MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

Terindeks: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v6i2.8984

PENGARUH DOPING Ag PADA SINTESIS NANOPARTIKEL CuO DAN AKTIVITAS FOTOKATALITIK UNTUK DEGRADASI RHODAMIN B

The Effect of Ag Doping on CuO Nanoparticle Synthesis and Photocatalytic Activity for Rhodamine B Degradation

Aysha Famil Hidayah, Hary Sanjaya, Desy Kurniawati, Deski Beri
Universitas Negeri Padang
hary.s@fmipa.unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Dec 23, 2025	Jan 15, 2026	Jan 27, 2026	Feb 1, 2026

Abstract

Textile dye wastewater contamination, particularly by Rhodamine B, is a serious environmental problem because it is toxic and difficult to degrade naturally. This study aimed to synthesize and evaluate the photocatalytic performance of pure CuO nanoparticles and Ag-doped CuO for the degradation of Rhodamine B. The materials were synthesized using the sol–gel method with an Ag doping concentration of 0.2 mmol. The optical properties were characterized using UV–Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-DRS) in the wavelength range of 185–1100 nm to determine the bandgap energy values using the Kubelka–Munk equation. Photocatalytic activity was tested through the degradation of Rhodamine B under visible light irradiation, with absorbance measurements obtained using a UV–Vis spectrophotometer at a maximum wavelength of 554 nm. The results showed that Ag doping reduced the CuO bandgap from 1.4819 eV to 1.2539 eV. Photocatalytic tests revealed that Ag-doped CuO exhibited higher activity than pure CuO, with Rhodamine B degradation reaching 60.55% at 90 minutes of irradiation, compared with only 32.72% for pure CuO at the

Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

same reaction time. This enhanced photocatalytic activity is associated with the role of Ag in suppressing electron–hole recombination, increasing light absorption through the surface plasmon effect, and providing more active sites on the catalyst surface. These findings confirm that Ag-doped CuO has promising potential as an effective photocatalyst for the treatment of textile dye wastewater and the control of environmental pollution.

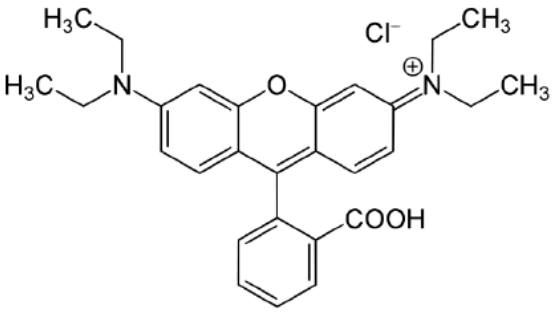
Keywords: Semiconductor; Ag Doping; CuO; Photocatalyst; Rhodamine B

Abstrak: Pencemaran limbah zat warna tekstil, khususnya *Rhodamin B*, merupakan permasalahan lingkungan yang serius karena bersifat toksik dan sulit terdegradasi secara alami. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengevaluasi kinerja fotokatalitik nanopartikel *CuO* murni dan *CuO* terdoping *Ag* terhadap degradasi *Rhodamin B*. Sintesis material dilakukan menggunakan metode *sol–gel* dengan konsentrasi doping *Ag* sebesar 0,2 mmol. Karakterisasi sifat optik dilakukan menggunakan spektrofotometer *UV–Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-DRS)* pada rentang panjang gelombang 185–1100 nm untuk menentukan nilai energi celah pita (*bandgap*) menggunakan persamaan *Kubelka–Munk*. Aktivitas fotokatalitik diuji melalui degradasi *Rhodamin B* di bawah penyinaran cahaya tampak, dengan pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer *UV–Vis* pada panjang gelombang maksimum 554 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa doping *Ag* mampu menurunkan nilai *bandgap CuO* dari 1,4819 eV menjadi 1,2539 eV. Uji fotokatalitik memperlihatkan bahwa *CuO* terdoping *Ag* memiliki aktivitas yang lebih tinggi dibandingkan *CuO* murni, dengan persentase degradasi *Rhodamin B* mencapai 60,55% pada waktu iradiasi 90 menit, sedangkan *CuO* murni hanya mencapai 32,72% pada waktu yang sama. Peningkatan aktivitas fotokatalitik ini dikaitkan dengan peran *Ag* dalam menekan rekombinasi pasangan *electron–hole*, meningkatkan penyerapan cahaya melalui efek *surface plasmon*, serta memperbanyak situs aktif pada permukaan katalis. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa *CuO* terdoping *Ag* berpotensi diaplikasikan sebagai fotokatalis yang efektif dalam pengolahan limbah zat warna tekstil dan pengendalian pencemaran lingkungan.

