

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masalah pencemaran lingkungan, khususnya akibat limbah warna dari industri seperti tekstil, cat, dan kosmetik, telah menjadi perhatian dalam beberapa dekade terakhir. Limbah jenis ini dapat mencemari perairan dan berpotensi menyebabkan kerusakan ekosistem dan membahayakan kesehatan (Tehubijuluw dkk., 2021). Salah satu zat warna yang banyak digunakan dalam industri adalah metilen biru (MB), di mana sekitar 95% langsung terbuang ke lingkungan setelah proses pewarnaan (Pasa, 2024). Metilen biru juga dikenal bersifat persisten, sukar terurai secara hayati, serta memiliki karakteristik toksik, mutagenik, dan karsinogenik (Ibrahim dkk., 2022), sehingga memerlukan metode pengolahan limbah yang efisien dan berkelanjutan.

Salah satu pendekatan yang terus dikembangkan untuk menanggulangi pencemaran ini adalah penggunaan teknologi fotokatalitik berbasis material semikonduktor, khususnya nanopartikel. Fotokatalis bekerja dengan menyerap energi cahaya untuk menghasilkan pasangan *electron-hole* yang terlibat dalam reaksi redoks dan memungkinkan dekomposisi polutan organik berbahaya (Kumagai dkk., 2022). Material semikonduktor seng oksida (ZnO) termasuk salah satu material yang dianggap unggul pada stabilitas kimia dan ketahanan terhadap korosi, non-toksisitas, serta aktivitas antimikroba membuatnya cocok dalam aplikasi pemurnian air (Kuriakose dkk., 2016; Sabry dkk., 2020). Namun, performa fotokatalitik ZnO terbatas oleh tingginya tingkat rekombinasi yang menyebabkan penurunan efisiensi degradasi (Mydeen dkk., 2020).

Untuk meningkatkan efisiensi fotokatalitik ZnO, doping logam ke dalam struktur kristalnya merupakan strategi yang umum diterapkan. Doping terbukti dapat menurunkan energi *band gap*, memperluas penyerapan cahaya, dan menekan laju rekombinasi muatan. Beberapa dopan seperti Lantanum (Thi dan Lee, 2017), Samarium (Kumar dkk., 2018), Cerium (Khatamian dkk., 2012), dan Molibdenum (Padwal dkk., 2024) telah digunakan untuk memodifikasi sifat elektronik ZnO.

Molibdenum dinilai menjanjikan karena memiliki kestabilan kimia tinggi dan ukuran ionik (Mo^{6+} : 0,65 Å) yang mendekati Zn^{2+} (0,74 Å), sehingga dapat menggantikan Zn secara substitusional tanpa merusak struktur kristal (Khalid dkk., 2023; Fiaz dkk., 2019). Khalid dkk. (2023) melaporkan bahwa doping Mo menurunkan *band gap* ZnO hingga ~3,1 eV dan meningkatkan efektivitas degradasi zat warna hingga 89,6% dalam 180 menit, yang disebabkan oleh perubahan karakteristik elektronik akibat doping.

Karakteristik nanopartikel seperti ukuran, morfologi, dan struktur kristal sangat dipengaruhi oleh metode sintesis yang digunakan. Metode kopresipitasi dikenal sederhana dan ekonomis, namun cenderung menghasilkan partikel tak seragam dan mudah teraglomerasi. *Sol-gel* memberi kontrol morfologi lebih baik, tetapi prosesnya lama dan sensitif terhadap pH serta suhu. Selain itu, *green synthesis* lebih ramah lingkungan, tetapi kurang optimal dalam menghasilkan produk dengan kemurnian dan kontrol struktur yang baik (Singh dkk., 2018). Salah satu metode yang dinilai unggul dalam sintesis nanopartikel adalah metode PLAL (*Pulsed Laser Ablation in Liquid*) yang menggunakan pulsa laser berenergi tinggi untuk mengablasi target padat dalam medium cair membentuk nanopartikel secara langsung dalam bentuk koloid.

Metode PLAL memiliki sejumlah keunggulan diantaranya tingkat kemurnian tinggi nanopartikel yang dihasilkan karena tidak memerlukan prekursor kimia yang dapat memunculkan residu dan limbah kimia, sehingga ramah terhadap lingkungan. Metode ini juga memungkinkan kontrol yang baik terhadap ukuran partikel dan distribusinya dengan mengatur parameter laser seperti energi, durasi pulsa, dan panjang gelombang (Tan dkk., 2024). Sistem peralatan yang sederhana dan fleksibel juga memungkinkan proses sintesis dan doping terjadi secara simultan dalam satu tahap (Yang dkk., 2012). Pada penelitian ini, metode PLAL digunakan untuk sintesis koloid nanopartikel ZnO dan koloid nanopartikel ZnO terdoping Mo dengan laser Nd:YAG dengan panjang gelombang 1064 nm. Koloid yang dihasilkan dilakukan uji karakteristik dan pengujian sebagai fotokatalis zat warna metilen biru.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Melakukan sintesis nanopartikel ZnO terdoping Molibdenum (ZnO:Mo) dalam medium akuades dengan metode ablasi laser pulsa.
2. Melakukan uji karakteristik nanopartikel ZnO:Mo meliputi serapan cahaya/sifat optik, struktur kristal, morfologi dan ukuran.
3. Menganalisis efektivitas fotokatalitik nanopartikel ZnO:Mo dalam mendegradasi metilen biru (MB).

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan nanopartikel ZnO terdoping Mo sebagai agen fotokatalis dengan metode sintesis ablasi laser pulsa dalam cairan. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat dijadikan rujukan dalam penanganan masalah pencemaran lingkungan perairan.