

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pencemaran lingkungan telah menjadi permasalahan global yang mendesak untuk segera ditangani karena mengancam kesehatan manusia. Salah satu sumber utama pencemaran lingkungan adalah industri tekstil. Proses produksi dalam industri tekstil memanfaatkan banyak senyawa organik dan anorganik, seperti pewarna dan pengawet yang berpotensi menjadi polutan (Tanaya dkk., 2024). Senyawa organik yang terkandung dalam zat warna dapat mengurangi transmisi sinar matahari sehingga memberikan pengaruh pada proses fotosintesis dan merusak ekosistem perairan. Selain menyebabkan kerusakan lingkungan, berbagai zat warna sintesis bersifat karsinogenik dan dapat menyebabkan penyakit degeneratif lainnya (Purnomo dan Cahyana, 2020). Oleh karena itu, diperlukan teknologi pengolahan limbah pewarna yang efektif dan ramah lingkungan untuk menanggulangi pencemaran akibat zat warna industri tekstil.

Salah satu teknologi yang berkembang pesat untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah fotokatalisis. Teknologi ini memanfaatkan material semikonduktor yang diaktifkan oleh cahaya untuk menghasilkan spesies reaktif yang mampu mendegradasi senyawa organik berbahaya. Titanium dioksida (TiO_2) merupakan salah satu material fotokatalis yang paling banyak diteliti karena stabilitas kimianya yang tinggi, tidak beracun, serta biaya produksi yang relatif rendah (Kang dkk., 2019). Dalam proses fotokatalis, TiO_2 mampu menghasilkan radikal hidroksil yang sangat reaktif dan efektif dalam mendegradasi berbagai kontaminan organik, termasuk zat warna (Kansal dkk., 2009). Namun, meskipun memiliki berbagai keunggulan, penggunaan TiO_2 sebagai fotokatalis masih menghadapi sejumlah kelemahan yang membatasi kinerjanya.

Secara fundamental, TiO_2 memiliki celah pita energi yang relatif lebar. TiO_2 *bulk* umumnya memiliki celah pita sekitar 3,2 eV, sedangkan TiO_2 dalam bentuk nanopartikel atau koloid dapat menunjukkan celah pita yang lebih tinggi mencapai 3,8 eV (Salman, 2016). Celah pita yang besar ini membatasi kemampuan TiO_2

untuk menyerap cahaya tampak dan mengharuskannya diaktifkan oleh cahaya berenergi tinggi. Selain itu, pasangan elektron-*hole* yang terbentuk akibat paparan cahaya mudah bergabung kembali sehingga mengurangi efisiensi reaksi fotokatalitik (Lin dkk., 2008). Keterbatasan ini mendorong perlunya strategi modifikasi material TiO_2 guna meningkatkan aktivitas dan efisiensi fotokatalitiknya.

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk meningkatkan kinerja TiO_2 , salah satunya melalui modifikasi dengan logam atau paduan logam (Banerjee dkk., 2014). Modifikasi logam bertujuan menciptakan situs aktif pada TiO_2 yang dapat mempersempit celah pita energi serta menekan laju rekombinasi elektron-*hole*. Beberapa logam seperti Ag, Au, dan Pt diketahui mampu meningkatkan aktivitas fotokatalitik TiO_2 , namun penggunaannya terbatas oleh biaya yang tinggi dan ketersediaan yang rendah (Chen dkk., 2024). Oleh karena itu, diperlukan alternatif logam yang lebih ekonomis namun tetap efektif dalam meningkatkan performa fotokatalitik.

Salah satu kandidat yang potensial adalah paduan logam CuZn. Kombinasi Cu dan Zn diketahui menghasilkan efek sinergis yang dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik material semikonduktor. Paduan logam CuZn memiliki sifat konduktivitas listrik yang baik sehingga akan mempercepat pemisahan elektron-*hole* pada TiO_2 dan mengurangi tingkat rekombinasi. Selain itu, CuZn juga dikenal memiliki sifat antibakteri dan antikorosi, sehingga mampu meningkatkan stabilitas dan daya tahan material fotokatalis. Keunggulan lain dari CuZn adalah ketersediaannya yang melimpah dan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan logam mulia, sehingga proses sintesis menjadi lebih efisien dan ramah lingkungan. Modifikasi TiO_2 menggunakan CuZn dipandang sebagai solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan kinerja fotokatalitik sekaligus menjaga aspek ekonomi dan keberlanjutan material.

Selain pemilihan material, metode sintesis juga memegang peranan penting dalam menentukan kualitas dan kinerja nanopartikel fotokatalis. Metode *pulse laser ablation* (PLA) merupakan salah satu teknik sintesis yang mampu menghasilkan nanopartikel dengan kemurnian tinggi tanpa penggunaan bahan kimia tambahan.

Metode ini memanfaatkan penggunaan laser pulsa untuk mengablasi material target di dalam media cair. Dibandingkan dengan metode sintesis lain, metode ablasi laser pulsa menawarkan keunggulan dalam pengendalian ukuran dan morfologi nanopartikel melalui parameter laser, seperti energi laser, frekuensi repetisi laser, fokus lensa, dan waktu ablasi (Nurhasanah dan Khumaeni, 2023). Dalam sintesis nanopartikel menggunakan PLA, penggunaan parameter yang sama namun waktu ablasi yang berbeda akan menghasilkan frekuensi tembakan yang berbeda sehingga berpengaruh terhadap ukuran, struktur, dan komposisi nanopartikel yang dihasilkan, termasuk kestabilan logam CuZn dalam matriks TiO_2 .

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada sintesis nanopartikel TiO_2 yang dimodifikasi logam CuZn menggunakan metode ablasi laser pulsa dalam medium air deionisasi (DIW) dengan variasi waktu ablasi. Proses ablasi dilakukan menggunakan laser Nd:YAG dengan panjang gelombang 1064 nm. Koloid nanopartikel yang terbentuk akan dikarakterisasi untuk menganalisis sifat optik, struktur, morfologi, ukuran partikel serta gugus fungsi. Selain itu, aktivitas fotokatalitik nanopartikel $\text{TiO}_2\text{:CuZn}$ diuji terhadap degradasi pewarna metilen biru guna mengevaluasi efektivitasnya dan menentukan kondisi modifikasi yang optimum.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian antara lain:

Mensintesis dan mengkarakterisasi koloid nanopartikel TiO_2 yang dimodifikasi CuZn ($\text{TiO}_2\text{:CuZn}$) dalam medium air deionisasi dengan metode ablasi laser pulsa dengan variasi waktu, serta mengevaluasi pengaruh waktu modifikasi terhadap kinerjanya sebagai material fotodegradasi pewarna metilen biru.

1.3 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan teknologi fotokatalis berbasis nanopartikel $\text{TiO}_2\text{:CuZn}$ untuk aplikasi fotodegradasi zat warna.