

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Perkembangan industri tekstil telah mendorong meningkatnya penggunaan zat warna sintetis sebagai salah satu komponen penting dalam proses produksi (Fobiri, 2022). Zat warna sintetis dipilih karena memiliki berbagai keunggulan dibandingkan dengan zat warna alami, seperti mampu menghasilkan warna tajam, tersedia dalam beragam variasi, serta memiliki ketahanan tinggi terhadap pencucian maupun paparan cahaya (Rajoria dan Roy, 2022). Keunggulan tersebut menjadikan produk tekstil tidak hanya menarik secara visual, tetapi juga memiliki daya tahan yang baik sehingga mampu memenuhi standar kualitas industri sekaligus kebutuhan pasar (Fobiri, 2022). Oleh karena itu, penggunaan zat warna sintetis menjadi faktor yang tidak dapat dipisahkan dari perkembangan industri tekstil masa kini.

Produksi zat warna sintetis diperkirakan mencapai sekitar 800.000 ton per tahun, dengan lebih dari 10.000 jenis zat warna diperkenalkan secara komersial dan sekitar 70% di antaranya termasuk dalam golongan zat warna azo (Periyasamy, 2024). Data ini menunjukkan bahwa keberadaan zat warna azo memiliki peranan yang sangat krusial dalam mendukung keberlangsungan serta pertumbuhan industri tekstil (El-Sayed dkk., 2024). Meskipun memiliki peran yang penting, penggunaan zat warna sintetis dalam jumlah besar menimbulkan persoalan lingkungan karena sebagian besar zat warna yang terbuang bersama limbah tekstil sulit terurai secara alami karena memiliki struktur kimia yang kompleks dan stabil (Singha dkk., 2021). Akibatnya, limbah tersebut dapat mencemari perairan, mengganggu

keseimbangan ekosistem, bahkan membahayakan kesehatan makhluk hidup (Mustafa dkk., 2024). Salah satu zat warna sintetis yang banyak digunakan adalah *naphthol blue black* (NBB). *Naphthol blue black* merupakan salah satu jenis zat warna azo yang banyak digunakan dalam industri tekstil karena memiliki kestabilan warna yang tinggi, tahan terhadap pencucian, dan mampu meningkatkan nilai estetika produk (Wani dkk., 2019). Namun, kestabilan ini menyebabkan limbah zat warna NBB sulit terdegradasi secara alami yang pada akhirnya menurunkan kualitas air dan membahayakan kehidupan manusia maupun organisme akuatik (G. B. Singh dkk., 2024). Oleh sebab itu, perlu dikembangkan metode pengolahan limbah zat warna sintetis yang efektif dan ramah lingkungan.

Berbagai metode konvensional seperti koagulasi-flokulasi, adsorpsi, filtrasi membran, maupun degradasi biologi telah banyak diterapkan dalam pengolahan limbah tekstil (Kathing dan Saini, 2022). Metode – metode tersebut pada dasarnya mampu menurunkan konsentrasi zat warna, tetapi masih memiliki keterbatasan karena tidak sepenuhnya menguraikan struktur kimia zat warna yang kompleks (Kathing dan Saini, 2022). Keterbatasan ini menunjukkan perlu pendekatan lain yang lebih efektif dan ramah lingkungan. Salah satu metode yang saat ini banyak diteliti dan dinilai potensial dalam permasalahan tersebut adalah fotokatalisis (Khan dkk., 2024).

Fotokatalisis merupakan salah satu metode pengolahan limbah yang dinilai efektif karena mampu mendegradasi zat warna sintetis yang sulit diuraikan (Saeed dkk., 2022). Proses ini bekerja dengan memanfaatkan energi cahaya untuk mempercepat proses reaksi kimia, sehingga digunakan untuk menghasilkan spesies

reaktif yang mampu merusak ikatan molekul organik, termasuk zat warna sintetis (Khan dkk., 2024). Dalam pelaksanaannya, diperlukan material yang mampu menyerap energi cahaya dan memicu terbentuknya reaksi kimia lanjutan yang berperan dalam pemecahan molekul zat warna. Hal ini menunjukkan kinerja fotokatalisis sangat bergantung pada sifat dan kualitas material yang berperan.

