue* (MB) dan *methyl orange* (MO) menimbulkan masalah lingkungan yang serius karena toksisitas dan tak dapat terurai di alam. CuO adalah salah satu material yang bisa untuk menangani masalah limbah tersebut karena sifat adsorpsi dan fotokatalitiknya. Tujuan penelitian mensintesis CuO dengan metode presipitasi untuk mendegradasi zat warna MB dan MO. Metode penelitian sebanyak 6,237 gram $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dalam 100 mL kemudian dipanaskan pada suhu 55°C hingga homogen. Selanjutnya ditambahkan NaOH sampai mencapai pH 9 dan dikalsinasi pada suhu 700°C. Produk dianalisis dengan FTIR dan XRD kemudian diaplikasikan untuk uji fotokatalitiknya. Berdasarkan hasil penelitian, tembaga(II) oksida (CuO) berhasil disintesis melalui metode presipitasi dan dikarakterisasi menggunakan XRD serta FTIR yang menunjukkan fase kristal monoklinik dengan ikatan Cu-O khas. Uji kinerja menunjukkan bahwa CuO memiliki aktivitas adsorptif maupun fotokatalitik terhadap zat warna sintesis *methylene blue* (MB) mencapai efisiensi hingga 66,5% dalam 5 menit pertama dan *methyl orange* (MO) terjadi dengan cepat pada awal reaksi ($\pm 32\%$). Hasil ini membuktikan bahwa CuO berpotensi sebagai material fotokatalis dan adsorben yang murah, sederhana dan ramah lingkungan untuk pengolahan limbah zat warna.

Kata Kunci: Tembaga (II) oxide (CuO); Fotokatalis; Adsorption; Methylene Blue; Methyl Orange

1. Pendahuluan

Pencemaran air akibat limbah industri, khususnya pada lingkup industri tekstil, menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang dapat memberikan dampak buruk bagi lingkungan. Limbah cair dari industri umumnya mengandung berbagai senyawa kimia yang berbahaya, termasuk limbah pewarna sintesis seperti *methylene blue* dan *methyl orange* [1]. Kedua jenis senyawa ini bersifat toksik dan tidak dapat terurai secara alami, serta dapat mengganggu proses fotosintesis apabila terlarut dalam air, sehingga dapat mengganggu ekosistem perairan. Oleh karena itu, diperlukan teknologi yang efektif, efisien, dan ramah lingkungan untuk mengatasi kontaminan akibat limbah pewarna yang dihasilkan oleh sektor industri [2].

Salah satu pendekatan yang dikembangkan adalah penggunaan material semikonduktor berbasis logam oksida seperti tembaga(II) oksida (CuO) [3]. CuO dikenal sebagai material yang memiliki sifat fotokatalitik yang baik, struktur yang stabil serta dan biaya produksi yang relatif rendah

[4]. Selain sebagai fotokatalis, CuO juga menunjukkan potensi material adsorben, karena memiliki luas permukaan yang aktif yang memungkinkan interaksi kuat dengan molekul pewarna [5]. [6]. Kombinasi sifat adsorptif dan fotokatalitik ini menjadikan CuO sebagai material yang menjanjikan untuk pengolahan limbah pewarna baik itu sebagai adsorpsi (tanpa sinar UV) dan fotokatalisis (dengan sinar UV). Berdasarkan penelitian sebelumnya dihasilkan bahwa CuO aktivitas fotokatalitik yang tinggi. Material ini mampu mendegradasi metilen biru (MB) hingga ~85,5% dalam 300 menit di bawah sinar matahari [7]. Selain itu, degradasi metil oranye (MO) juga mencapai sekitar 16-22 % selama 120 menit [8]. Pada penelitian ini difokuskan pada rentang waktu 60 menit untuk degradasi *methylene blue* dan *methyl orange*.

Sebelum digunakan, material CuO disintesis dan dikarakterisasi untuk memastikan struktur kristal dan sifat optiknya sesuai untuk kebutuhan aplikasi. Proses sintesis yang dilakukan dapat melalui

beberapa metode seperti presipitasi, sol-gel, hidrotermal, atau pembakaran dengan kalsinasi, Masing-masing memiliki pengaruhnya sendiri terhadap ukuran partikel dan aktivitas permukaan [9]. Pada penelitian ini menggunakan metode presipitasi, karena metode ini relatif sederhana, murah, dan mampu menghasilkan partikel dengan ukuran seragam. Setelah dilakukan proses sintesis, dilakukan karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi dari kristal yang terbentuk serta analisis dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) yang digunakan untuk menentukan fase kristal CuO. Karakterisasi ini digunakan untuk memastikan struktur CuO dengan aktivitas adsorptif dan fotokatalitiknya dalam proses degradasi pewarna [10].