Kata Kunci: Semikonduktor; *Doping Ag*; *CuO*; Fotokatalis; *Rhodamin B*

PENDAHULUAN

Rhodamin B dengan rumus molekul $C_{28}H_{31}ClN_2O_3$, yang juga dikenal dengan nama sumba, merupakan salah satu jenis zat warna sintetis yang banyak dimanfaatkan dalam industri tekstil dan kertas (Farikha, 2023)



Gambar 1. Struktur Rhodamin B

Secara fisik, Rhodamin B berbentuk serbuk kristal berwarna hijau atau merah. Pada konsentrasi tinggi, zat warna ini menghasilkan warna merah kebiruan, sedangkan pada konsentrasi rendah memberikan warna merah terang (Ridwan, 2013). Menurut World Health Organization (WHO), Rhodamin B mengandung gugus pengalkilasi (CH_3–CH_3) serta unsur klorin (Cl) yang termasuk dalam kelompok senyawa halogen yang bersifat berbahaya dan sangat reaktif. Senyawa klorin memiliki tingkat reaktivitas yang tinggi dan dapat bertindak sebagai radikal bebas, sehingga apabila masuk ke dalam tubuh manusia dapat berikatan dengan senyawa lain dan berpotensi memicu terjadinya kanker (Ii & Kerupuk, 2018)

Tembaga(II) oksida merupakan senyawa anorganik dengan rumus kimia CuO yang dikenal juga sebagai kupri oksida. Material ini termasuk semikonduktor tipe-p dengan nilai celah pita energi relatif sempit, yaitu sekitar 1,2 eV.(Grigore et al., n.d.), stabil secara kimia, dan memiliki potensi tinggi sebagai fotokatalis dalam proses degradasi zat warna organik. CuO berpotensi digunakan sebagai fotokatalis karena mampu menyerap cahaya tampak dengan baik, bersifat stabil, tidak beracun, serta memiliki biaya produksi yang relatif rendah (Balamurugan & Mehta, 2001). Namun demikian, penggunaan CuO murni sebagai fotokatalis masih menghadapi kendala berupa laju rekombinasi pasangan elektron–hole yang cukup tinggi, sehingga menurunkan efisiensi fotokatalitiknya (Zhang et al., 2018)

Upaya untuk meningkatkan kinerja fotokatalitik CuO dilakukan melalui modifikasi struktur elektronik, salah satunya dengan metode doping logam mulia yaitu perak (Ag). Doping Ag diketahui dapat menurunkan energi bandgap, meningkatkan pemisahan muatan, serta memperlambat laju rekombinasi elektron–hole, sehingga berpotensi meningkatkan aktivitas fotokatalitik material CuO (Su et al., 2020). Keberadaan Ag juga dapat berperan sebagai perangkap elektron sehingga memperpanjang umur pembawa muatan dan meningkatkan pembentukan radikal aktif yang berperan dalam proses degradasi Rhodamin B. Beberapa penelitian melaporkan bahwa penambahan Ag pada semikonduktor mampu meningkatkan efisiensi degradasi zat warna organik di bawah iradiasi cahaya tampak (Zhang et al., 2018)

Berdasarkan uraian diatas, maka dalam penelitian ini bertujuan untuk mensintesis semikonduktor CuO murni dan CuO doping Ag dengan metode Sol-gel untuk melihat perbedaan energi celah pita yang dihasilkan dan degradasi Rhodamin B . Energi celah pita

dapat di ketahui dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Diffuse Reflactane (UV-DRS) dan degradasi Rhodamin B menggunakan Spektrofotometer UV-VIS .