Metode fotokatalisis memerlukan keberadaan katalis atau material sebagai komponen utama yang berfungsi mempercepat proses reaksi dan degradasi berlangsung secara efektif (Al Miad dkk., 2024). Katalis yang digunakan memiliki kemampuan menyerap energi cahaya dan menghasilkan pasangan elektron-*hole* yang dapat membentuk spesies reaktif (Mohamadpour dan Amani, 2024). Material yang memenuhi karakteristik tersebut adalah semikonduktor, sehingga banyak digunakan dalam berbagai penelitian fotokatalisis (Al-Tohamy dkk., 2022). Penggunaan semikonduktor dalam fotokatalisis menunjukkan potensi besar dalam mengatasi permasalahan limbah zat warna sintetis.

Material semikonduktor merupakan material yang memiliki sifat listrik tertentu, ditandai dengan keberadaan energi celah pita (*band gap*) yang memengaruhi perpindahan elektron (Al Miad dkk., 2024). Karakteristik ini menghasilkan elektron pada pita valensi tereksitasi ke pita konduksi ketika menyerap energi cahaya, sehingga terbentuk pasangan elektron-*hole* yang dapat menghasilkan spesies reaktif untuk mendukung proses fotokatalis (Hassaan dkk., 2023). Beberapa jenis semikonduktor yang banyak dimanfaatkan dalam fotokatalisis antara lain TiO_2 , ZnO , SnO_2 , dan CuO karena kestabilan serta efektivitasnya dalam mendegradasi zat warna sintetis (Abdelfattah dan El-Shamy,

2024b). TiO_2 memiliki *band gap* sekitar 3,2 eV sehingga hanya aktif di bawah radiasi UV yang membatasi efektivitasnya dalam memanfaatkan energi matahari (Chauke dkk., 2025). ZnO dengan *band gap* serupa, yaitu sekitar 3,2 eV hanya diaktifkan oleh radiasi UV dan rentan mengalami fotokorosi sehingga memerlukan modifikasi tambahan (Baig dkk., 2025).

SnO_2 bahkan memiliki *band gap* lebih lebar sekitar 3,6 eV, sehingga aktivitas fotokatalitiknya relatif rendah (Jorgetto dkk., 2023). Keterbatasan dari ketiga material tersebut menunjukkan bahwa semikonduktor dengan *band gap* lebar umumnya memiliki aktivitas yang masih terbatas dalam fotokatalisis (Kumari dkk., 2023). Oleh karena itu, diperlukan material alternatif dengan karakteristik *band gap* yang lebih sesuai untuk meningkatkan efektivitasnya. Dibandingkan dengan ketiga material tersebut, CuO mempunyai *band gap* sempit dalam kisaran 1,2 – 1,9 eV yang menjadikannya lebih unggul dibandingkan semikonduktor lain dalam aplikasi fotokatalisis (Siyalo dkk., 2025).

CuO memiliki celah pita (*band gap*) sekitar 1,2 – 1,7 eV tergantung pada struktur dan ukuran kristalnya (Sapkota dkk., 2020; Wang dkk., 2016), sehingga mampu bekerja di bawah cahaya tampak untuk menghasilkan pasangan elektron-hole (Koohestani, 2019). Pasangan elektron-hole dapat memicu reaksi redoks yang menghasilkan spesies reaktif untuk mendegradasi zat warna (Ibarra-Rodriguez dkk., 2023). Hal ini menjadikan CuO sebagai salah satu semikonduktor yang menjanjikan untuk aplikasi fotokatalisis. CuO dapat disintesis melalui berbagai metode, antara lain presipitasi (Nahar dkk., 2023), hidrotermal (Pawar dkk., 2024), solvothermal (Mishra dkk., 2018), dan sol-gel (Jabur dan Ahmed, 2020). Metode

solvothermal mirip dengan hidrotermal, tetapi menggunakan pelarut organik sehingga dapat memengaruhi ukuran dan bentuk partikel (Mishra dkk., 2018). Sementara itu, metode sol-gel melibatkan pembentukan gel dari larutan prekursor yang kemudian dikalsinasi, namun prosesnya lebih lama dan membutuhkan kondisi tertentu (Siyalo dkk., 2025). Dibandingkan dengan metode – metode tersebut, presipitasi dianggap lebih unggul karena hanya memerlukan pencampuran prekursor dengan agen pengendap hingga terbentuk endapan, sehingga mudah, murah, dan tetap efektif menghasilkan CuO untuk fotokatalisis (Assaouka dkk., 2022; Nahar dkk., 2023).

