

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rhodamine B adalah salah satu pewarna sintetis tertua yang paling sering digunakan dari semua pewarna sintetis yang ada saat ini. *Rhodamine B* merupakan pewarna organik yang dapat larut dalam air yang digunakan dalam pewarnaan kain, zat pelacakan air, penanda fluoresen untuk mikroskopis, pengujian struktural, fotosensitizer, pewarna laser, dan pengolahan makanan. Saat ini penggunaan *Rhodamine B* pada makanan telah dilarang karena diklasifikasikan sebagai karsinogenik (Yahia *et al.*, 2013), namun bukti yang terbatas menunjukkan bahwa paparan kerja yang berulang atau dalam jangka panjang dapat menghasilkan efek kesehatan kumulatif yang melibatkan organ atau sistem biokimia. Ada beberapa bukti bahwa menghirup dan kontak kulit pada produk ini lebih mungkin menyebabkan reaksi sensitisasi pada beberapa orang dibandingkan dengan populasi umum (Chemwatch, 2010). Selain dengan manusia, *Rhodamine B* berbahaya bagi lingkungan akuatik dalam jangka panjang (Road & Lincolnshire, 2014). Secara umum, pewarna tidak beracun bagi lingkungan. Warna gelap dalam aliran air mengurangi penetrasi cahaya yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan berdampak pada bentuk-bentuk kehidupan liar lainnya, selain itu juga warna menyebabkan masalah estetika di sekitarnya (Gonçalves* *et al.*, 2000). *Rhodamine B* sulit untuk terurai secara alami, yang merupakan salah satu alasan mengapa *Rhodamine B* berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan yang sedang berlangsung (Mohod *et al.*, 2023). Pewarna dan bahan pembantu dalam pewarnaan

meningkatkan kandungan padatan terlarut total, kandungan padatan tersuspensi total dan juga kebutuhan oksigen kimia dan kebutuhan oksigen biologis dari limbah yang secara negatif mempengaruhi sistem ekologi perairan (Hassan & Carr, 2018).

Sebagian besar limbah warna susah untuk dihilangkan dengan pengolahan limbah biasa dikarenakan zat warna memiliki struktur aromatik kompleks yang tahan terhadap cahaya, aktivitas biologis, ozon, dan lingkungan lainnya yang degradatif (Bora & Mewada, 2016). Beberapa metode yang sering digunakan untuk degradasi limbah warna seperti koagulasi, perlakuan membran, proses oksidasi tingkat lanjut (AOP) dan adsorpsi (Pavithra *et al.*, 2019). Metode degradasi warna secara umum meliputi metode degradasi secara fisika, biologi dan kimia. Dalam metode fisika, proses pemisahan dengan memanfaatkan membran, *reverse osmosis* dan ultrafiltrasi dengan mikrofiltrasi membantu melepaskan zat warna dari molekul yang lebih besar di dalam air limbah. Proses-proses ini memiliki aplikasi terbatas karena melekat dengan keterbatasan, seperti biaya tinggi, penggunaan yang terbatas, peningkatan kadar garam dalam limbah materi, penggantian membran dan masalah yang terkait dengan pembuangan (Ahuja *et al.*, 2021). Proses biologis konvensional yang melibatkan penguraian mikrobiologis atau enzimatik dinyatakan tidak efektif untuk pengolahan warna sintetis yang bersifat bandel (Ajmal *et al.*, 2014). Proses oksidasi tingkat lanjut (AOP) menjadi metode kimia dan modern yang paling sering digunakan untuk pengolahan air dan degradasi warna. Dasar dari proses AOP adalah generasi spesies oksigen reaktif (ROS) yang sangat reaktif (terutama radikal hidroksil, $\cdot\text{OH}$), yang mampu bereaksi dengan berbagai senyawa, termasuk senyawa yang sulit untuk didegradasi, misalnya molekul pewarna (Bora & Mewada, 2016). Beberapa metode AOP memiliki

kelemahan yang signifikan, sehingga penggunaannya disesuaikan dengan kelemahan yang dimiliki. Metode reaksi fenton yang berpotensi membentuk lumpur besi karena flokulasi gabungan dari reagen dan senyawa organik. Metode ozonasi (O_3) memiliki kelemahan, yaitu kelarutan yang rendah dalam air, pembentukan produk sampingan yang berbahaya, khususnya, pembentukan bromat, dan peningkatan biaya energi (Brienza & Katsoyiannis, 2017).

