

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri tekstil merupakan salah satu sektor strategis yang berperan penting dalam perekonomian global, termasuk di Indonesia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS 2023), industri tekstil dan produk tekstil (TPT) memberikan kontribusi signifikan terhadap ekspor dan penyerapan tenaga kerja¹. Namun, di balik kontribusi ekonominya, industri ini juga menjadi salah satu sumber pencemaran lingkungan terbesar. Salah satu limbah utama yang dihasilkan adalah limbah cair mengandung zat warna sintesis, yang dikenal sulit terurai di lingkungan. Menurut laporan *World Bank* (2019), sekitar 17–20% pencemaran air di dunia berasal dari limbah tekstil. Di Indonesia, pesatnya pertumbuhan industri tekstil tidak diimbangi dengan pengolahan limbah yang memadai, sehingga zat warna kerap terbuang langsung ke perairan².

Zat warna sintesis seperti *Remazol Brilliant Blue R (RBBR)* dan *Procion Red* banyak digunakan dalam proses pewarnaan tekstil karena memiliki sifat tahan luntur, kestabilan terhadap cahaya, dan daya ikat tinggi³. Namun, keunggulan ini justru menjadi masalah lingkungan karena kedua zat warna tersebut bersifat toksik, mutagenik, dan sulit terdegradasi⁴. Keberadaan zat warna dalam perairan dapat mengurangi penetrasi cahaya matahari, mengganggu fotosintesis organisme akuatik, serta menurunkan kualitas ekosistem perairan karsinogenik⁵.

Salah satu cara yang dapat diterapkan untuk menghilangkan zat warna sintesis adalah melalui metode *Advanced Oxidation Processes (AOPs)*. AOPs merupakan proses yang menghasilkan dan memanfaatkan radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) sebagai oksidator kuat untuk menguraikan senyawa-senyawa yang tidak dapat dioksidasi menggunakan oksidator konvensional, seperti oksigen, ozon, maupun klorin. Adapun beberapa metode yang termasuk dalam AOPs antara lain fotolisis, ozonolisis, dan sonolisis⁶. Fotolisis menjadi salah satu metode yang paling umum digunakan dalam degradasi polutan organik menjadi senyawa sederhana seperti karbon dioksida dan air. Keunggulannya ialah dapat memanfaatkan sinar matahari tanpa memerlukan bahan kimia berbahaya. Akan tetapi, efektivitasnya masih rendah karena hanya sebagian kecil senyawa yang dapat terurai, serta sering meninggalkan produk samping berbahaya⁷.

Untuk meningkatkan efisiensi proses ini, digunakan metode fotokatalisis, yaitu degradasi senyawa dengan bantuan cahaya dan katalis. Katalis adalah zat yang mempercepat atau memperlambat laju reaksi kimia tanpa mengalami perubahan permanen. Dalam fotokatalisis, katalis berperan meningkatkan pembentukan radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$)⁸. Beberapa katalis yang umum digunakan dalam fotokatalisis antara lain TiO_2 , CuO , dan ZnO . TiO_2 merupakan salah satu katalis yang baik karena memiliki aktivitas katalitik tinggi serta mampu menyerap cahaya dalam rentang spektrum lebih luas dibandingkan semikonduktor lainnya. Karakteristik ini didukung oleh band gap yang relatif rendah, sehingga memudahkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dengan energi yang lebih kecil. Efisiensi katalis dapat ditingkatkan dengan bantuan material

pendukung seperti zeolit, yang memiliki struktur berpori khas dan seragam, sehingga mempercepat proses degradasi polutan organik secara efektif dan efisien. Selain itu, Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air mewajibkan industri mengolah limbah sebelum dibuang ke badan air. Hal ini menegaskan perlunya teknologi pengolahan limbah yang efektif, ekonomis, dan berkelanjutan⁸.

Titanium dioksida (TiO_2) merupakan salah satu fotokatalis yang banyak digunakan karena sifatnya yang stabil, tidak beracun, dan memiliki aktivitas fotokatalitik tinggi⁹. Namun, penggunaan TiO_2 dalam bentuk serbuk sering menimbulkan kesulitan pada proses pemisahan setelah reaksi. Untuk mengatasi hal ini, TiO_2 perlu didukung oleh material berpori seperti zeolit. Zeolit berfungsi sebagai pendukung (*support*) karena memiliki luas permukaan besar, stabilitas termal baik, dan kemampuan adsorpsi tinggi, sehingga TiO_2 terdispersi secara merata ke permukaan zeolit dan meningkatkan persen degradasi¹⁰.

Penelitian sebelumnya membuktikan bahwa integrasi adsorben dan fotokatalis dapat mempercepat pengolahan limbah zat warna⁹. Namun, kajian mengenai fotodegradasi campuran zat warna reaktif seperti *Remazol Brilliant Blue R (RBBR)* dan *Procion Red* menggunakan katalis TiO_2 /Zeolit masih terbatas, padahal kondisi limbah nyata umumnya berupa campuran berbagai zat warna. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada pemanfaatan TiO_2 /zeolit sebagai fotokatalis untuk mendegradasi campuran zat warna *Remazol Brilliant Blue R (RBBR)* dan *Procion Red* melalui proses fotolisis pada kondisi simulasi limbah campurannya. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif metode pengolahan limbah yang lebih efektif dan ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi optimum degradasi zat warna *Remazol Brilliant Blue R (RBBR)* dan *Procion Red* serta berapa persen degradasi zat warna menggunakan katalis TiO_2 /Zeolit melalui variasi waktu fotolisis, massa katalis, konsentrasi awal, dan volume larutan?
2. Berapa perbandingan persen degradasi zat warna *Remazol Brilliant Blue R (RBBR)* dan *Procion Red* menggunakan katalis TiO_2 /Zeolit, TiO_2 murni, zeolit murni, dan tanpa katalis, serta bagaimana pengaruh penyinaran UV terhadap persen degradasinya?
3. Bagaimana kestabilan struktur gugus fungsi dan fase kristal katalis TiO_2 /Zeolit sebelum dan sesudah proses degradasi, baik pada kondisi dengan maupun tanpa penyinaran UV, berdasarkan karakterisasi FTIR dan XRD?

1.2. Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan kondisi optimum degradasi berdasarkan persen degradasi zat warna *Remazol Brilliant Blue R (RBBR)* dan *Procion Red* menggunakan katalis TiO_2 /Zeolit melalui variasi waktu fotolisis, massa katalis, konsentrasi awal, dan volume larutan.

2. Membandingkan persen degradasi zat warna *Remazol Brilliant Blue R (RBBR)* dan *Procion Red* menggunakan katalis $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$, TiO_2 murni, zeolit murni, dan tanpa katalis, serta mengkaji pengaruh penyinaran UV terhadap persen degradasinya.
3. Menganalisis kestabilan struktur katalis $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ sebelum dan sesudah proses degradasi berdasarkan hasil karakterisasi FTIR dan XRD.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah terkait mekanisme fotodegradasi zat warna azo dan antrakuinon menggunakan katalis $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$, khususnya pada sistem campuran dua jenis zat warna, serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya terkait pengembangan katalis komposit berbasis material alam sebagai fotokatalis ramah lingkungan. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif metode pengolahan limbah cair industri tekstil yang mengandung campuran zat warna, sehingga dapat membantu menurunkan tingkat pencemaran zat warna sintetis di lingkungan perairan serta mendukung upaya pengelolaan limbah tekstil yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