Proses fotokatalisis menggunakan CuO pada dasarnya akan menghasilkan spesies reaktif yang berperan dalam degradasi zat warna, tetapi material ini memiliki kecenderungan terhadap rekombinasi elektron-*hole* yang dapat mengurangi efektivitasnya (Saha dkk., 2024). Salah satu pendekatan yang umum dilakukan untuk meningkatkan kinerja fotokatalis adalah kombinasi dengan material *support* yang berperan sebagai akseptor elektron untuk membantu memisahkan muatan dan menekan laju rekombinasi, sehingga proses fotokatalis dapat berlangsung lebih efektif (Rambabu dkk., 2019; Tran dkk., 2012). Material *support* yang ideal memiliki luas permukaan besar untuk menyediakan lebih banyak situs aktif serta gugus fungsional elektronegatif yang berperan sebagai penerima elektron (Lu dkk., 2021). Salah satu jenis material yang sesuai dengan karakteristik tersebut adalah material grafena oksida (GO).

Grafena oksida merupakan material berbasis karbon yang diperoleh melalui proses oksidasi grafit, sehingga pada strukturnya terbentuk berbagai gugus

fungsional beroksigen. Selain itu, GO memiliki luas permukaan besar yang menyediakan situs aktif. Penelitian Anjum dkk. (2023) menunjukkan bahwa komposit CuO/GO mampu mendegradasi zat *methyl red* hingga 95,48% dalam 2 jam di bawah cahaya tampak dan tetap mempertahankan kemampuan fotokatalitiknya setelah tujuh kali penggunaan. Selain itu, pada penelitian Bakhtiar Azim dkk. (2018) melaporkan bahwa nanokomposit GO-SnO₂ dapat mendegradasi zat warna *methylene blue* hingga 89% dalam 1 jam di bawah sinar matahari, dibandingkan dengan SnO₂ saja sebesar 63%.

Material karbon lain seperti karbon nitrida (g-C₃N₄), pada penelitian Olatunde dan Onwudiwe (2022), PCN (protonated g-C₃N₄) yang dimodifikasi melalui protonasi sebagai pendukung Cu₃SnS₄ (PCN-CTS) mampu mendegradasi *tetracycline* sebesar 85,2%, sedangkan CTS saja sebesar 74,1%, GO-CTS sebesar 90,9%, dan PC/GO-CTS 96,5% di bawah sinar UV. Sebagai perbandingan, dalam penelitian Folaranmi dkk. (2020), penambahan 15% GO ke dalam elektroda karbon aktif (AC/GO) terbukti meningkatkan kinerja elektrokimia elektroda.

Penelitian ini difokuskan pada kombinasi material semikonduktor dengan grafena oksida (GO) untuk menciptakan efek sinergis dalam fotokatalisis. CuO berperan sebagai semikonduktor aktif yang menyerap energi cahaya untuk menghasilkan pasangan elektron-hole, sedangkan grafena oksida bertindak sebagai akseptor elektron yang dapat menekan rekombinasi, sehingga meningkatkan efektivitas fotokatalisis dalam degradasi zat warna *naphthol blue black*. Dalam mengoptimalkan sinergi antara CuO dan GO, diperlukan pembentukan komposit untuk memadukan kedua material tersebut. Pembentukan komposit GO/CuO dalam

penelitian ini dilakukan dengan metode dispersi sehingga partikel CuO terdistribusi pada permukaan GO.

I.2 Tujuan Penelitian

1. Memperoleh material komposit GO/CuO melalui metode dispersi.
2. Mengkaji pengaruh penambahan komposisi CuO terhadap karakteristik material komposit yang dihasilkan.
3. Menentukan kemampuan fotokatalis dalam mendegradasi zat warna *naphthol blue black*.