

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pencemaran air oleh limbah zat warna sintetik telah menjadi isu lingkungan global yang semakin mengkhawatirkan akibat meningkatnya aktivitas industri tekstil, percetakan, makanan, dan kosmetik (Chougale dkk., 2026). Zat warna sintetik banyak digunakan karena stabil terhadap sinar matahari, tahan lama, dan biaya produksi yang relatif rendah dibanding zat warna alami (Mulla dkk., 2024). Pada proses industri, diperkirakan ada sekitar 1-20% zat warna terbuang sebagai limbah selama pewarnaan, sehingga berkontribusi besar terhadap pencemaran lingkungan. Pada konsentrasi rendah (<1 ppm), zat warna dapat bersifat toksik, karsinogenik, dan non-*biodegradable* (Sahu dan Poler, 2024). Salah satu zat warna yang cukup banyak mendapat perhatian adalah pewarna kationik kristal violet, yang termasuk dalam golongan *triarylmethane* (TAM). Zat warna kristal violet (CV) banyak digunakan dalam industri tekstil, percetakan, kosmetik, dan sebagai indikator asam-basa, serta mudah terdeteksi secara spektrofotometri (Kaushik dkk., 2025). Namun, keberadaannya di lingkungan perairan sangat berbahaya karena memiliki sifat mutagenik dan karsinogenik, serta dilaporkan dapat menimbulkan efek tumorigenik pada organisme akuatik (Omer dkk., 2020).

Sampai saat ini, sudah digunakan berbagai metode konvensional seperti koagulasi, filtrasi, dan adsorpsi, untuk mengolah limbah pewarna. Pendekatan ini sering kali kurang efektif dalam menghilangkan zat warna secara menyeluruh karena umumnya hanya memisahkan atau memindahkan zat warna tanpa

mendegradasinya secara menyeluruh, dan dapat menghasilkan limbah sekunder yang menurunkan efisiensi pengolahan (Zhao dkk., 2023). Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan alternatif yang lebih efektif dan ramah lingkungan, salah satunya adalah kombinasi proses adsorpsi dan fotokatalisis. Adsorpsi berperan untuk mengakumulasi zat pencemar pada permukaan material, sedangkan fotokatalisis mampu mendegradasi senyawa organik kompleks menjadi produk akhir yang lebih sederhana dan tidak berbahaya (Miao dkk., 2026). Kombinasi kedua metode pendekatan ini dinilai lebih unggul karena mampu meningkatkan efisiensi pengolahan limbah.

Dalam pengembangan material adsorben-fotokatalis, penggunaan membran berbasis biopolimer menjadi perhatian karena ramah lingkungan, *biodegradable*, dan memiliki gugus aktif yang dapat berinteraksi dengan zat pencemar. Membran dapat berfungsi sebagai media untuk menangkap polutan zat warna melalui proses adsorpsi dan dengan adanya fotokatalisator sekaligus dapat dijadikan sebagai tempat berlangsungnya reaksi fotokatalisis yang menguraikan zat warna menjadi senyawa yang lebih sederhana dan tidak berbahaya (Zhang dkk., 2023). Hal ini meningkatkan efisiensi pengolahan limbah karena kedua proses berlangsung secara sinergis dalam satu sistem.

Kitosan merupakan salah satu biopolimer yang banyak digunakan sebagai membran karena memiliki gugus amina ($-NH_2$) dan hidroksil ($-OH$) yang aktif dalam proses adsorpsi (Billah dkk., 2025). Namun, kitosan memiliki kelemahan dalam stabilitas mekanik dan ketahanan terhadap air, sehingga perlu dilakukan modifikasi untuk meningkatkan sifat fisik kitosan sebagai membran. Karagenan,

sebagai polisakarida alami yang mengandung gugus sulfat ($-\text{OSO}_3^-$), dapat digunakan sebagai polimer anionik pembentuk kompleks polielektrolit dengan kitosan melalui interaksi elektrostatik, sehingga mampu meningkatkan stabilitas struktur membran sekaligus menyediakan tambahan situs aktif. Selain itu, polivinil alkohol (PVA) yang memiliki banyak gugus hidroksil ($-\text{OH}$) dapat meningkatkan kekuatan mekanik, fleksibilitas, hidrofilisitas, dan homogenitas membran melalui pembentukan ikatan hidrogen dengan kitosan dan karagenan. Kombinasi kitosan, karagenan, dan PVA diharapkan menghasilkan membran komposit dengan sifat fisik dan kimia yang lebih baik.

Untuk meningkatkan kemampuan degradasi zat warna, membran ini dimodifikasi dengan penambahan fotokatalisator titanium dioksida (TiO_2). Namun, TiO_2 murni memiliki keterbatasan karena hanya aktif pada sinar ultraviolet (Roy, 2022). Oleh karena itu, dilakukan doping nitrogen (N-TiO_2) untuk menurunkan *band gap* sehingga dapat aktif pada cahaya tampak (Kovalevskiy dkk., 2020). Imobilisasi N-TiO_2 pada membran bertujuan untuk mencegah aglomerasi partikel, meningkatkan luas permukaan aktif, dan mempermudah pemisahan dan penggunaan kembali material.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini berfokus pada sintesis membran kitosan yang dimodifikasi dengan karagenan melalui pembentukan kompleks polielektrolit dan dipadukan dengan PVA, serta dimodifikasi dengan N-TiO_2 sebagai material adsorben-fotokatalis. Diharapkan membran yang dihasilkan memiliki kemampuan optimal dalam proses adsorpsi dan fotokatalisis terhadap zat

warna kristal violet, sehingga dapat menjadi solusi alternatif yang efektif dan ramah lingkungan dalam pengolahan limbah cair.

I.2 Tujuan Penelitian

1. Mensintesis N-TiO₂ dan membran CS/CARR/PVA/N-TiO₂.
2. Memperoleh hasil karakterisasi N-TiO₂ dan membran CS/CARR/PVA/N-TiO₂.
3. Menentukan efektivitas kinerja membran CS/CARR/PVA/N-TiO₂ dalam mendegradasi zat warna kristal violet di bawah iradiasi cahaya tampak.