

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor industri tekstil memiliki peranan penting dalam memenuhi kebutuhan primer manusia. Peningkatan produksi tekstil juga akan meningkatkan penggunaan zat warna sintetis. Namun seringkali limbah zat warna sintetis menjadi penyebab utama pencemaran lingkungan terutama di perairan. Pengolahan limbah zat warna yang kurang memadai merupakan faktor yang memicu pencemaran perairan. Salah satu zat warna sintetis penyebab pencemaran tersebut ialah *congo red*. Penggunaan pewarna *congo red* dalam industri tekstil menimbulkan bahaya lingkungan dan kesehatan yang signifikan karena bersifat karsinogenik dan beracun (Riapanitra dkk., 2023).

Banyak metode telah dikembangkan untuk menangani pencemaran zat warna tersebut, antara lain filtrasi membran, adsorpsi, dan bioremediasi. Namun dari metode-metode tersebut masih dijumpai kekurangan. Pada proses filtrasi membran memiliki efisiensi yang cukup baik tetapi waktu penggunaan yang relatif pendek dan menambah biaya yang harus dikeluarkan karena penggantian secara berkala (Nika dkk., 2022). Metode adsorpsi hanya sebagai fasilitator perpindahan zat warna ke permukaan adsorben tanpa menghilangkan molekul pewarna secara kimiawi sehingga perlu pengolahan lebih lanjut. Penggunaan mikroba dalam remediasi air masih dianggap tidak praktis karena kandungan biologis yang terdapat dalam air limbah dapat menyebabkan regenerasi terus

menerus dalam limbah sehingga terjadi variasi pH, suhu, konsentrasi air limbah industri tekstil yang terus berubah-ubah (Septiana, 2023).

Salah satu metode alternatif untuk menguraikan zat warna *congo red* adalah fotoelektrokatalisis dekolourisasi cairan limbah. Fotodekolourisasi secara elektrokatalisis merupakan metode peluruhan warna limbah menggunakan bantuan serangkaian alat elektrolisis yang disinari UV atau foton. Salah satu kelebihan dekolourisasi secara fotoelektrokatalis adalah tidak memerlukan metode pengolahan lanjutan dari hasil sisa dekolourisasi (Annisaputri dkk., 2020). Energi listrik dapat memfasilitasi proses pemisahan (separasi) pembawa muatan yaitu elektron dan *hole* agar tidak mengalami rekombinasi sehingga meningkatkan produksi spesies reaktif untuk mendekolourisasi larutan zat warna (Annisaputri dkk., 2020)

Proses dekolourisasi secara fotoelektrokatalisis dapat berlangsung lebih cepat apabila menggunakan katalis semikonduktor karena sifat kelistrikan yang cukup tinggi dan dapat menghasilkan radikal OH yang berperan penting dalam menguraikan zat warna. Katalis semikonduktor yang paling sering digunakan ialah seng oksida (ZnO). Dalam keadaan alamiah, ZnO adalah semikonduktor tipe-n dengan celah pita lebar yaitu 3,37 eV, energi pengikatan eksiton yang besar yaitu 60 meV, dan pada suhu ruang memiliki mobilitas elektron tinggi serta stabilitas termal yang baik (Seddik dkk., 2021). Celah pita yang lebar pada ZnO dapat diperkecil dengan menambahkan dopan logam. Dopan juga berperan dalam mengoptimalkan kemampuan fotokatalitik semikonduktor ZnO (Seddik dkk., 2021).

Dopan logam transisi pada orbital 3d dapat mengubah sifat listrik dan sifat optik ZnO. Besi (Fe) sebagai logam transisi yang memiliki orbital 3d dapat dijadikan doping untuk membantu ZnO dalam mendekolorisasi larutan *congo red*. Secara kimiawi, logam Fe bersifat stabil dan merupakan salah satu dopan yang paling menjanjikan karena dapat dengan mudah bergabung ke dalam matriks Zn sebagai situs substitusi atau interstisial karena memiliki radiasi ionik yang serupa ($r\text{Fe}^{2+} = 0,78 \text{ \AA}$; $r\text{Fe}^{3+} = 0,64 \text{ \AA}$; dan $r\text{Zn}^{2+} = 0,74 \text{ \AA}$) (Seddik dkk, 2021). Selain itu, keberadaan ion Fe berfungsi sebagai perangkap elektron yang secara efektif mendorong pemisahan pasangan elektron-hole yang dihasilkan oleh cahaya dan menghambat rekombinasi yang mengarah pada peningkatan efisiensi proses fotokatalitik (Giram dan Das, 2024). Penelitian yang dilakukan oleh Isai dan Shrivastava (2019) mengungkapkan pola XRD sampel ZnO dan ZnO-Fe (2%) memiliki struktur *wurtzite* heksagonal dengan ukuran kristal rata-rata sampel dihitung 22,01 dan 23,38 nm. Hasil penelitian ini juga menunjukkan doping nanopartikel ZnO dengan besi meningkatkan sifat fotokatalitik ZnO (Isai dan Shrivastava, 2019).

Sintesis ZnO murni dan terdopan Fe dilakukan dengan menggunakan metode sol-gel yang telah banyak dikembangkan sebagai salah satu metode populer dalam mensintesis nanopartikel ZnO. Sol adalah koloid dengan fasa terdispersi yang berbentuk solid (padatan) dan fasa pendispersi berupa cairan sedangkan gel adalah jaringan partikel anorganik, baik padatan dan cairan, dimana polimer yang terjadi di dalam larutan digunakan sebagai tempat pertumbuhan zat anorganik (Alsaad, 2020). Keuntungan penggunaan metode sol-gel antara lain

biaya yang murah, dapat menghasilkan partikel yang lebih halus, kemudahan mengontrol komposisi atau homogenitas komposisi kimia zat sintesis, dan penggunaan temperatur yang rendah (Alsaad, 2020).

Berdasarkan uraian di atas, akan dilakukan penelitian sintesis ZnO terdoping Fe menjadi anoda untuk dekolorisasi larutan *congo red* secara fotoelektrokatalisis. ZnO sebagai prekursor yang didoping Fe akan disintesis menggunakan metode sol-gel. Anoda substrat kaca ITO dicelupkan ke dalam larutan sintesis tersebut dengan teknik *dip coating*. Metode pelapisan celup (*dip coating*) pada kaca ITO menawarkan beberapa keuntungan seperti ukuran pelapisan yang lebih besar, proses produksi yang lebih efisien, dan jumlah bahan pelapis yang dibutuhkan lebih sedikit (Yasir dkk., 2022). Kombinasi ZnO dan Fe yang terlapisi di substrat kaca ITO kemungkinan besar berpotensi mendekolorisasi larutan *congo red* melalui bantuan sinar UV yang akan menghasilkan spesies radikal sebagai elektron pengikat gugus kromofor *congo red* sehingga mampu mengoksidasi dan meluruhkan warna larutan *congo red*.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memperoleh anoda lapis tipis ZnO/ITO dan ZnO-Fe/ITO beserta hasil karakterisasi melalui instrumen XRD, SEM-EDX, dan UV-Vis DRS.
2. Mengetahui pengaruh penambahan doping Fe terhadap dekolorisasi larutan *congo red*.

3. Menentukan efektivitas anoda ZnO/ITO dan ZnO-Fe/ITO dalam mendekolorisasi larutan *congo red* secara fotoelektrokatalisis beserta hasil karakterisasi melalui spektrofotometri UV-Vis.