

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pemurnian air menjadi suatu tantangan lingkungan yang semakin serius dalam beberapa tahun terakhir akibat peningkatan limbah berbagai aktivitas industri dan keterbatasan air bersih (Mohamed dkk., 2025). Pencemaran air dipengaruhi oleh pertumbuhan populasi dan aktivitas industri yang terus meningkat yang menyebabkan penurunan kualitas air dan mengancam keberlanjutan lingkungan dan kesehatan manusia secara global (Nedelkovski dkk., 2025). Salah satu sumber utama pencemaran air yang banyak mendapat perhatian adalah limbah zat warna sintesis yang dapat berasal dari industri tekstil, kertas, kulit, plastik, dan farmasi. Zat warna sintesis umumnya memiliki struktur molekul yang kompleks dan stabil menyebabkan sulit untuk terdegradasi di lingkungan secara alami (Mohamed dkk., 2025). Senyawa ini bersifat toksik dan pada konsentrasi rendah mampu menurunkan kualitas perairan dengan menghambat penetrasi cahaya dan mengganggu kehidupan organisme perairan (Ali dkk., 2024).

Kristal violet (CV) merupakan salah satu zat warna kationik golongan trifenilmetana yang banyak digunakan dalam berbagai bidang industri dan medis. Namun, kristal violet diketahui memiliki ketahanan tinggi terhadap proses biodegradasi sehingga cenderung persisten di lingkungan perairan (Ali dkk., 2024). Keberadaan kristal violet dalam air limbah menimbulkan masalah karena bersifat toksik bagi organisme perairan dan berpotensi menimbulkan efek karsinogenik dan mutagenik pada manusia jika terpapar dalam jangka waktu yang panjang

(Mohamed dkk., 2025). Oleh karena itu, diperlukan metode pengolahan yang efektif untuk mengurangi sekaligus mendegradasi zat warna tersebut dari lingkungan perairan.

Berbagai teknik pengolahan, mulai dari adsorpsi, filtrasi membran, oksidasi kimia, hingga proses biologis, telah banyak dikembangkan dan populer diaplikasikan untuk mengurangi kandungan zat warna pada air limbah (Nedelkovski dkk., 2025). Dari sekian banyak alternatif tersebut, teknik adsorpsi mendominasi sebagai pilihan utama karena terbukti sangat efisien, praktis, dan memiliki mekanisme operasional yang tidak rumit.

Material berbasis kitosan banyak dimanfaatkan sebagai adsorben, karena keberadaan gugus amina amina ($-NH_2$) dan gugus hidroksil ($-OH$) yang mampu berinteraksi dengan berbagai polutan (Sirajudheen dkk., 2021). Gugus amina pada kitosan dapat terprotonasi dan berperan sebagai situs adsorpsi, sedangkan gugus hidroksilnya dapat berfungsi sebagai situs khelasi aktif terhadap zat warna (Hevira dkk., 2024). Selain itu, kitosan bersifat ramah lingkungan, biokompatibel, dan biodegradabel (Abouricha dkk., 2024).

Dalam berbagai aplikasi, kitosan banyak dimanfaatkan dalam bentuk membran karena kemampuannya membentuk struktur berpori dengan luas permukaan yang tinggi. Namun, membran kitosan memiliki beberapa kelemahan seperti kekuatan mekanik yang rendah dan kerapuhan yang tinggi sehingga membatasi penggunaannya (Mao dkk., 2019). Untuk mengatasi kelemahan tersebut, kitosan sering dimodifikasi dengan polimer sintesis seperti polivinil alkohol (PVA) untuk meningkatkan kekuatan mekanik, fleksibilitas, dan kestabilan membran

(Nathan dan Genasan, 2023). Kombinasi kitosan dan PVA menghasilkan membran dengan sifat yang lebih baik dan kemampuan adsorpsi yang efektif terhadap berbagai polutan, khususnya zat warna dalam air limbah (Mei dkk., 2019). Meskipun demikian, metode adsorpsi memiliki keterbatasan karena umumnya hanya memindahkan keberadaan polutan dari satu tempat ke permukaan adsorben (biasanya padatan) tanpa degradasi secara menyeluruh (Nedelkovski dkk., 2025).

Berdasarkan keterbatasan adsorpsi tersebut, metode fotokatalisis mulai banyak dikembangkan sebagai alternatif pengolahan limbah karena mampu mendegradasi senyawa organik berbahaya menjadi senyawa yang aman dan lebih sederhana melalui bantuan energi cahaya (Mohamed dkk., 2025). Fotokatalisis memiliki keunggulan dalam hal penggunaan biaya yang relatif rendah dan mudah dioperasikan (Aoudjit dkk., 2023). Selain itu, fotokatalisis dinilai sebagai pendekatan yang efektif dalam memanfaatkan energi matahari untuk mendegradasi polutan air sehingga berpotensi menjadi solusi utama dalam pengolahan air limbah yang ramah lingkungan (Wagh dkk., 2023). Kombinasi antara adsorpsi dan fotokatalisis dalam suatu membran menjadi pendekatan yang menjanjikan karena mampu mengadsorpsi sekaligus mendegradasi sehingga meningkatkan efisiensi pengolahan air limbah (Hir dkk., 2024).

Salah satu material semikonduktor yang banyak digunakan sebagai fotokatalis adalah seng oksida (ZnO). ZnO merupakan material yang relatif aman bagi lingkungan, murah, dan memiliki aktivitas fotokatalitik yang tinggi (Aoudjit dkk., 2023). ZnO memiliki energi celah pita (*band gap*) yang lebar, yaitu sebesar 3,2-3,37 eV. Hal ini menyebabkan ZnO mampu menyerap radiasi ultraviolet dengan

baik (Aoudjit dkk., 2023). Namun, nilai *band gap* yang besar menyebabkan ZnO kurang efektif bekerja di bawah cahaya tampak. Selain itu, laju rekombinasi pasangan muatan elektron-*hole* yang tinggi juga membatasi efisiensi fotokatalitik (Ivanova dkk., 2023). Untuk mengatasi kekurangan tersebut, berbagai modifikasi telah dilakukan, antara lain melalui doping logam seperti perak (Ag) (Hir dkk., 2024). Penambahan Ag pada ZnO diketahui mampu membentuk tingkat energi baru di dalam celah pita sehingga menurunkan nilai *band gap*. Penurunan *band gap* ini memungkinkan material ZnO:Ag menyerap cahaya pada wilayah sinar tampak. Selain itu, Ag juga berperan sebagai penangkap elektron dengan kemampuan menghambat rekombinasi pasangan elektron-*hole*, sehingga aktivitas fotokatalitik material menjadi lebih optimal (Hussain dkk., 2024).

Penelitian ini mempelajari pengaruh penambahan fotokatalis ZnO:Ag ke dalam membran kitosan-polivinil alkohol (PVA) terhadap efektivitas membran dalam mendegradasi zat warna kristal violet (CV). Penambahan fotokatalis ZnO:Ag diharapkan mampu meningkatkan kemampuan membran dalam mendekolorisasi zat warna kristal violet (CV) secara optimal.

I.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mensintesis dan mengkarakterisasi material ZnO:Ag.
2. Mensintesis dan mengkarakterisasi membran kitosan termodifikasi polivinil alkohol (PVA) dan ZnO:Ag.

3. Menentukan pengaruh variasi ZnO:Ag terhadap efektivitas membran Kitosan-PVA-ZnO:Ag dalam mendegradasi zat warna kirstal violet melalui mekanisme adsorpsi-fotokatalisis.