

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran limbah cair tekstil merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang terus meningkat seiring dengan berkembangnya industri tekstil. Limbah cair tekstil umumnya mengandung berbagai senyawa organik, terutama zat warna sintetis yang memiliki struktur kimia kompleks sehingga sulit terdegradasi secara alami. Pembuangan limbah zat warna tanpa pengolahan yang memadai dapat menurunkan kualitas badan air, menghambat penetrasi cahaya ke dalam perairan, mengganggu proses fotosintesis organisme akuatik, serta menimbulkan dampak toksik terhadap ekosistem dan kesehatan manusia (Cardoso et al., 2011). Salah satu zat warna sintetis yang banyak digunakan dalam perusahaan tekstil adalah *Remazol Black B* (RBB), yaitu pewarna azo anionik yang diaplikasikan pada proses pewarnaan kain katun, sutra, wol, dan batik. Senyawa ini memiliki struktur kimia yang kompleks dengan ikatan azo ($-N=N-$) serta gugus reaktif yang memberikan kestabilan tinggi terhadap cahaya, panas, dan proses pencucian sehingga menghasilkan warna yang kuat dan tahan lama pada serat tekstil (G. B. Singh et al., 2024). Walaupun memiliki berbagai keunggulan, akumulasi zat warna *Remazol Black B* dalam limbah berpotensi menimbulkan risiko terhadap kesehatan manusia karena senyawa ini bersifat toksik, karsinogenik, dan mutagenik (Sai et al., 2023). Selain itu, keberadaan *Remazol Black B* pada lingkungan dapat menurunkan kualitas air, memengaruhi organisme akuatik, serta berpotensi memasuki rantai makanan (Liu et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan teknik pengolahan limbah yang mengandung zat warna sintetis untuk mengurangi dampaknya terhadap kesehatan dan lingkungan.

Berbagai metode pengolahan zat pewarna *Remazol Black B* telah banyak dilaporkan, seperti koagulasi, presipitasi, adsorpsi, dan elektrokimia. Akan tetapi, metode yang dipilih sangat ditentukan oleh karakteristik dari zat warna itu sendiri. *Remazol Black B* memiliki sifat fotostabil, tahan terhadap suhu tinggi, serta resisten terhadap biodegradasi sehingga diklasifikasikan sebagai polutan organik refraktori. Sifat tersebut menyebabkan *Remazol Black B* sulit diuraikan melalui proses konvensional. Penelitian oleh Ismail dan Sakai (2022) menyebutkan bahwa metode, seperti koagulasi, presipitasi, dan adsorpsi cenderung hanya

memindahkan zat warna ke bentuk padatan dan tidak menjamin mineralisasi sempurna sehingga metabolit berbahaya masih dapat tersisa dan mencemari lingkungan (Ismail & Sakai, 2022).

Salah satu cara untuk mengatasi pencemaran lingkungan terutama limbah zat warna adalah *Advanced Oxidation Processes* (AOPs), salah satunya melalui proses fotokatalisis yaitu melalui degradasi dengan memanfaatkan energi cahaya dan katalis untuk menginisiasi reaksi oksidasi–reduksi sehingga mampu memineralisasi senyawa organik kompleks menjadi produk akhir yang tidak berbahaya. Secara prinsip, proses fotokatalitik melibatkan eksitasi elektron dari pita valensi (*valence band*) menuju pita konduksi (*conduction band*) pada material semikonduktor ketika terpapar energi cahaya yang cukup, seperti sinar UV atau cahaya tampak. Perpindahan elektron ini menghasilkan pasangan *electron-hole* (e^-/h^+) yang berperan penting dalam reaksi degradasi. Elektron yang tereksitasi akan mereduksi oksigen terlarut (O_2) membentuk radikal superoksida ($\bullet O_2^-$), sedangkan *hole* yang terbentuk akan mengoksidasi molekul air (H_2O) atau ion hidroksida (OH^-) untuk menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet OH$). Kedua spesies reaktif ini merupakan oksidator kuat yang mampu memutus ikatan kimia dalam molekul zat warna, menghancurkan struktur aromatikanya, dan dapat mengurai zat warna menjadi senyawa anorganik sederhana yang lebih aman terhadap lingkungan (Alahmad et al., 2024).