METODE

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitan ini, yaitu gelas kimia, gelas ukur, cawan penguap, kaca arloji, pipet takar, desikator, lumpang dan alu, magnetic stirrer, stirrer bar, furnace, dan spektrofotometer UV-Diffuse Reflectance (UV-DRS), Spekteofotometer UV VIS, dan Lampu UV.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu Perak nitrat ($AgNO_3$), Tembaga (II) Nitrat $(Cu(NO_3))_2.3H_2O$ methanol (CH3OH) (p.a), aquades, Rhodamin B.

Sintesis Material CuO

Prekursor $Cu(NO_3))_2.3H_2O$ dengan konsentrasi 1mmol dilarutkan dalam 50 mL pelarut metanol yang ditutup dengan *plastic wrap*, dan dihomogenkan dengan *magnetic stirrer* selama 60 menit . Kemudian dilakukan sonikasi pada larutan selama 30 menit pada 50 W sehingga didapatkan larutan yang homogen (sol) dan didiamkan selama 1 x 24 jam untuk menstabilkan sol. Selanjutnya, sampel dikeringkan dalam oven pada temperatur 110 °C selama ± 1 jam. Gel yang diperoleh dikalsinasi dengan furnace pada temperature 400°C selama ± 3 jam untuk memperoleh CuO. Sampel disimpan dalam desikator, setelah dingin sampel digerus menggunakan lumpang dan alu sehingga sampel dapat dikarakterisasi.

Sintesis Material CuO/Ag

Prekursor $Cu(NO_3))_2.3H_2O$ dilarutkan dengan konsentrasi 1mmol dan prekursor $AgNO_3$ dengan konsentrasi 0,2mmol dilarutkan dalam 50 mL pelarut metanol yang ditutup dengan *plastic wrap*, dan dihomogenkan dengan *magnetic stirrer* selama 60 menit. Kemudian dilakukan sonikasi pada larutan selama 30 menit pada 50 W sehingga didapatkan larutan yang homogen (sol) dan didiamkan selama 1 x 24 jam untuk menstabilkan sol. Selanjutnya, sampel dikeringkan dalam oven pada temperatur 110 °C selama ± 1 jam. Gel yang diperoleh dikalsinasi dengan furnace pada temperature 400°C selama ± 3 jam untuk memperoleh CuO-Ag. Sampel disimpan dalam desikator, setelah dingin sampel digerus menggunakan lumpang dan alu sehingga sampel dapat dikarakterisasi.

Uji Aktivitas Fotokatalitik

Dilarutkan 0.1 gram Rhodamin B dalam 100 ml aquades dalam labu ukur 100 ml, kemudian dipipet sebanyak 10 ml larutan induk Rhodamin B dan dilarutkan dalam labu ukur 1000 ml. 0,1 gram fotokatalis ditambahkan ke 100 ml larutan Rhodamin B. Sebelum disinari ultraviolet, larutan diaduk dalam ruang gelap selama 30 menit untuk mencapai keseimbangan adsorpsi dan desorpsi. Selanjutnya, waktu iridiasi fotolisis diatur menjadi 0, 30, 60, 90, dan 120 menit. 5 ml larutan diambil pada setiap interval dan kemudian disentrifugasi selama 10 menit untuk menghilangkan memisahkan pengotor. Untuk mengukur absorban larutan supernatan, digunakan spektrofotometer UV-Vis dengan Panjang gelombang 554 nm.

HASIL

Pada penelitian ini pengukuran Spektrofotometer UV-DRS dilakukan pada panjang gelombang 185-1100 nm. Pada sintesis CuO/Ag dilakukan dengan konsentrasi doping Ag adalah 0,2 mmol. Nilai bandgap pada CuO murni dan CuO/Ag dihitung dengan menggunakan persamaan Kubelka-munk (F(R)). Metode Kubelka Munk dapat digunakan untuk mencari energi band-gap dimana:

