

BAB I PENDAHULUAN

I. 1 Latar Belakang

. Limbah Tekstil mengandung pewarna sintesis dengan konsentrasi tinggi yang sulit terdegradasi seperti metilen biru. Zat warna ini berupa serbuk, berwarna hijau tua atau biru kehijauan dalam larutan berwarna biru. Metilen biru menyebabkan masalah kesehatan pada manusia seperti kanker kulit, mual, gangguan paru-paru, masalah lambung, dan iritasi mata. Selain itu, juga menyebabkan pencemaran lingkungan (Raj, 2025).

Pada umumnya, penguraian metilen biru dari limbah cair dapat dilakukan menggunakan metode adsorpsi. Namun, metode ini memiliki keterbatasan karena metilen biru hanya dipindahkan dari fase cair ke permukaan adsorben tanpa mengalami degradasi secara menyeluruh. Akibatnya, adsorben yang telah jenuh masih berpotensi menjadi limbah sekunder dan memerlukan proses pengolahan lanjutan (Haleem dkk., 2023). Fotokatalis sebagai metode solutif yang tidak hanya menguraikan, tetapi juga mampu mendegradasi metilen biru menjadi senyawa yang lebih sederhana dan mengurangi toksisitasnya. Fotokatalis adalah proses reaksi kimia yang dibantu oleh cahaya dan katalis. Prinsipnya meliputi radiasi katalis menggunakan foton berenergi cukup sehingga mengaktifkan katalis yang dapat mempercepat reaksi kimia sehingga bahan-bahan organik berbahaya diuraikan dengan adanya suatu katalis dan radiasi sinar ultraviolet (UV) (Chakravorty & Roy, 2024).

CuO merupakan salah satu semikonduktor yang berpotensi untuk dijadikan sebagai komponen fotokatalis karena memiliki celah pita sekitar 1,2-

1,55 eV dengan kedalaman penyerapan optik sekitar 500 nm dan panjang difusi pembawa muatan sekitar 200 nm (Berede dkk., 2024). Namun, disamping itu CuO sebagai material memiliki keterbatasan mendasar yang mengurangi kinerjanya dalam proses fotokatalisis. Material ini menunjukkan rekombinasi pasangan elektron-hole yang cepat menyebabkan aktivitas degradasi zat warna menjadi kurang efektif (Mondal, 2024).

Peningkatan aktivitas fotokatalitik CuO dapat diatasi dengan menggabungkan logam transisi seperti MnO₂. MnO₂ memiliki bandgap sebesar 1-2 eV dan dapat memiliki cacat oksigen atau *oxygen vacancy*, yang berperan sebagai pusat aktif untuk menangkap elektron dan meningkatkan reaksi permukaan. Berdasarkan penelitian Anwar dkk., (2025) menunjukkan bahwa sintesis MnO₂ doping Sr menunjukkan efisiensi degradasi yang lebih tinggi hingga mencapai 82%. Penambahan MnO₂ sebagai pembentukan *heterojunction* meningkatkan pemisahan pasangan elektron yang dihasilkan oleh foton sehingga meningkatkan aktivitas fotokatalitik.

Dalam komposit CuO/MnO₂ melibatkan penyelarasan strategis pita energi antara semikonduktor yang berbeda untuk memfasilitasi pemisahan dan transfer muatan yang efektif. Sistem ini memastikan bahwa elektron yang dihasilkan oleh foton dari pita konduksi satu semikonduktor bermigrasi ke pita valensi semikonduktor lainnya sehingga mencegah rekombinasi. Efektivitas transfer muatan tersebut juga berkaitan dengan struktur kristal material. Material dengan struktur kristalin umumnya memiliki susunan atom yang teratur sehingga dapat mendukung pergerakan elektron yang lebih baik, sedangkan

struktur amorf memiliki ketidakteraturan atom yang dapat menyediakan lebih banyak situs aktif, tetapi dapat pula bertindak sebagai pusat rekombinasi apabila jumlah cacat terlalu tinggi. Struktur semi-kristalin pada komposit CuO/MnO₂ dapat memberikan keseimbangan antara keteraturan kristal untuk mendukung transfer elektron dan keberadaan daerah amorf atau cacat permukaan yang berperan sebagai situs aktif dalam proses fotokatalisis (Wang dkk., 2026).

Komposit umumnya disintesis menggunakan metode hidrotermal, koresipitasi, dan deposisi uap kimia. Namun, metode tersebut melibatkan kondisi yang keras dan potensi toksik, sehingga dapat menimbulkan dampak negatif seperti terbentuknya limbah kimia berbahaya, adanya residu toksik pada produk, peningkatan konsumsi energi, risiko pencemaran lingkungan, serta bahaya bagi kesehatan dan keselamatan kerja. Metode *green synthesis* menjadi solusi untuk mengatasi kekurangan tersebut dengan memanfaatkan mikroorganisme dan tanaman sebagai alternatif ramah lingkungan (Millavithanachchi dkk., 2025).

Penelitian yang akan dilaksanakan mengacu pada penelitian Nguyen dkk., (2023) menyatakan bahwa ekstrak daun berperan sebagai penstabil alami dalam proses *green synthesis* komposit. Ekstrak daun mengandung alkaloid, antosianin, flavonoid, steroid, senyawa fenolik, tanin, saponin, terpenoid, dan glikosida yang mempengaruhi sifat optik dan struktur komposit (Ditalistya dkk., 2026).

Daun pandan (*Pandanus amaryllifolius*) merupakan bahan hayati yang mudah diperoleh dan diketahui mengandung senyawa flavonoid. Kandungan flavonoid pada daun pandan berperan dalam stabilisasi dan pencegahan aglomerasi. Flavonoid berperan dalam menghambat pertumbuhan nanopartikel secara berlebihan dan menstabilkan permukaan komposit dalam proses sintesis (Hosseinzadeh dkk., 2023).

Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa penggunaan CuO sebagai fotokatalis, namun masih memiliki keterbatasan penyerapan cahaya yang masih terbatas dan menghasilkan limbah yang berpotensi toksik sehingga keterbaruan penelitian ini terletak pada pengembangan komposit CuO/MnO₂ berbasis *green synthesis* dengan memanfaatkan ekstrak daun pandan (*Pandanus amaryllifolius*) sebagai agen penstabil alami. Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan material fotokatalis yang lebih ramah lingkungan serta berpotensi meningkatkan aktivitas fotokatalitik. Komposit CuO/MnO₂ yang dihasilkan selanjutnya diaplikasikan untuk degradasi senyawa metilen biru sebagai model limbah zat warna sintetis.

I.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Mensintesis CuO, MnO₂, dan komposit CuO/MnO₂ dengan menggunakan daun pandan sebagai sumber agen penstabil dan karakterisasinya dengan FTIR, XRD, dan DRS-UV
2. Menguji aktivitas fotokatalitik CuO, MnO₂, dan komposit CuO/MnO₂ untuk degradasi metilen biru.