

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air bersih merupakan kebutuhan pokok manusia yang ketersediaannya semakin terancam akibat peningkatan aktivitas industri, terutama industri tekstil. Industri ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pencemaran lingkungan, dengan sekitar 45% limbah dihasilkan pada tahap persiapan, 33% pada tahap pewarnaan dan pencetakan, serta 22% pada pengendapan. Limbah tersebut sering dibuang langsung ke perairan tanpa pengolahan, sehingga bersifat toksik dan memperburuk kualitas air (Azanaw dkk., 2022). Pewarna sintetis seperti metilen biru (MB) banyak digunakan dalam industri tekstil karena keunggulan warnanya yang beragam, ketahanan warna yang tinggi, biaya produksi yang rendah, serta konsistensi dalam skala produksi besar. Namun, sifat toksik dan ketidakmampuan degradasi secara hayati menimbulkan risiko serius bagi kesehatan manusia dan ekosistem lingkungan (Khan dkk., 2022).

Untuk mengatasi permasalahan ini, berbagai metode konvensional seperti koagulasi-flokulasi, filtrasi, adsorpsi, dan pengolahan biologis telah diterapkan untuk menghilangkan atau mengurangi konsentrasi zat warna dari limbah cair sebelum dibuang. Meskipun demikian, metode-metode tersebut memiliki keterbatasan, termasuk biaya operasional tinggi, pembentukan limbah sekunder, serta efisiensi degradasi yang rendah (Solayman dkk., 2023). Fotokatalisis berbasis nanoteknologi menawarkan alternatif yang lebih menjanjikan, karena mampu mendegradasi zat warna MB menjadi produk sederhana CO_2 dan H_2O tanpa menghasilkan polutan sekunder (Chong dkk., 2010). Efektivitas proses ini sangat dipengaruhi oleh jenis dan sifat material katalis, di mana material berskala nano memberikan luas permukaan spesifik yang besar serta aktivitas katalitik yang tinggi, sehingga memungkinkan interaksi optimal dengan polutan (Das dkk., 2019).

Salah satu pendekatan yang inovatif dalam fotokatalisis adalah penggunaan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C-dots}$ sebagai fotokatalis. Fe_3O_4 memiliki beberapa keunggulan dalam aplikasi pengolahan limbah, seperti stabilitas kimia yang baik,

serta toksisitas rendah, serta sifat magnetik yang memudahkan proses pemisahan material dari larutan setelah degradasi. Namun, penggunaan Fe_3O_4 sebagai material tunggal masih memiliki keterbatasan berupa efisiensi fotokatalitik yang relatif rendah, yang salah satunya disebabkan oleh laju rekombinasi pasangan elektron-hole (e^-/h^+) yang berlangsung terlalu cepat. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, Fe_3O_4 dapat dikombinasikan dengan carbon dots (C-dots) yang berperan dalam meningkatkan transfer elektron, menekan rekombinasi pasangan elektron-hole, serta memperbaiki kinerja fotokatalitik material secara keseluruhan (Wang dkk., 2014).

Berbagai metode sintesis nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C-dots}$ telah dikembangkan, dengan fokus efisiensi biaya dan ramah lingkungan. Metode *green synthesis* menjadi alternatif untuk menghasilkan nanokomposit menggunakan biomassa alami, guna mengurangi ketergantungan pada reagen toksik. Penelitian Sari dkk. (2023) berhasil menerapkan metode ini untuk mensintesis nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C-dots}$ dengan menggunakan ekstrak daun kelor sebagai agen pereduksi Fe_3O_4 dan kulit semangka sebagai sumber karbon, yang menunjukkan tingkat degradasi MB hingga 98% dalam 30 menit di bawah iradiasi lampu UV dengan penambahan agen pengoksidasi H_2O_2 . Demikian pula, Joga dkk. (2025) mensintesis nanokomposit serupa dengan memanfaatkan kulit lemon sebagai reduktor Fe_3O_4 sekaligus sumber karbon, menghasilkan efisiensi degradasi MB mencapai 99,4% dalam hanya 3 menit penyinaran cahaya matahari dengan penambahan agen pengoksidasi H_2O_2 .

Biomassa lain yang menjanjikan adalah kulit nanas, yang umumnya dianggap sebagai limbah namun kaya akan senyawa bioaktif seperti bromelain, vitamin C, polifenol, flavonoid, dan fenolik. Senyawa-senyawa ini telah dimanfaatkan dalam sintesis nanopartikel, seperti ZnO dan AuNPs (Pechyen dkk., 2021; M. Sari dkk., 2021). Selain itu kulit nanas telah digunakan dalam sintesis Fe_3O_4 melalui proses presipitasi hijau tanpa bantuan agen reduksi kimia tambahan (Venkateswarlu & Yoon, 2015). Dalam penelitian Kodarta dkk. (2024), ekstrak kulit nanas dikombinasikan dengan pasir besi untuk menghasilkan Fe_3O_4 dengan ukuran kristal rata-rata 19,99 nm, serta menunjukkan efisiensi adsorpsi Rhodamin B hingga 98,52% dalam 75 menit penyinaran. Sementara itu, Pham dkk. (2024)

memanfaatkan kulit nanas sebagai sumber karbon dalam sintesis C-dots melalui metode hidrotermal, menghasilkan partikel berukuran kecil yang larut baik dalam air dan memiliki sifat optik yang khas akibat keberadaan gugus fungsi hidroksil (-OH) dan karboksil (-COOH) di permukaannya.

Temuan ini menunjukkan bahwa kulit nanas berpotensi sebagai prekursor dalam sintesis nanopartikel Fe_3O_4 maupun C-dots. Namun, pemanfaatannya secara simultan untuk sintesis nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C-dots}$ masih jarang diteliti. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada *green synthesis*, karakterisasi, dan aplikasi nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C-dots}$ berbasis kulit nanas sebagai fotokatalis untuk degradasi zat warna metilen biru tanpa penambahan H_2O_2 .

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan dan karakterisasi nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C-dots}$ berbasis kulit nanas dengan *green synthesis*.
2. Mengetahui kemampuan fotokatalitik nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C-dots}$ dalam mendegradasi zat warna metilen biru menggunakan sinar UV.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Manfaat ilmiah

Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan tentang *green synthesis* nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C-dots}$ berbasis limbah kulit nanas sebagai fotokatalis ramah lingkungan untuk degradasi zat warna metilen biru.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini memberikan alternatif teknologi pengolahan limbah zat warna metilen biru yang efektif, efisien, dan ramah lingkungan. Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C-dots}$ yang dihasilkan diharapkan mampu menurunkan konsentrasi metilen biru secara signifikan, sehingga dapat menjadi solusi praktis dalam pengolahan limbah industri tekstil.

3. Manfaat Lingkungan

Pemanfaatan limbah kulit nanas sebagai bahan baku nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C}$ -dots dapat mendukung prinsip ekonomi sirkular dengan mengubah limbah organik menjadi material bernilai guna. Selain itu, penerapan fotokatalis ini dapat membantu menekan tingkat pencemaran lingkungan akibat pembuangan zat warna sintetis ke perairan, tanpa mengurangi produktivitas industri tekstil.