Material CuO yang diperoleh, kemudian diuji efektivitasnya dalam untuk menghilangkan pewarna *metilen birumethylene blue* dan *metil methyl orange* melalui dua mekanisme yang berbeda yakni adsorpsi (tanpa UV) dan fotokatalisis (dengan UV). Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat diperoleh pemahaman mengenai hubungan antara struktur material dengan kinerjanya, serta memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi pengolahan limbah pewarna yang efisien, murah, dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan material semikonduktor berbasis oksida logam.

2. Metode Penelitian

2.1. Alat dan Bahan

Alat: Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi berbagai alat laboratorium seperti gelas beker, labu ukur, gelas ukur, buret, pipet, botol vial, porselin, pipet volume, kertas pH, termometer, kaca arloji, cawan petri. Instrumen analisis yang digunakan spektrofotometer Uv-vis, FTIR (Agilent) dan XRD (Simadzu). Proses pemanasan dilakukan dengan menggunakan *furnace* dan oven, sedangkan alat bantu lainnya berupa *hot plate*, sentrifugase, *magnetic stirrer* dan batang pengaduk.

Bahan: Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Tembaga(II) sulfat pentahidrat (*For analysis*, Merck), NaOH (*Pro analysis*, Merck) sebagai prekursor, *methylene blue* (Merck), *methyl orange* (Merck) sebagai sampel utama, dan akuades sebagai pelarut.

2.2. Cara Kerja

2.2.1 Sintesis CuO

Sintesis Tembaga(II) oksida atau dikenal dengan cupric oxide (CuO) dilakukan dengan metode presipitasi. Sebanyak 6,237 gram $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dalam 100 mL akuadesakuades dalam gelas beker. Pengadukan dan pemanasan larutan pada suhu 55°C hingga homogen. Selanjutnya, NaOH sebanyak 3 gram yang sudah diencerkan dalam labu ukur 100 mL, ditambahkan tetes demi tetes pada kondisi masih dalam pengadukan. Penambahan NaOH ini

dilakukan sampai larutan memiliki pH 9. Kemudian dilakukan pemisahan menggunakan sentrifugasi dengan 2000 rpm 10 menit. Residu yang dihasilkan dicuci dengan akuades hingga pH netral. Setelahnya pengeringan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 24 jam, kemudian dilakukan kalsinasi pada suhu 700°C selama 3 jam.

2.2.2 Proses Esktraksi Alkali

Pembuatan larutan standar *metilen metylene blue* dan *metil methyl orange* 100 ppm diawali dengan penimbangan 10 mg *methylene blue* dan *methyl orange* yang dilarutkan dengan akuades pada 100 mL labu ukur. Pengambilan sebanyak 10 mL untuk diencerkan dalam 10 ppm, penambahan akuades hingga tanda batas pada labu ukur 100 mL. Selanjutnya dari 10 ppm larutan *methylene blue* dilakukan pengenceran kembali menjadi 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm, 4,5 ppm ke dalam labu ukur 25 mL dan ditambahkan akuadesakuadest hingga batas meniscus. Sedangkan pada larutan *methyl orange* 10 ppm diencerkan menjadi 2 ppm, 4 ppm, 6 ppm, 8 ppm ke dalam labu ukur 25 mL dan ditambahkan akuadestakuades hingga batas meniscus. Kemudian dilakukan pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer UV Vis dengan panjang gelombang 664 nm untuk *methylene blue* dan 464 nm untuk *methyl orange*.

Pengujian aktivitas adsorpsi dalam ruang gelap dimulai dengan penambahan material CuO sebanyak 0,01 gram ke dalam beaker glass yang berisikan larutan *methylene blue* dengan konsentrasi 10 ppm. Selanjutnya di dalam kondisi ruang gelap, dilakukan pengadukan menggunakan magnetik stirrer dengan kecepatan 300 rpm serta reaksi dilakukan berdasarkan variasi waktu (5 menit; 10 menit; 15 menit; 20 menit; 25 menit). Selanjutnya, larutan *methylene blue* yang telah ditambahkan CuO kemudian disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 4000 rpm untuk memisahkan CuO dari larutan. Setelah larutan terpisah dilakukan perhitungan absorbansi. Untuk uji coba adsorpsi menggunakan larutan *methyl orange* dilakukan dengan prosedur yang sama. Pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer UV Vis dengan panjang gelombang 664 nm untuk *methylene blue* [11] dan 464 nm untuk *methyl orange* [12].