Pemilihan material katalis merupakan aspek penting untuk mengoptimalkan reaksi degradasi zat warna. Material yang dapat dikembangkan sebagai katalis harus memiliki energi celah pita (*band gap*) yang optimal untuk memungkinkan eksitasi elektron di bawah energi cahaya yang tersedia, serta memiliki kemampuan untuk menekan laju rekombinasi pasangan *electron-hole* sehingga meningkatkan partisipasi muatan dalam pembentukan spesies radikal aktif (B. Li et al., 2025). Selain itu, material katalis juga harus memiliki stabilitas kimia dan fotokimia yang tinggi, luas permukaan aktif yang besar, serta kemampuan adsorpsi yang kuat terhadap molekul polutan agar proses degradasi berlangsung lebih efisien dan berkelanjutan (Navı & Hidalgo, 2020). Di antara berbagai jenis semikonduktor yang telah dikembangkan, titanium dioksida (TiO_2) dan seng oksida (ZnO) memiliki karakteristik yang unggul, seperti sifat

optoelektronik dan kestabilannya yang tinggi sehingga banyak dimanfaatkan dalam aplikasi fotokatalitik.

Titanium dioksida (TiO_2) merupakan material katalis yang sangat stabil, tidak beracun, serta memiliki aktivitas oksidatif tinggi. Struktur kristal TiO_2 umumnya berupa anatase atau campuran anatase–rutile memberikan kemampuan fotokatalitik yang efisien dalam memproduksi radikal hidroksil. Namun, keterbatasannya terletak pada aktivitasnya yang hanya efektif di bawah sinar UV karena celah pita energi yang relatif besar ($\sim 3,2$ eV) dan luas permukaannya yang rendah (Nor et al., 2022). Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, TiO_2 dikombinasikan dengan material berpori, seperti zeolit. Zeolit berfungsi meningkatkan luas permukaan aktif, memperbaiki dispersi partikel TiO_2 , mengurangi rekombinasi pasangan *electron-hole*, serta meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap molekul polutan. Zeolit merupakan aluminosilikat kristalin yang tersusun atas tetrahedra SiO_4 dan AlO_4 yang saling berikatan membentuk kerangka tiga dimensi berpori. Bentuk kerangka yang teratur dengan rongga yang saling berhubungan ke segala arah menyebabkan permukaan zeolit sangat besar. Hasil penelitian oleh Guesh et al., (2016) menunjukkan bahwa kemampuan degradasi fotokatalitik TiO_2 murni terhadap zat warna metil orange hanya sebesar 49% dan mengalami peningkatan mencapai hingga 84% setelah dikombinasikan dengan zeolit (Guesh et al., 2016).

Selain itu, material ZnO juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan katalis karena mampu menyerap sinar UV secara efektif serta aktif dalam degradasi senyawa organik kompleks. ZnO merupakan semikonduktor yang memiliki celah pita hampir setara dengan TiO_2 ($\sim 3,2$ eV), mobilitas elektron yang tinggi, dan kemampuan menghasilkan radikal aktif secara efisien. Namun, ZnO memiliki kelemahan berupa kecenderungan mengalami fotokorosi pada kondisi tertentu sehingga stabilitasnya lebih rendah dibandingkan TiO_2 . meskipun rentan terhadap fotokorosi pada kondisi lembap atau pH ekstrem. Kendala tersebut dapat diminimalkan dengan mendukung ZnO pada zeolit yang bersifat inert dan memiliki kapasitas adsorpsi tinggi terhadap molekul *Remazol Black B*, tetapi studi yang membandingkan kemampuan degradasi fotokatalitik material TiO_2 /zeolit dan ZnO/zeolit terhadap zat warna *Remazol Black B*, khususnya pada aplikasi

limbah cair tekstil nyata, masih sangat terbatas dan belum banyak dilaporkan. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini telah dilakukan untuk membandingkan kemampuan degradasi *Remazol Black B* menggunakan $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ dan ZnO/zeolit secara fotolisis serta mengaplikasikan kondisi optimum pada limbah cair tekstil. Hasil degradasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan FTIR, sedangkan karakterisasi katalis menggunakan FTIR, XRD, dan SEM-EDX.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kondisi optimum dan perbandingan degradasi zat warna *Remazol Black B* menggunakan $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ dan ZnO/zeolit secara fotolisis?
2. Bagaimana model kinetika degradasi *Remazol Black B* menggunakan katalis $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ dan ZnO/zeolit ?
3. Bagaimana kemampuan katalis $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ dan ZnO/zeolit pada kondisi optimum dalam mendegradasi *Remazol Black B* pada limbah cair tekstil?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan kondisi optimum dan perbandingan degradasi zat warna *Remazol Black B* menggunakan $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ dan ZnO/zeolit secara fotolisis
2. Menganalisis model kinetika degradasi *Remazol Black B* menggunakan katalis $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ dan ZnO/zeolit .
3. Menentukan kemampuan katalis $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ dan ZnO/zeolit pada kondisi optimum dalam mendegradasi *Remazol Black B* pada limbah cair tekstil.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan material katalis $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ dan ZnO/zeolit untuk pengolahan limbah zat warna sintetis. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar dalam pemilihan katalis yang lebih optimal untuk degradasi *Remazol Black B* (RBB), serta menjadi alternatif teknologi pengolahan limbah cair industri tekstil yang efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.