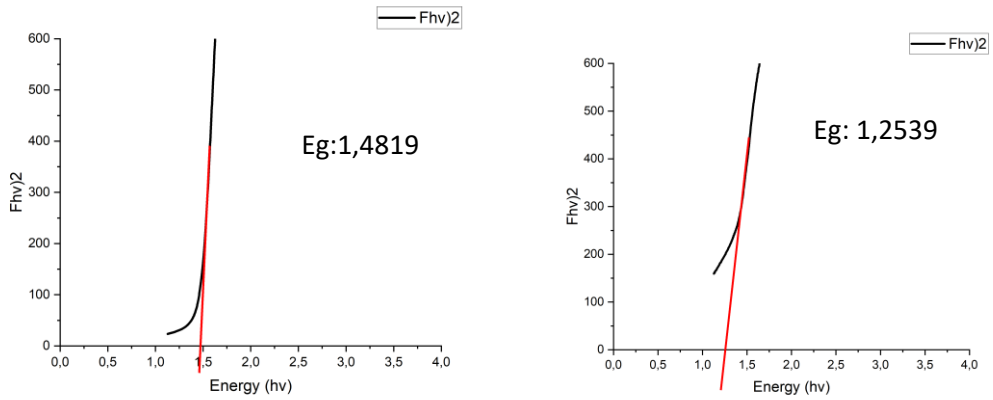
$$Eg = hv = \frac{hc}{\lambda}$$

Energi band-gap diperoleh dari grafik hubungan antara hv (eV) vs $(F(R')hv)^{1/2}$. Eg adalah energi celah pita (eV), h adalah nilai konstanta planck ($6{,}626 \times 10^{-34}$ Js), c adalah kecepatan cahaya ($3{,}0 \times 10^{8}$ m/s) dan λ adalah panjang gelombang (nm) (Sari et al., 2022)

Tabel 1.Energi Bandgap CuO murni dengan CuO/Ag

Sample	Band gap Value (Eg)
CuO	1,4819 eV
1 mmol CuO + 0,2 mmol Ag	1,2539 eV

Berikut adalah hasil grafik CuO dari pengolahan data menggunakan software *OriginPro*.



Gambar 2. Grafik energi celah pita dari a) CuO Murni, b) CuO/Ag(0.2 mmol)

Data menunjukkan terjadinya penurunan energi celah pita (bandgap) antara CuO murni dengan CuO doping Ag , di mana nilai bandgap diperoleh pada konsentrasi doping CuO/Ag sebesar 0,2 mmol, yaitu 1,2539 eV, yang merupakan nilai bandgap optimum dari variasi konsentrasi doping yang digunakan. Konsentrasi doping yang diberikan lebih rendah dibandingkan dengan prekursor $Cu(NO_3))_2.3H_2O$, dengan tujuan meningkatkan konduktivitas tanpa mengubah sifat dasar material nanopartikel.

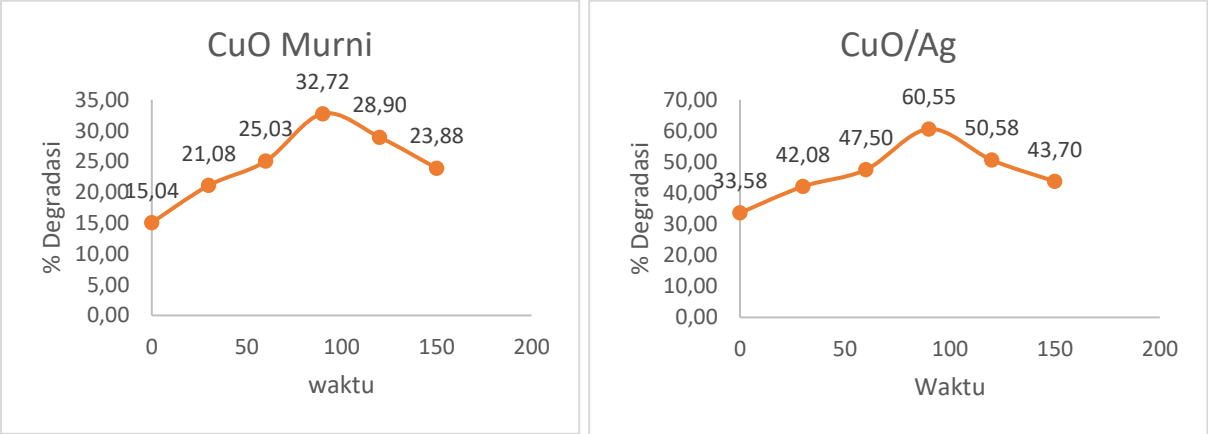
Secara teoritis, CuO merupakan material semikonduktor bertipe-p dengan nilai band gap yang relatif sempit, yaitu berada pada kisaran 1,2–1,9 eV, bergantung pada metode sintesis, ukuran partikel, serta perlakuan doping yang digunakan (Song et al., 2014). Nilai band gap CuO murni sebesar 1,4819 eV yang diperoleh dalam penelitian ini masih berada dalam rentang nilai yang telah dilaporkan sebelumnya. Sementara itu, nilai band gap CuO/Ag sebesar 1,2539 eV menunjukkan bahwa doping Ag dengan konsentrasi 0,2 mmol mampu mengoptimalkan sifat optik CuO dengan mempersempit energi celah pita.

Hasil Aktivitas Fotokatalis

Pada penelitian ini, uji aktivitas fotokatalitik dilakukan pada nanopartikel CuO Murni dan CuO/Ag menggunakan zat warna Rhodamin B yang dipaparkan di bawah sinar tampak. Nilai panjang gelombang maksimum Rhodamin B serta absorbansinya diukur menggunakan spektrofotometer UV–Vis pada rentang panjang gelombang 200–800 nm. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa serapan maksimum Rhodamin B terjadi pada panjang gelombang 554 nm dengan nilai absorbansi sebesar 0,85106 Abs. Hal ini sesuai

dengan referensi yang menyatakan bahwa Rhodamin B memiliki panjang gelombang maksimum pada 554 nm(Letifi et al., 2019).

Pada penelitian ini dilakukan degradasi Rhodamin B menggunakan CuO tanpa penambahan doping, dan CuO dengan doping Ag (0,2mmol) untuk membandingkan nilai degradasi dan menilai efektivitas dari kedua variasi katalis tersebut. Penelitian ini menggunakan variasi waktu degradasi yaitu 0 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit.



Gambar 3. (a)Persen Degradasi Rhodamin B dengan CuO (b) Persen Degradasi Rhodamin B dengan CuO/Ag

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan terjadinya penurunan energi celah pita (bandgap) antara CuO murni dengan CuO doping Ag , di mana nilai bandgap diperoleh pada konsentrasi doping CuO/Ag sebesar 0,2 mmol, yaitu 1,2539 eV, yang merupakan nilai bandgap optimum dari variasi konsentrasi doping yang digunakan. Konsentrasi doping yang diberikan lebih rendah dibandingkan dengan prekursor $Cu(NO_3))_2.3H_2O$, dengan tujuan meningkatkan konduktivitas tanpa mengubah sifat dasar material nanopartikel.

Penurunan nilai band gap CuO akibat doping Ag dikarenakan perubahan struktur elektronik dan sifat fisik material. Penambahan dopan Ag ke dalam kisi CuO menyebabkan terbentuknya tingkat energi baru (impurity levels) di dalam celah pita, sehingga energi yang dibutuhkan elektron untuk berpindah dari pita valensi ke pita konduksi menjadi lebih kecil.(Vikal et al., 2023). Selain itu, interaksi antara elektron CuO

dan elektron bebas dari Ag mengakibatkan delokalisasi elektron serta modifikasi pita energi, yang berkontribusi terhadap penyempitan band gap.