2.2.3 Uji Kinerja Fotokatalitik

Pengujian aktivitas fotokatalitik menggunakan metode *batch* yang dimulai dengan penambahan material CuO sebanyak 0,01 gram ke dalam *beaker glass* yang berisikan larutan *methylene blue* sebanyak 10 mL dengan konsentrasi 10 ppm. Selanjutnya di dalam reaktor fotokatalitik, dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 300 rpm serta reaksi dilakukan berdasarkan variasi waktu (5 menit; 10 menit; 15 menit; 20 menit; 25 menit). Selanjutnya, larutan *methylene blue* yang telah ditambahkan CuO dikeluarkan dari reaktor untuk kemudian dilakukan sentrifugasi selama 10 menit dengan

kecepatan 4000 rpm untuk memisahkan CuO dari larutan. Setelah larutan terpisah dilakukan perhitungan absorbansi. Untuk uji coba fotokatalitik menggunakan larutan *methyl orange* dilakukan dengan prosedur yang sama. Pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer UV Vis dengan panjang gelombang 664 nm untuk *methylene blue* dan 464 nm untuk *methyl orange* [13]. Pengujian aktivitas fotokatalitik dimulai dengan penambahan material CuO sebanyak 0,01 gram ke dalam beaker glass yang berisikan larutan *methylene blue* dengan konsentrasi 10 ppm. Selanjutnya di dalam reaktor fotokatalitik, dilakukan pengadukan menggunakan magnetik stirer dengan kecepatan 300 rpm serta reaksi dilakukan berdasarkan variasi waktu (5 menit; 10 menit; 15 menit; 20 menit; 25 menit). Selanjutnya, larutan *methylene blue* yang telah ditambahkan CuO dikeluarkan dari reaktor untuk kemudian dilakukan sentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 4000 rpm untuk memisahkan CuO dari larutan. Setelah larutan terpisah dilakukan perhitungan absorbansi. Untuk uji coba fotokatalitik menggunakan larutan *methyl orange* dilakukan dengan prosedur yang sama. Pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer UV Vis dengan panjang gelombang 664 nm untuk *methylene blue* dan 464 nm untuk *methyl orange* [14].

2.2.4 Karakterisasi

Hasil sintesis Tembaga(II) Oksida (CuO) dilakukan karakterisasi dengan menggunakan Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam material, khususnya untuk memastikan keberadaan ikatan logam-oksigen (Cu-O) yang menjadi ciri khas CuO. Sementara itu, untuk menentukan struktur kristal, ukuran kristalit dan tingkat kristalinitas material menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction*. Melalui pola difraksi yang diperoleh, dapat diketahui material CuO yang dihasilkan memiliki struktur yang sesuai dengan fase monoklinik yang khas.

3. Hasil dan Pembahasan

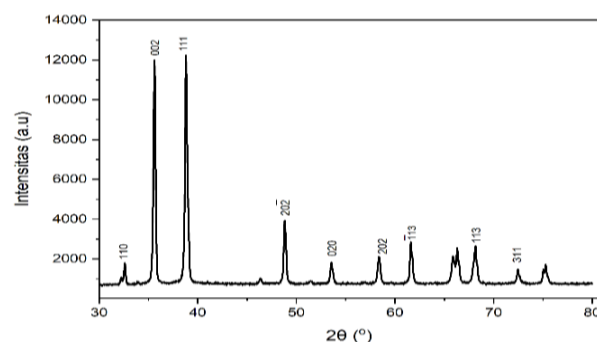
3.1. Sintesis CuO

Sintesis Tembaga(II) oksida atau dikenal dengan *cupric oxide* (CuO) dilakukan dengan metode presipitasi. Hasil yang didapatkan berupa serbuk CuO berwarna hitam. Selanjutnya CuO dapat dianalisis dengan menggunakan Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam material. Sementara itu, untuk menentukan struktur kristal, ukuran kristalit dan tingkat kristalinitas material menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD).

3.2. Karakterisasi XRD

Analisis *X-Ray Diffraction* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui struktur kristal, fase kristal dan ukuran kristal pada sampel tembaga(II) oksida (CuO) yang telah disintesis ditunjukkan pada Gambar 1. Pembentukan CuO dikonfirmasi melalui analisis XRD menggunakan alat SHIMADZU MAXima_X XRD-7000 dengan sumber radiasi Cu-K α

($\lambda = 0,15406$) dan rentang sudut pindai antara 30° hingga 80°.



Gambar 1: Pola XRD CuO hasil sintesis

Berdasarkan JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) Card No: 00-041-0254, pola difraksi yang dihasilkan dalam difraktogram menunjukkan bahwa sampel merupakan fase kristal CuO yang disintesis bersifat polikristalin dan digambarkan sebagai fase tenorit monoklinik dari struktur CuO, serta puncak khas 2 θ pada 32,62° ; 35,62° ; 38,82° ; 48,82° ; 53,54° ; 58,34° ; 61,60° ; 68,29° ; 72,94° , dengan bidang hkl secara berurutan adalah (110), (002), (111), (20-2), (020), (202), (-113), (113), dan (311) [15].

3.3. Hasil Pengukuran Kurva Standar

Methylene Blue dan Methyl Orange

Hasil sintesis Tembaga(II) Oksida (CuO) dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk memastikan gugus fungsi yang terdapat dalam material disajikan pada Gambar 1. Pada Gambar 1 puncak O-H *stretching* terlihat pada bilangan gelombang 3400–3200 cm⁻¹ yang berasal dari air terikat (*adsorben water*), puncak C-H pada bilangan gelombang 3000–2800 cm⁻¹ dari senyawa organik, puncak C=C pada bilangan gelombang 1700–1600 cm⁻¹, dan puncak C-O pada bilangan gelombang 1100–1000 cm⁻¹. Puncak utama di bilangan gelombang 600–500 cm⁻¹ menunjukkan ikatan Cu-O khas CuO. Setelah kalsinasi, puncak O-H hilang, menandakan hilangnya air dan peningkatan kemurnian CuO. Keberadaan gugus fungsi khas CuO yang dihasilkan menunjukkan bahwa CuO telah berhasil disintesis [16].

3.4. Hasil Pengukuran Kurva Standar

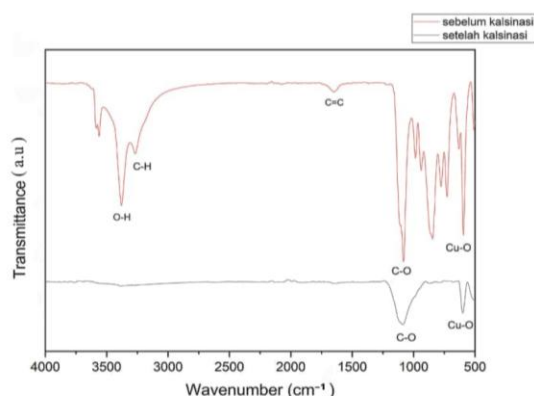
Methylene Blue dan Methyl Orange

Hasil kurva standar larutan *methylene blue* dan *methyl orange* menggunakan persamaan regresi linier ini digunakan untuk analisa kuantitatif suatu senyawa. Kadar sampel dihitung berdasarkan persamaan regresinya linier yang ditunjukkan pada Gambar 3.

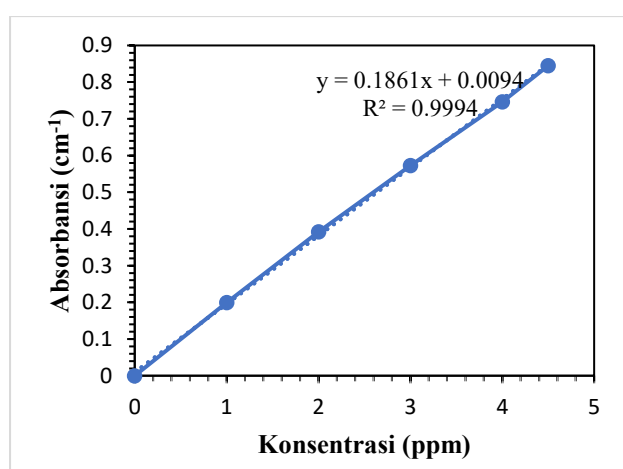
Dihasilkan kurva standar *methylene blue* sebesar $y = 0,1861x + 0,0094$ dengan $R^2 = 0,9994$ yang menandakan bahwa memiliki nilai yang mendekati 1. Hal tersebut menunjukkan data yang didapatkan pada percobaan ini valid. Grafik tersebut membuktikan kebenaran hukum Lambert-Beer,

Doi:

dimana konsentrasi semakin tinggi maka nilai absorbansi semakin besar.

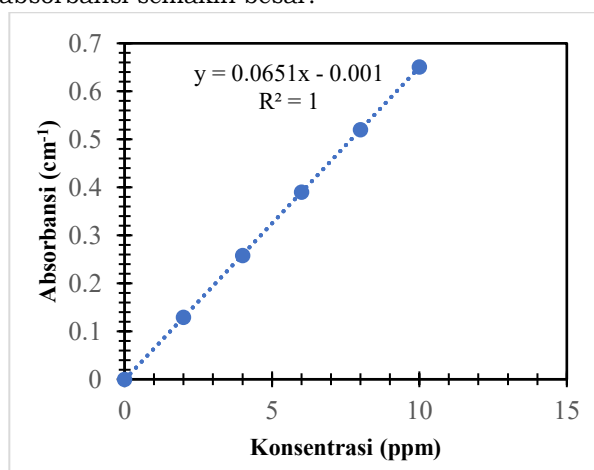


Gambar 2: Spektra FTIR CuO sebelum dan setelah kalsinasi



Gambar 3: Hasil pengukuran kurva standar *methylene blue*

Sedangkan untuk *methyl orange* Dihasilkan kurva standar *methyl orange* sebesar $y = 0,0651x - 0,001$ dengan $R^2 = 1$ yang menandakan bahwa data yang didapatkan pada percobaan ini valid. Grafik tersebut membuktikan kebenaran hukum Lambert-Beer, dimana konsentrasi semakin tinggi maka nilai absorbansi semakin besar.



Gambar 4: Hasil pengukuran kurva standar *methyl orange*

3.5. Hasil Kinerja Adsorpsi

Adsorpsi merupakan mekanisme penyerapan yang terjadi akibat adanya adhesi antara suatu zat (dalam bentuk gas, cair, atau padat) pada permukaan suatu substrat, yang biasanya berupa padatan atau cairan dan bertindak sebagai penyerap (adsorben) [6]. Dalam penelitian ini, CuO berperan sebagai adsorben yang dapat mengadsorpsi zat warna *methylene blue* dan *methyl orange*. Adsorpsi didasarkan pada prinsip perpindahan massa dan penyerapan molekul dari fase cair atau gas ke permukaan padat adsorben, yang di analisis menggunakan spektrofotometer UV-vis untuk mengetahui absorbansi yang dihasilkan pada proses degradasi larutan *methylene blue* dan *methyl orange* oleh CuO. Pita serapan *methylene blue* dan *methyl orange* muncul pada panjang gelombang 646 dan 464 nm [17]. Dimana didapatkan hasil absorbansi *methylene blue* yang ditunjukkan dalam Tabel 1.

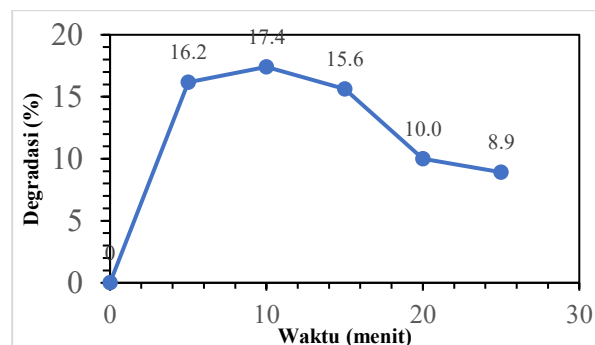
Tabel 1. Hasil absorbansi adsorpsi MB oleh CuO

Variasi waktu (menit)	Absorbansi
MB awal	1,618
5	1,317
10	1,294
15	1,327
20	1,432
25	1,452

Proses adsorpsi metilen *methylene blue* (MB) oleh CuO tanpa penyinaran UV yang ditunjukkan dalam Gambar 5. Hasil dari persentase efisiensi degradasi dapat dihitung melalui persamaan berikut [18]. [19]

$$\text{Efisiensi degradasi (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$$

Hasil yang diperoleh menunjukkan adsorpsi berlangsung dengan cukup cepat dimana pada 5 menit pertama kenaikan degradasi MB oleh CuO mengalami kenaikan dari 19,6 % menjadi 20,8 % di menit ke 10. Namun, pada menit ke 15 mengalami penurunan yang signifikan, hal ini menandakan bahwa degradasi *methylene blue* oleh CuO tidak stabil dan optimal.



