

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan sumber daya esensial bagi kehidupan, tetapi ketersediaan air bersih semakin terancam oleh pencemaran, terutama dari limbah industri (Kishor *dkk.*, 2021). Salah satu jenis pencemaran yang menimbulkan kekhawatiran adalah limbah cair yang mengandung zat warna sintetis dari industri tekstil, kertas, kulit, dan farmasi (Oladoye *dkk.*, 2022). Zat warna seperti metilen biru (MB) merupakan pewarna yang dapat menimbulkan risiko kesehatan serius bagi manusia dan organisme akuatik (Sibhat *dkk.*, 2025). Zat ini memiliki kestabilan termal tinggi dan sulit terdegradasi secara biologis sehingga mencemari perairan serta membahayakan kesehatan manusia dan organisme lainnya (Mo *dkk.*, 2025).

Dampak negatif yang ditimbulkan oleh MB perlu diatasi dengan metode yang tepat untuk mengurangi kadar MB di lingkungan. