

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Limbah zat warna sintetis dari industri tekstil merupakan salah satu polutan utama yang mencemari lingkungan perairan, karena struktur kimianya yang kompleks dan stabil. Kehadiran limbah ini dapat menghambat proses fotosintesis, menurunkan populasi organisme akuatik, mengurangi kadar oksigen terlarut, serta merusak keseimbangan ekosistem perairan (Lellis *dkk.*, 2019). Kondisi ini menuntut penanganan yang tepat dan efektif guna mengatasi dampak negatifnya terhadap lingkungan (Sugashini *dkk.*, 2022). Salah satu zat warna yang sering ditemukan di lingkungan adalah kristal violet, yang banyak digunakan dalam berbagai industri seperti tekstil, kosmetik, kertas, dan percetakan (Azad *dkk.*, 2016).

Kristal violet (nama IUPAC: tris(4-(dimetilamino)fenil)metilium klorida) merupakan pewarna kationik yang mengandung gugus dimetilamino pada setiap cincin fenilnya. Pewarna ini banyak digunakan karena harganya yang relatif murah serta efisiensi pewarnaannya yang tinggi (Sifat *dkk.*, 2024). Namun, mengingat dampaknya yang berbahaya bagi kesehatan manusia, kristal violet diklasifikasikan sebagai bahan kimia berbahaya. Oleh karena itu, penghilangan kristal violet dari air limbah industri menjadi langkah krusial untuk menjaga kelestarian lingkungan, baik di ekosistem daratan maupun perairan (Mancuso *dkk.*, 2023)

Secara umum, metode pengolahan biologis kurang efektif dalam mengatasi kristal violet karena stabilitas strukturnya yang tinggi dan resistensinya terhadap degradasi biologis. Keberadaan gugus dimetilamino dalam struktur kristal violet

menyebabkan mikroorganisme tidak mampu menguraikannya secara menyeluruh (Ha dkk., 2009). Di sisi lain, metode fisik seperti adsorpsi menggunakan karbon aktif hanya memindahkan polutan dari fase cair ke fase padat, sehingga memerlukan regenerasi adsorben dan berpotensi menimbulkan pencemaran sekunder (Mohanty dkk., 2006). Sementara itu, metode kimia seperti klorinasi dan ozonisasi memang efektif dalam proses dekolorisasi dan mineralisasi kristal violet, namun membutuhkan jumlah oksidator yang besar, menjadikannya kurang efisien secara ekonomi (Abdi dkk., 2020). Salah satu alternatif yang menjanjikan untuk remediasi air tercemar adalah Proses Oksidasi Lanjutan (*Advanced Oxidation Processes/AOPs*), khususnya fotokatalisis heterogen (Mancuso dkk., 2023).

Metode fotokatalisis memiliki potensi besar untuk mendegradasi polutan organik secara menyeluruh menjadi senyawa tak berbahaya seperti CO_2 dan H_2O (Sahoo dkk., 2005). Proses ini melibatkan penggunaan fotokatalis yang diaktivasi oleh sinar UV atau cahaya matahari untuk menghasilkan pasangan elektron dan hole (muatan positif) (Soares & Alves, 2021). Pasangan ini kemudian memicu reaksi redoks yang menghasilkan radikal aktif, seperti $\bullet\text{OH}$ dan $\bullet\text{O}_2^-$, yang mampu mengoksidasi senyawa organik kompleks pada permukaan katalis (Zhang dkk., 2022).

Fotokatalisis telah dikenal sebagai metode yang ramah lingkungan dan efektif dalam pengolahan air limbah, termasuk untuk degradasi zat pewarna sintetik seperti kristal violet (Al-Ansari dkk., 2024). Dalam proses ini, berbagai material semikonduktor berbasis oksida logam telah dieksplorasi sebagai fotokatalis, seperti titanium dioksida (TiO_2), seng oksida (ZnO), besi(III) oksida (Fe_2O_3), tembaga(II)

oksida (CuO), kadmium sulfida (CdS), dan ZnO (Sasi *dkk.*, 2022). Di antara fotokatalis yang telah banyak diteliti, nikel titanat (NiTiO₃) menonjol karena memiliki celah pita energi sebesar 2,14-3,08 eV, sehingga memungkinkan aktivitas dalam spektrum cahaya tampak (Peng *dkk.*, 2022). NiTiO₃ telah menunjukkan potensi signifikan dalam berbagai aplikasi fotokatalitik, termasuk fotodegradasi polutan lingkungan, produksi hidrogen secara fotokatalitik, serta reduksi CO₂ (Do *dkk.*, 2020). Namun demikian, performa fotokatalitik NiTiO₃ masih dibatasi oleh tingkat rekombinasi pasangan elektron-hole yang tinggi akibat eksitasi cahaya. Untuk mengatasi keterbatasan ini, berbagai strategi telah dikembangkan, seperti rekayasa morfologi, doping dengan unsur logam maupun nonlogam, pengendapan logam mulia, serta pembentukan heterostruktur (Jiang *dkk.*, 2021).

Upaya mengatasi keterbatasan NiTiO₃, seperti laju rekombinasi pasangan elektron-hole yang tinggi, strategi modifikasi material menjadi sangat penting. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah dengan mengombinasikan karakteristik material lain yang memiliki sifat pelengkap. Dalam hal ini, CuTiO₃ menjadi kandidat menarik meskipun secara intrinsik memiliki aktivitas fotokatalitik yang rendah dan kurang cocok digunakan sebagai fotokatalis murni (Surender *dkk.*, 2023). Namun, efisiensi CuTiO₃ dapat ditingkatkan melalui pembentukan heterostruktur dengan semikonduktor lain seperti TiO₂, CdS, dan sebagainya (El Desouky *dkk.*, 2024). Selain itu, CuTiO₃ diketahui memiliki celah pita yang lebih sempit dibandingkan NiTiO₃, yang kemungkinan menyerap lebih banyak cahaya tampak. Keberadaan ion Cu²⁺ dalam struktur kristalnya dapat meningkatkan efisiensi transfer muatan sekaligus menurunkan laju rekombinasi elektron-hole

(Clark *dkk.*, 2011). Berdasarkan karakteristik tersebut, substitusi parsial ion Ni^{2+} dengan ion Cu^{2+} dalam struktur NiTiO_3 untuk membentuk senyawa $\text{Ni}_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$ diharapkan mampu menggabungkan keunggulan kedua material yaitu kestabilan struktur dan fotokatalitik dari NiTiO_3 serta respons cahaya tampak dan efisiensi pemisahan muatan dari CuTiO_3 .

I.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan material fotokatalis $\text{Ni}_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$.
2. Menentukan karakteristik material fotokatalis $\text{Ni}_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$.
3. Menentukan efisiensi fotodegradasi fotokatalis $\text{Ni}_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$ terhadap kristal violet.