Gambar 5: Hasil degradasi *methylene blue* oleh CuO

Doi:

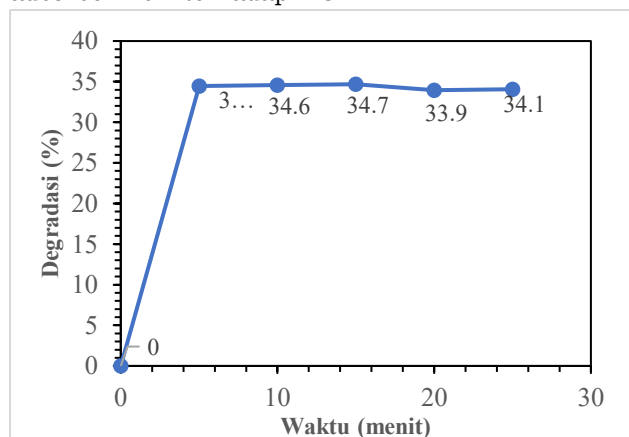
Selanjutnya dilakukan pengukuran absorbansi *methyl orange* dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS, dimana pita serapan *metil methyl orange* adalah 464 nm [17]. Dimana didapatkan hasil absorbansi *methyl orange* yang ditunjukkan Tabel 2.

Tabel 2. Hasil absorbansi adsorpsi MB oleh CuO

Variasi waktu (menit)	Absorbansi (cm^{-1})
MO awal	0,8
5	0,786
10	0,774
15	0,765
20	0,840
25	0,827

Proses adsorpsi *metil methyl orange* (MO) oleh CuO tanpa penyinaran UV menunjukkan bahwa adsorpsi berlangsung dengan cukup cepat dimana pada 5 menit pertama ditunjukkan penurunan absorbansi awal yaitu dari $0,800 \text{ cm}^{-1}$ menjadi $0,786 \text{ cm}^{-1}$ dan menghasilkan persentase degradasi sebesar 34,5%. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan setelah itu, nilai degradasi cenderung stabil dengan sedikit fluktuasi di kisaran 33,9% hingga 34,7% hingga pada menit ke 25. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar situs aktif pada permukaan CuO telah terisi oleh molekul MO pada tahap awal dan mencapai sistem kesetimbangan adsorpsi. Meskipun tanpa bantuan energi atau sinar foton seperti UV, efektivitas CuO menunjukkan efisiensinya sebagai adsorben fisik terhadap MO

Gambar 6: Hasil degradasi *methyl orange* oleh CuO

3.6 Hasil Kinerja Fotokatalitik

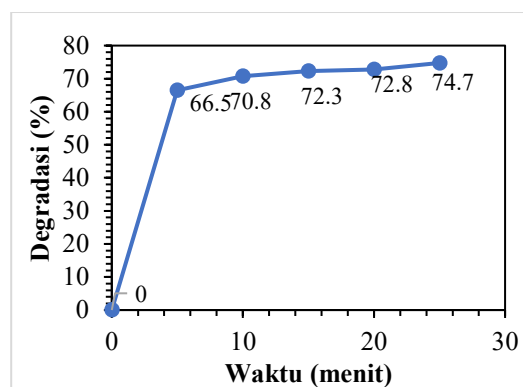
Dekomposisi fotokatalitik *metylene blue* (MB) menggunakan CuO yang dipantau dengan mengukur absorbansi dalam spektroskopi UV-VIS. Pita serapan *metilen birumethylene blue* umumnya muncul pada rentang panjang gelombang 400-800 nm [20], dengan puncak serapan khas pada 664 nm yang digunakan dalam penelitian ini. Hasil yang diperoleh ditunjukkan Tabel 3.