Salah satu metode dari AOP yang sering digunakan adalah fotokatalisis heterogen yang bertujuan untuk mendegradasi polutan air, khususnya zat warna dalam air. Fotokatalisis merupakan proses perubahan laju reaksi kimia yang diinisiasi aktif di bawah radiasi *ultraviolet*, tampak, atau inframerah dalam keberadaan suatu zat, yaitu fotokatalis, yang menyerap cahaya dan terlibat dalam transformasi kimia dari pasangan reaksi. Fotokatalis adalah zat yang mampu menghasilkan reaksi kimia melalui penyerapan radiasi *ultraviolet*, tampak, atau inframerah, transformasi kimia dari pasangan reaksi, yang berulang kali masuk ke dalam interaksi kimiawi antara dan meregenerasi komposisi kimianya setelah setiap siklus interaksi tersebut (Augugliaro *et al.*, 2019). Pada umumnya penggunaan fotokatalis adalah untuk sterilisasi, pembersihan diri, konservasi dan penyimpanan energi *antifouling*, *antifogging*, penghilang bau, pemurnian udara, pengolahan air limbah, dll. Beberapa semikonduktor seperti V_2O_5 , ZnO , Fe_2O_3 , CdO , CdS , Al_2O_3 dan logam oksida lainnya mampu memfotokatalisis mineralisasi lengkap dari banyak polutan organik, seperti aromatik, haloalkana, insektisida, pestisida, pewarna, dan surfaktan (Ameta *et al.*, 2018). Salah satu semikonduktor yang sering digunakan dan telah menarik banyak perhatian penelitian saat ini ialah TiO_2 .

Titanium dioksida (TiO_2) menjadi salah satu fotokatalis yang paling diminati karena memiliki aktivitas fotokatalisis yang hebat, stabilitas kimia dan biologis, ketidaklarutan dalam air, tanpa penggunaan asam atau basa yang kuat, resistivitas terhadap korosi, tidak beracun, harga murah, dan lebih tersedia dibandingkan dengan oksida dan sulfida lainnya, serta bahan-bahan lain (Armaković *et al.*, 2023). Zinc Oksida (ZnO) dan TiO_2 memiliki karakteristik yang lebih baik dari oksida logam yang lain sebagai fotokatalis, terutama dalam stabilitas kimia dan sifat optik. TiO_2 banyak digunakan sebagai bahan fotokatalisis dan memiliki energi celah pita 3,2 eV dalam fase yang stabil (anatase). Fotoaktivitas dari TiO_2 lebih baik untuk mendegradasi polutan berdasarkan permukaan yang tinggi, tetapi memiliki mobilitas elektron yang lebih rendah dibandingkan dengan ZnO . Berdasarkan energi celah pita, baik ZnO maupun TiO_2 hanya responsif terhadap iradiasi sinar UV (Ramadhika *et al.*, 2022). TiO_2 adalah semikonduktor yang sifat fotokatalisisnya memburuk di bawah cahaya tampak. Beberapa kelemahan membatasi pemanfaatannya secara luas, karena memiliki celah pita yang lebar yaitu fase anatase (3,2 eV), TiO_2 hanya bisa menyerap di wilayah UV (*ultraviolet*) yang menyumbang 4% dari seluruh spektrum matahari, dan karena rekombinasi cepat yang diinduksi oleh foto pasangan e^-/h^+ , aspek rasio fotokatalisis TiO_2 sangat rendah (Wei *et al.*, 2023). Untuk mengatasi masalah ini, fotokatalis TiO_2 perlu dimodifikasi agar dapat aktif pada sinar tampak yang digunakan. Saat ini penelitian mengenai modifikasi fotokatalis TiO_2 pada sinar tampak telah banyak dilakukan sebelumnya.