Keberadaan Ag juga membentuk antarmuka Ag–CuO yang menghasilkan efek Schottky barrier, di mana Ag berperan sebagai penjebak elektron sehingga mampu menekan laju rekombinasi pasangan elektron–hole. Di samping itu, doping Ag dapat menimbulkan distorsi kisi dan pembentukan kekosongan oksigen yang berfungsi sebagai pusat donor elektron, sehingga semakin memperkecil nilai band gap. Kombinasi dari mekanisme tersebut menyebabkan CuO terdoping Ag memiliki band gap yang lebih rendah dibandingkan CuO murni.(Vikal et al., 2023)

Selain itu, keberadaan Ag juga berperan sebagai *electron trap* yang dapat meningkatkan pemisahan pasangan elektron–hole dan mengurangi laju rekombinasi. Hal ini sangat menguntungkan untuk aplikasi fotokatalis, karena elektron dan hole yang memiliki waktu hidup lebih panjang dapat berpartisipasi secara efektif dalam reaksi degradasi senyawa organik, seperti zat warna Rhodamin B (Farooq et al., 2024)

Aktivitas Fotokatalis Cuo dan Cuo/Ag terhadap Degradasi Rhodamin B

Pada penelitian ini, uji aktivitas fotokatalitik dilakukan pada nanopartikel CuO Murni dan CuO/Ag menggunakan zat warna Rhodamin B yang dipaparkan di bawah sinar tampak. Nilai panjang gelombang maksimum Rhodamin B serta absorbansinya diukur menggunakan spektrofotometer UV–Vis pada rentang panjang gelombang 200–800 nm. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa serapan maksimum Rhodamin B terjadi pada panjang gelombang 554 nm dengan nilai absorbansi sebesar 0,85106 Abs. Hal ini sesuai dengan referensi yang menyatakan bahwa Rhodamin B memiliki panjang gelombang maksimum pada 554 nm(Letifi et al., 2019). Pada penelitian ini dilakukan degradasi Rhodamin B menggunakan CuO tanpa penambahan doping, dan CuO dengan doping Ag (0,2mmol) untuk membandingkan nilai degradasi dan menilai efektivitas dari kedua variasi katalis tersebut. Penelitian ini menggunakan variasi waktu degradasi yaitu 0 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit.

Berdasarkan Gambar 3(a), persentase degradasi Rhodamin B menggunakan CuO tanpa penambahan dopan Ag menunjukkan nilai degradasi optimum sebesar 32,72% pada waktu degradasi 90 menit. Sementara itu, pada Gambar 3(b), nilai optimum persentase

degradasi Rhodamin B menggunakan nanopartikel CuO terdoping Ag (0,2 mmol) mencapai 60,55% pada waktu degradasi 90 menit.

Peningkatan aktivitas fotokatalitik CuO terdoping Ag disebabkan karena perak (Ag) berperan dalam meningkatkan kinerja fotokatalitik CuO dengan cara membantu pemisahan pasangan elektron dan hole serta memperkuat penyerapan cahaya melalui efek plasmon permukaan (LSPR)(Farooq et al., 2024). Keberadaan Ag pada struktur CuO dapat menghambat terjadinya rekombinasi elektron–hole, sehingga elektron dan hole yang terbentuk dapat bertahan lebih lama dan berpartisipasi secara lebih efektif dalam proses degradasi. Hal ini terjadi karena Ag berfungsi sebagai perangkap elektron yang menarik elektron dari pita konduksi CuO(Rathi et al., 2023). Selain itu, nanopartikel Ag mampu memperluas daerah penyerapan cahaya melalui resonansi plasmon permukaan, yang meningkatkan medan elektromagnetik di sekitar permukaan katalis dan mendukung terjadinya reaksi fotokatalitik secara lebih efisien.(Zulfiqar et al., 2026)

Penurunan persentase degradasi pada CuO murni maupun CuO/Ag pada rentang waktu 120–150 menit dapat dijelaskan oleh beberapa faktor yang berkaitan dengan kondisi sistem fotokatalitik selama proses berlangsung. Seiring bertambahnya waktu penyinaran, suhu larutan cenderung meningkat akibat paparan cahaya, sehingga memungkinkan terjadinya penguapan pelarut. Penguapan ini menyebabkan volume larutan berkurang dan konsentrasi Rhodamin B relatif meningkat, yang secara optik teramati sebagai kenaikan nilai absorbansi dan menurunkan nilai persentase degradasi yang terhitung (Haleem et al., 2023). Selain itu, setelah waktu reaksi tertentu, sebagian besar molekul zat warna telah terdegradasi atau menempati situs aktif pada permukaan katalis, sehingga jumlah situs aktif yang tersedia menjadi terbatas dan laju reaksi fotokatalitik menurun (Haleem et al., 2023).