Tabel 3. Hasil absorbansi adsorpsi MB oleh CuO

Variasi waktu (menit)	Absorbansi
MB awal	1,682
5	0,444
10	0,365
15	0,337
20	0,328
25	0,291

Hasil perhitungan persentase efisiensi degradasi dapat dilihat dari Gambar 7. Proses degradasi *metilen methylene blue* (MB) menggunakan CuO menunjukkan efisiensi yang tinggi dalam waktu reaksi yang relatif singkat. Berdasarkan grafik hubungan antara waktu dan persentase degradasi meningkat pada 5 menit pertama, dengan persentase mencapai 66,5%. Hal ini menunjukkan bahwa CuO memiliki aktivitas fotokatalitik yang sangat efektif pada awal reaksi, yang disebabkan oleh konsentrasi MB yang masih tinggi serta ketersediaan situs aktif pada permukaan katalis.

Untuk proses dekomposisi fotokatalitik *methyl orange* (MO) dengan bantuan CuO dipantau melalui pengukuran absorbansi menggunakan spektroskopi UV-VIS. Umumnya, *metilen methyl orange* memiliki pita serapan dalam rentang panjang gelombang sekitar 465 nm, dengan puncak serapan karakteristik berada pada 646 nm, yang menjadi acuan dalam penelitian ini. Nilai absorbansi yang diperoleh dari masing-masing variasi waktu reaksi sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.

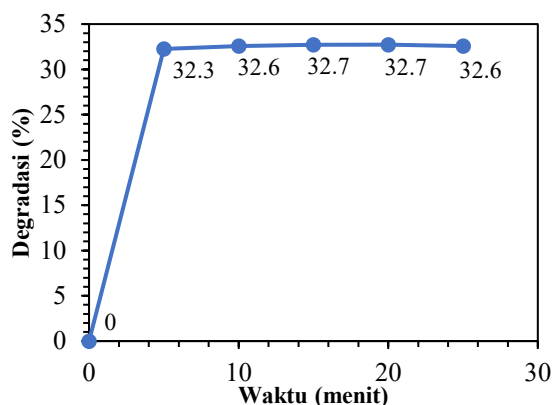
Gambar 7: Hasil degradasi fotokatalitik *metilen methylene blue* oleh CuO

Tabel 4. Hasil absorbansi adsorpsi MO oleh CuO

Variasi waktu (menit)	Absorbansi
MO awal	0,765
5	0,819
10	0,788
15	0,774
20	0,772
25	0,788

Doi:

Pada Gambar 8 menunjukkan hasil degradasi *methyl orange* dengan efisiensi sekitar 32% secara cepat pada awal reaksi, tetapi setelah itu proses degradasi terhenti dan tidak menunjukkan peningkatan signifikan seiring waktu.



Gambar 8: Hasil degradasi fotokatalitik *methyl orange* oleh CuO

4. Kesimpulan

Tembaga(II) oksida (CuO) berhasil disintesis melalui metode presipitasi. Hasil karakterisasi menggunakan XRD serta FTIR yang menunjukkan fase kristal monoklinik dengan ikatan Cu-O khas. Uji kinerja menunjukkan bahwa CuO memiliki aktivitas adsorptif maupun fotokatalitik terhadap zat warna sintesis *methylene blue* (MB) mencapai efisiensi hingga 66,5% dalam 5 menit pertama dan *methyl orange* (MO) terjadi dengan cepat pada awal reaksi ($\pm 32\%$). Hasil ini membuktikan bahwa CuO berpotensi sebagai material fotokatalis dan adsorben yang murah, sederhana dan ramah lingkungan untuk pengolahan limbah zat warna.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepada Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro atas dukungan fasilitas laboratorium serta bantuan yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] S. Dutta, "Contamination of textile dyes in aquatic environment: Adverse impacts on aquatic ecosystem and human health, and its management using bioremediation," *J Environ Manage*, vol. 353, p. 120103, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120103>.
- [2] S. Estévez, D. Mosca Angelucci, M. T. Moreira, dan M. C. Tomei, "Techno-environmental and economic assessment of color removal strategies from textile wastewater," *Science of The Total Environment*, vol. 913, p. 169721, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169721>.
- [3] F. Cao, Z. Pan, dan X. Ji, "Enhanced photocatalytic activity of a pine-branch-like ternary CuO/CuS/ZnO heterostructure under visible light irradiation," *New Journal of Chemistry*, vol. 43, no. 28, pp. 11342–11347, 2019, <https://doi.org/10.1039/c9nj01785b>.
- [4] P. S. M. Gawande, N. S. Belwalkar, dan A. A. Mane, "Adsorption dan its Isotherm – Theory," no. January, 2017, <https://doi.org/10.5958/2319-6890.2017.00026.5>.
- [5] M. Alaqarbeh, "Adsorption Types : Short Review," vol. 13, pp. 43–51, 2021.
- [6] M. Alaqarbeh, "Adsorption Phenomena: Definition, Mechanisms, dan Adsorption Types: Short Review," *RHAZES: Green dan Applied Chemistry*, vol. 13, pp. 43–51, 2021, <https://doi.org/10.48419/IMIST.PRSM/rhazes-v13.28283>.
- [7] Q. Wang, G. Gao, D. Gong, dan C. Zhang, "Redispersible CuO nanoparticles: preparation and photocatalytic capacity for the degradation of methylene blue," *RSC Adv*, vol. 15, no. 24, pp. 19023–19033, Jun. 2025, <https://doi.org/10.1039/d5ra02244d>.
- [8] R. K. Sali, M. S. Pujar, A. Nadgir, dan A. H. Sidarai, "Photocatalytic activities of CuO nanorods over methyl orange: Hydrothermal method," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Jun. 2020, <https://doi.org/10.1063/5.0009153>.
- [9] P. C. Okoye, S. O. Azi, T. F. Qahtan, T. O. Owolabi, and T. A. Saleh, "Synthesis, properties, and applications of doped and undoped CuO and Cu₂O nanomaterials," *Mater Today Chem*, vol. 30, p. 101513, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2023.101513>.
- [10] D. Saravanakkumar et al., "Synthesis and characterization of ZnO–CuO nanocomposites powder by modified perfume spray pyrolysis method and its antimicrobial investigation," *Journal of Semiconductors*, vol. 39, no. 3, p. 33001, 2018, <https://doi.org/10.1088/1674-4926/39/3/033001>.
- [11] A. Fernández-Pérez, T. Valdés-Solís, dan G. Marbán, "Visible light spectroscopic analysis of Methylene Blue in water; the resonance virtual equilibrium hypothesis," *Dyes and Pigments*, vol. 161, pp. 448–456, 2019, <https://doi.org/>