Modifikasi fotokatalis TiO_2 yang umum dilakukan adalah fotosensitisasi permukaan semikonduktor, deposisi logam mulia pada permukaan semikonduktor,

doping logam/nonlogam, dan modifikasi semikonduktor kompleks (Zhang *et al.*, 2019). Modifikasi fotokatalis TiO₂ dengan doping dapat meningkatkan aktivitas fotokatalisis TiO₂ setelah diiradiasi dengan cahaya tampak. Aktivitas ini juga dipengaruhi oleh ion dopan karena dopan dapat bersifat interstisial, substitusi, atau keduanya dalam kasus penggabungan (Khlyustova *et al.*, 2020). Dalam penemuan beberapa tahun terakhir, doping elemen non-logam seperti S, N, B, I, F dan C pada TiO₂ berhasil memperluas rentang respons optik nano-TiO₂ ke daerah cahaya tampak (Li *et al.*, 2020). Doping karbon dapat menimbulkan peningkatan efisiensi penyerapan cahaya tampak dan sifat fotokatalisis TiO₂, yaitu dengan meningkatkan pita valensi dari TiO₂ dan mempersempit celah pita TiO₂ (Yang *et al.*, 2017). Berdasarkan perhitungan DFT (*Density Functional Theory*) dan beberapa penelitian eksperimental, doping karbon dapat sangat berpengaruh terhadap struktur elektronik material TiO₂ dengan mensubstitusi lokasi oksigen atau masuk ke posisi interstisial TiO₂, membentuk serangkaian keadaan terlokalisasi di celah pita dan mengakibatkan pergeseran tepi serapan ke arah daerah tampak. Karbon dan CQD (*Carbon Quantum Dots*) yang didoping dalam TiO₂ dapat menekan rekombinasi muatan dengan mentransfer elektron, yang memperpanjang masa pakai *hole* aktif (Ji *et al.*, 2017). Berdasarkan hasil penelitian Zhang *et al.*, (2017) bahwa fotokatalis SiO₂-TiO₂ yang didoping karbon dapat menguraikan 61,7% *Rhodamine B*, melebihi nilai (55,8%) untuk fotokatalis P₂₅. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Yang & Yang, (2018) film TiO₂ pada kolom kapiler dibuat dengan menggunakan tetrabutoxytitanium sebagai sumber TiO₂ melalui metode sol-gel, dilakukan pengujian pada larutan *Rhodamine B* 15 mg L⁻¹, efisiensi fotokatalisis degradasi yang didapatkan adalah 98,33% dalam 30 menit dengan kondisi optimal.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Aulia & Sanjaya, (2023), mengenai degradasi *Rhodamine B* dengan menggunakan TiO_2 sebagai katalis secara fotosonolisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu optimum untuk mendegradasi *Rhodamine B* adalah 210 menit dengan persentase degradasi sebesar 95,39%, sedangkan pengaruh penambahan massa katalis TiO_2 , massa optimum TiO_2 adalah 0,05 gram, dengan persentase degradasi sebesar 93,44%. Maka dari itu, penelitian ini akan menggunakan TiO_2 dengan karbon sebagai doping untuk meningkatkan kinerja fotokatalis di bawah sinar tampak dalam mendegradasi zat warna *Rhodamine B*.

1.2 Pembatasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Jenis sinar yang digunakan untuk proses degradasi zat warna *Rhodamine B* adalah *ultraviolet* (UV), tampak, dan matahari.
2. Proses degradasi zat warna *Rhodamine B* selama 6 jam sesuai dengan waktu keberadaan sinar matahari.

1.3 Perumusan Masalah

Ditinjau dari latar belakang yang telah dipaparkan, adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimanakah karakteristik fotokatalis TiO_2 yang dimodifikasi dengan karbon ?

2. Bagaimanakah pengaruh jenis sinar, pH, konsentrasi dan waktu reaksi terhadap efisiensi fotodegradasi zat warna *Rhodamine B* yang menggunakan TiO_2 termodifikasi karbon ?

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis karakteristik fotokatalis TiO_2 yang dimodifikasi dengan karbon.
2. Menganalisis pengaruh jenis sinar, pH, konsentrasi dan waktu reaksi terhadap efisiensi fotodegradasi zat warna *Rhodamine B* yang menggunakan TiO_2 termodifikasi karbon.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan ini sangat berpengaruh, terutama dalam poin-poin berikut.

1. Mengembangkan ilmu pengetahuan mengenai fotokatalis TiO_2 termodifikasi karbon agar bersifat aktif di bawah sinar tampak.
2. Memberikan pengetahuan kepada masyarakat dan pengusaha industri mengenai dampak zat warna *Rhodamine B* dan pengolahannya menggunakan fotokatalis TiO_2 .