

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pencemaran lingkungan oleh limbah industri tekstil semakin meningkat dan menjadi masalah serius di banyak negara (Zhu dkk., 2020). Hal ini disebabkan oleh kurangnya proses pengolahan limbah sebelum dibuang ke sistem perairan, yang menyebabkan sekitar 10% dari total 749 ton pewarna dilepaskan ke lingkungan air setiap tahunnya (Al-Buriah dkk., 2022). Metil oranye, sebagai salah satu jenis pewarna sintesis yang umum digunakan, merupakan zat warna anionik yang mengandung gugus azo. Struktur gugus azo yang stabil dan kompleks, dengan ikatan rangkap dua nitrogen-nitrogen yang kuat, menjadikannya sulit terbiodegradasi dan berpotensi karsinogenik serta toksik bagi manusia (Waghchaure dkk., 2022). Peningkatan konsentrasi metil oranye dalam lingkungan air dapat mengganggu ekosistem perairan dengan menghambat proses fotosintesis pada tumbuhan air (Tkaczyk dkk., 2020).

Dampak buruk yang ditimbulkan oleh limbah pewarna tersebut menunjukkan perlunya pengolahan limbah yang tepat sebelum dibuang ke lingkungan. Beberapa metode pengolahan limbah zat warna yang umum digunakan antara lain adsorpsi (Jawad & Al-Abodi, 2019), koagulasi, flokulasi, pemisahan membran (Sonal & Mishra, 2021), dan metode AOP (*Advanced Oxidation Process*) (Sadiq & Al-Abodi, 2019). Metode AOP merupakan metode yang paling efektif dalam pengolahan limbah, karena menghasilkan radikal hidroksil yang merupakan oksidan yang sangat kuat untuk mengoksidasi polutan organik (Salman dkk., 2022).

Proses AOP terkenal dengan kemampuannya dalam mengurangi toksisitas, mempercepat laju degradasi, dan mengubah polutan menjadi bahan yang lebih ramah lingkungan. Namun, proses ini juga memiliki tantangan, seperti sulitnya mengontrol efisiensi reaksi dan stabilitas jangka panjang dari fotokatalis yang digunakan. Oleh karena itu, perlu dikembangkan metode yang lebih efisien, yaitu metode fotoelektrokatalisis.

Metode fotoelektrokatalisis merupakan gabungan dari fotokatalisis dan elektrokimia. Metode ini menerapkan tegangan eksternal untuk meningkatkan pemisahan pasangan elektron-hole, mengurangi rekombinasi, serta meningkatkan reaktivitas secara signifikan (Kusmierek, 2020). Metode ini dapat digunakan untuk mendegradasi zat warna dengan melibatkan cahaya, aliran listrik, dan katalis. Katalis yang digunakan berupa semikonduktor oksida logam, salah satunya adalah seng oksida (ZnO). ZnO merupakan semikonduktor dengan celah pita 3,37 eV, bersifat ramah lingkungan, memiliki stabilitas dan mobilitas elektron yang tinggi, serta aktivitas fotokatalitik yang baik (Sanakousar dkk., 2022). Penelitian oleh Rosa dkk. (2020) telah membuktikan bahwa hasil sintesis elektroda ZnO nanorods yang dilapisi pada substrat silikon dapat digunakan untuk degradasi metilen biru secara fotoelektrokatalisis.

Akan tetapi, ZnO memiliki keterbatasan berupa tingkat rekombinasi yang tinggi yang mengakibatkan aktivitas fotokatalitik kurang baik, beberapa penelitian mengindikasikan bahwa masalah tersebut dapat diatasi melalui pendopongan oksida logam lain. Salah satu oksida logam yang potensial untuk didoping adalah tembaga (II) oksida (CuO). ZnO yang didoping dengan CuO mengalami modifikasi pada

struktur elektronik material, yang menciptakan tingkat energi baru dalam *band gap* ZnO, sehingga mengurangi energi yang dibutuhkan untuk eksitasi elektron (Mubeen dkk., 2023). Selain itu, CuO dapat meningkatkan luas permukaan spesifik katalis dan membentuk *heterojunction* dengan ZnO. *Heterojunction* ini berperan penting dalam memisahkan pasangan elektron-hole dengan lebih efisien, sehingga meningkatkan laju reaksi fotokatalitik dan menghambat rekombinasi (Mrabet dkk., 2023). Penelitian yang dilakukan oleh Acedo-Mendoza dkk. (2020) membuktikan bahwa ZnO yang didoping CuO menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam aktivitas fotokatalitiknya dibandingkan dengan ZnO tanpa doping. Oleh karena itu, CuO-ZnO merupakan material yang menjanjikan untuk aplikasi fotoelektrokatalisis dalam pengolahan limbah zat warna.

Proses sintesis CuO-ZnO dilakukan dengan metode *chemical bath deposition* (CBD). Metode ini memiliki keunggulan yaitu prosesnya sederhana, ramah lingkungan, menggunakan suhu rendah, serta hemat biaya (Rakhsha dkk., 2019). Studi oleh Khan dkk. (2022) menunjukkan bahwa metode CBD mampu menghasilkan area deposisi yang luas dan homogenitas yang lebih baik pada film tipis ZnO dibandingkan dengan metode lain. Film tipis ZnO yang didoping CuO dideposisikan pada substrat kaca ITO (*Indium Tin Oxide*), dipilih karena kemudahan dalam pengendalian proses sintesisnya, sehingga menghasilkan struktur dan morfologi lapisan yang optimal (Kim dkk., 2021).

Kombinasi CuO-ZnO melalui metode CBD, yang kemudian dideposisikan pada substrat kaca ITO, menjadi fokus utama dalam penelitian ini. Material ini akan digunakan sebagai elektroda anoda lapis tipis untuk aplikasi fotoelektrokatalisis

dalam degradasi metil oranye. Penggunaan ITO sebagai substrat menjadi potensi untuk meningkatkan efektivitas proses degradasi melalui optimalisasi efek sinar UV yang penting untuk pembentukan radikal hidroksil dalam proses oksidasi zat warna.

I.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memperoleh elektroda lapis tipis ZnO/ITO dan CuO-ZnO/ITO menggunakan metode *chemical bath deposition* beserta karakteristiknya.
2. Menentukan efektivitas elektroda lapis tipis ZnO/ITO dan CuO-ZnO/ITO pada proses degradasi metil oranye secara fotoelektrokatalisis.