Faktor lain yang dapat berkontribusi adalah terjadinya kejenuhan katalis dan kemungkinan terjadinya reaksi balik (recombination) antara radikal reaktif seperti •OH dan $\bullet O_2^-$, terutama pada waktu penyinaran yang lama (Yadav & Jha, 2024). Kelebihan radikal hidroksil juga dapat bereaksi satu sama lain atau dengan spesies oksidator seperti H_2O_2 membentuk radikal yang kurang reaktif, sehingga efektivitas degradasi menurun (Asefa et al., 2024). Pada CuO/Ag, meskipun Ag membantu menekan rekombinasi muatan dan meningkatkan aktivitas fotokatalitik, efek kejenuhan permukaan dan perubahan kondisi reaksi pada waktu yang lebih lama tetap dapat menyebabkan penurunan persentase degradasi.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sintesis nanopartikel CuO terdoping Ag menggunakan metode sol-gel mampu meningkatkan kinerja fotokatalitiknya dalam mendegradasi zat warna Rhodamin B. Modifikasi ini menurunkan energi celah pita (bandgap) CuO dari 1,4819 eV menjadi 1,2539 eV, CuO/Ag (0,2 mmol) menunjukkan aktivitas fotokatalitik optimum dengan persentase degradasi Rhodamin B sebesar 60,55% pada waktu 90 menit, dibandingkan dengan CuO tanpa doping yang hanya mencapai 32,72% pada waktu 90 menit. Hasil ini mengindikasikan bahwa penambahan doping Ag dapat meningkatkan efisiensi fotokatalitik nanomaterial CuO sehingga berpotensi menjadi solusi dalam pengolahan limbah zat warna tekstil serta mengurangi dampak pencemaran lingkungan.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi doping Ag terhadap sifat struktural, optik, dan aktivitas fotokatalitik CuO guna memperoleh komposisi dopan yang paling optimum. Selain itu, diperlukan karakterisasi lanjutan menggunakan teknik seperti XRD, SEM-EDS, TEM, dan BET untuk memahami hubungan antara struktur kristal, morfologi, luas permukaan, dan kinerja fotokatalitik secara lebih mendalam. Uji fotokatalitik juga perlu diperluas dengan menggunakan berbagai jenis zat warna atau senyawa organik berbahaya lainnya guna menilai fleksibilitas dan efektivitas katalis dalam kondisi yang lebih realistis. Penelitian lanjutan juga disarankan untuk melakukan uji stabilitas dan reusabilitas katalis melalui beberapa siklus degradasi, serta mengkaji mekanisme degradasi secara lebih detail, misalnya melalui identifikasi spesies radikal aktif yang berperan selama proses fotokatalitik. Dengan demikian, pengembangan CuO terdoping Ag sebagai fotokatalis dapat diarahkan menuju aplikasi praktis dalam pengolahan limbah tekstil skala industri.

DAFTAR PUSTAKA

Asefa, G., Negussa, D., Lemessa, G., & Alemu, T. (2024). The study of photocatalytic degradation kinetics and mechanism of malachite green dye on Ni–TiO2 surface modified with polyaniline. *Journal of Nanomaterials, 2024*(1), 5259089. https://doi.org/10.1155/2024/5259089

Balamurugan, B., & Mehta, B. R. (2001). Optical and structural properties of nanocrystalline copper oxide thin films prepared by activated reactive evaporation. *Thin Solid Films, 396*(1–2), 90–96. https://doi.org/10.1016/S0040-6090(01)01216-0

Farooq, M., Shujah, S., Tahir, K., Hussain, S. T., Khan, A. U., Almarhoon, Z. M., Alabbosh, K. F., Alanazi, A. A., Althagafi, T. M., & Zaki, M. E. A. (2024). Phytoassisted

synthesis of CuO and Ag–CuO nanocomposite, characterization, chemical sensing of ammonia, degradation of methylene blue. *Scientific Reports, 14*, 1618. https://doi.org/10.1038/s41598-024-51391-2

