

BAB I.

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Industri tekstil diketahui mengonsumsi 1000 dari 100.000 jenis zat warna yang disediakan secara komersial. Dilaporkan 700.000 hingga 800.000 ton zat warna dengan 100.000 komponen senyawa yang berbeda diproduksi di seluruh dunia per tahunnya (Fito *dkk.*, 2023). Dalam industri tekstil, sekitar 10-15% zat warna atau 750.000 ton limbah dibuang sebagai limbah selama proses pewarnaan karena ketidakmampuannya berikatan secara kuat dengan serat kain (Prajaputra *dkk.*, 2019). Zat warna, salah satunya metilena biru, susah untuk dihilangkan karena ukuran molekul dan keberadaan cincin aromatik yang mempersulit degradasi oleh mikroba aerobik maupun anaerobik (Mashkoo dan Nasar, 2020, Turp *dkk.*, 2020).

Proses oksidasi maju (*advanced oxidation process*, AOP) menjadi salah satu metode efektif pengurangan senyawa organik seperti zat warna dari limbah industri, melalui pemecahan struktur organik oleh radikal hidroksil atau spesies oksigen reaktif (ROS) yang dihasilkan oleh proses oksidasi, mineralisasi, dan memungkinkan perubahan polutan menjadi produk non-toksik (Garrido-Cardenas *dkk.*, 2019, Saravanan *dkk.*, 2022). Ketika AOP dilakukan sebagai penanganan limbah tersier, radikal OH dihasilkan secara *in situ* melalui berbagai prosedur, termasuk pencampuran agen pengoksidasi, *ultrasound*, iradiasi ultraviolet dan katalis. Katalis yang paling sering dilibatkan dalam mekanisme AOP adalah titanium dioksida (TiO₂). Partikel TiO₂ menghasilkan radikal OH ketika teradiasi sinar ultraviolet akibat adanya eksitasi elektron dan pembentukan lubang/jarak pada

pita valensi. Meskipun demikian, pemulihan dan penggunaan kembali suspensi TiO_2 setelah prosedur sulit dilakukan dan mahal (Garrido-Cardenas *dkk.*, 2019).

Sebagai alternatif, digunakan oksida besi sebagai katalis bebas dalam pembentukan radikal OH melalui proses Fenton. Reaksi Fenton didasarkan pada pembentukan radikal bebas akibat oksidasi senyawa organik dan dekomposisi H_2O_2 terkatalisasi Fe^{2+} (Kastanek *dkk.*, 2023). Bentuk modifikasi reaksi Fenton dilakukan dengan iradiasi sinar ultraviolet yang meningkatkan laju reduksi ion Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} (Kastanek *dkk.*, 2023). Meskipun proses Fenton telah banyak dikaji, aplikasinya dalam penanggulangan air limbah secara nyata terbatas pada pH optimal 2.8 dengan kemungkinan pembentukan limbah tersier akibat keberadaan spesies Fe^{2+} terlarut yang sulit dipisahkan, sehingga penggunaan katalis heterogen kemudian diusulkan. Katalis heterogen dalam proses Fenton memungkinkan dilakukannya reaksi dalam pH netral dengan kemungkinan prosedur pemisahan katalis dari medium yang lebih efektif dan efisien. Komposit magnetit-zeolit telah dilaporkan menjadi salah satu katalis heterogen dalam reaksi foto-Fenton.

Penggabungan zeolit dan Fe_3O_4 dilaporkan meningkatkan efisiensi proses Fenton dikarenakan adanya stabilitas struktur, situs aktif asam/basa Lewis, dan memperluas situs kontak reaksi (Quynh *dkk.*, 2021). Zeolit A merupakan salah satu tipe zeolit rasio Si/Al rendah ($\text{Si/Al} = 1\text{-}2$) dengan kemampuan mekanis dan selektivitas yang baik (Antúnez-García *dkk.*, 2021). Tipe zeolit ini memiliki muatan negatif pada jaringannya yang memungkinkan adanya peningkatan kapasitas pertukaran ion dan berperan penting dalam proses adsorpsi dan separasi dalam pengolahan limbah, menjadikannya sebagai salah satu kandidat sempurna sebagai

penyusun komposit zeolit-magnetit (Xue *dkk.*, 2020). Akibat sifat magnetiknya, kombinasi zeolit dan magnetit dapat dengan mudah dipisahkan dari suatu larutan dengan keberadaan medan magnet (Maharana dan Sen, 2021). Hal ini tentunya meningkatkan kemampuan penggunaan kembali (*reusability*) katalis, memungkinkan pengolahan limbah zat warna dengan cepat dan tanpa menghasilkan polusi baru (Maharana dan Sen, 2021).

Secara tradisional optimasi dilakukan dengan pemantauan pengaruh dari satu faktor pada satu waktu terhadap respons eksperimental (*one factor at a time*, OFAT). Ketika nilai optimum dari salah satu faktor didapat, nilai faktor tersebut menjadi nilai tetap, sementara pengujian dilanjutkan untuk mengoptimalkan faktor lain hingga setiap variabel (faktor) mencapai nilai optimum. Hal ini berimbas pada peningkatan konsumsi waktu dan material (Taylor *dkk.*, 2023). Teknik optimasi OFAT sering kali tidak akurat dan tidak efisien, serta tidak mampu menjelaskan efek sinergis antar faktor yang digunakan (Taylor *dkk.*, 2023). Untuk mengatasi masalah ini, prosedur optimasi analitik baru dikembangkan dengan teknik statistik yakni *response surface methodology* (RSM).

Penelitian oleh Ozturk (2022) menggunakan metode ini sebagai sistem untuk memodelkan proses pengolahan air limbah dengan nanokatalis hibrid $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Mn}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{r-GO}$ melalui proses elektro Fenton heterogen dan berhasil didapatkan model yang secara valid memprediksi penurunan persentase COD (*chemical oxygen demand*) dengan reproduktibilitas yang baik Metode RSM juga dengan baik menunjukkan pengaruh variabel independen berupa pH, konsentrasi H_2O_2 , konsentrasi Fe^{2+} , waktu reaksi dan kecepatan pengadukan terhadap

persentase penghilangan COD melalui proses oksidasi Fenton pada penelitian yang dilakukan oleh Singa *dkk.* (2023). Mengkaji uraian sebelumnya, dalam penelitian ini dilakukan sintesis komposit Fe_3O_4 -zeolit sebagai katalis heterogen untuk mekanisme reaksi foto-Fenton dan melakukan optimasi kondisi dekolorisasi zat warna metilena biru melalui desain eksperimen berbasis metode RSM.

I.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan sebagai berikut

1. Memperoleh komposit Fe_3O_4 -zeolit sebagai katalis dan mendapatkan data karakterisasi komposit hasil
2. Menentukan kondisi optimal dekolorisasi metilena biru terkatalisasi komposit Fe_3O_4 -zeolit melalui proses foto-Fenton berdasarkan desain RSM
3. Mendapatkan data studi kinetik dekolorisasi metilena biru, data kemampuan penggunaan kembali dan stabilitas komposit Fe_3O_4 -zeolit dalam proses foto-Fenton