Doi:

- <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2018.09.083>.
- [12] K. R. J. Manuda, A. Tillekaratne, dan D. R. Jayasundara, "In situ real-time assessment of wavelength dependent degradation of methyl orange on rGO-TiO₂ photocatalyst," *iScience*, vol. 28, no. 5, p. 112304, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.112304>.
- [13] C. Jing, "In-situ constructing visible light CdS/Cd-MOF photocatalyst with enhanced photodegradation of methylene blue," *Particuology*, vol. 69, pp. 111–122, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.partic.2021.11.013>.
- [14] C. Jing., "In-situ constructing visible light CdS/Cd-MOF photocatalyst with enhanced photodegradation of methylene blue," *Particuology*, vol. 69, pp. 111–122, Oct. 2022, <https://doi.org/10.1016/J.PARTIC.2021.11.013>.
- [15] M. Bin Mobarak, M. S. Hossain, F. Chowdhury, dan S. Ahmed, "Synthesis and characterization of CuO nanoparticles utilizing waste fish scale and exploitation of XRD peak profile analysis for approximating the structural parameters," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 15, no. 10, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104117>.
- [16] M. Bin Mobarak, M. S. Hossain, F. Chowdhury, dan S. Ahmed, "Synthesis and characterization of CuO nanoparticles utilizing waste fish scale and exploitation of XRD peak profile analysis for approximating the structural parameters," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 15, no. 10, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104117>.
- [17] K. R. J. Manuda, A. Tillekaratne, dan D. R. Jayasundara, "In situ real-time assessment of wavelength dependent degradation of methyl orange on rGO-TiO₂ photocatalyst," *iScience*, vol. 28, no. 5, p. 112304, May 2025, <https://doi.org/10.1016/J.ISCI.2025.112304>.
- [18] S. Khojiev., "Synthesis and characterization of red emissive carbon quantum dots for MB degradation," *Chem Phys Lett*, vol. 856, p. 141652, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2024.141652>.
- [19] S. Khojiev et al., "Synthesis and characterization of red emissive carbon quantum dots for MB degradation," *Chem Phys Lett*, vol. 856, p. 141652, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/J.CPLETT.2024.141652>.
- [20] A. Fernández-Pérez, T. Valdés-Solís, dan G. Marbán, "Visible light spectroscopic analysis of Methylene Blue in water; the resonance virtual equilibrium hypothesis," *Dyes and Pigments*, vol. 161, pp. 448–456, Feb. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/J.DYEPIG.2018.09.083>.