Grigore, M. E., Biscu, E. R., Holban, A. M., Gestal, M. C., & Grumezescu, A. M. (2016). Methods of synthesis, properties and biomedical applications of CuO nanoparticles. *Pharmaceuticals, 9*(4), 75. https://doi.org/10.3390/ph9040075

Haleem, A., Shafiq, A., Chen, S., & Nazar, M. (2023). A comprehensive review on adsorption, photocatalytic and chemical degradation of dyes and nitro-compounds over different kinds of porous and composite materials. *Molecules, 28*(3), 1081. https://doi.org/10.3390/molecules28031081

Kumar, A., Yadav, D. D., & Jha, R. (2024). A review: Photocatalysis used for degradation of textile dye from industrial wastewater. *International Journal of Engineering and Science Invention, 13*(9), 82–98. https://doi.org/10.35629/6734-13098298

Letifi, H., Litaiem, Y., Dridi, D., Ammar, S., & Chtourou, R. (2019). Enhanced photocatalytic activity of vanadium-doped SnO2 nanoparticles in rhodamine B degradation. *Advances in Condensed Matter Physics, 2019*, 2157428. https://doi.org/10.1155/2019/2157428

Rathi, V. H., Rejo, A., & Jayakumar, K. (2023). Green synthesis of Ag/CuO and Ag/TiO2 nanoparticles for enhanced photocatalytic dye degradation, antibacterial, and antifungal properties. *Applied Surface Science Advances, 18*, 100476. https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2023.100476

Sari, R., Sanjaya, H., Amran, A., & Putra, A. (2022). Degradasi Zat Warna Methyl Violet dengan Katalis ZnO/Ag Menggunakan Metode Fotosonolisis. *Periodic, 11*(1), 24–28. https://doi.org/10.24036/p.v11i1.113261

Song, W.-L., Cao, M.-S., Qiao, B.-B., Hou, Z.-L., Lu, M.-M., Wang, C.-Y., Yuan, J., Liu, D.-N., & Fan, L.-Z. (2014). Nano-scale and micron-scale manganese dioxide vs corresponding paraffin composites for electromagnetic interference shielding and microwave absorption. *Materials Research Bulletin, 51*, 277–286. https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2013.12.042

Su, Y., Yuan, F., Chen, L., Lu, Y., Dong, J., Fang, Y., Chen, S., & Wu, F. (2020). Enhanced high-temperature performance of Li-rich layered oxide via surface heterophase coating. *Journal of Energy Chemistry, 51*, 39–47. https://doi.org/10.1016/j.jechem.2020.03.033

Sulastri, S., Riani, R., & Farikha, S. (2023). Review Artikel: Analisis Kandungan Rhodamin B Dalam Makanan Dan Minuman. *COMSERVA Indonesian Jurnal of Community Services and Development, 2*(10), 2429–2435. https://doi.org/10.59141/comserva.v2i10.701

Vikal, S., Gautam, Y. K., Kumar, A., Kumar, A., Singh, N., Singh, H., & Singh, B. P. (2023). Effect of silver (Ag) doping on structural, optical and antimicrobial properties of copper oxide (CuO) nanostructures. *Nano Express, 4*(2), 025004. https://doi.org/10.1088/2632-959X/acdc41

Zhang, L., Ding, N., Hashimoto, M., Iwasaki, K., Chikamori, N., Nakata, K., Xu, Y., Shi, J., Wu, H., Luo, Y., Li, D., Fujishima, A., & Meng, Q. (2018). Sodium-doped carbon nitride nanotubes for efficient visible light-driven hydrogen production. *Nano Research, 11*(4), 2295–2309. https://doi.org/10.1007/s12274-017-1853-3

Zulfiqar, N., Inam, F., Khudayberganov, I., & Kurbanova, S. (2026). Sustainable synthesis and photocatalytic insights into Ag-doped copper oxide nanoparticles: A comparative study. *Scientific Reports, 16*, 2815. https://doi.org/10.1038/s41598-025-32715-2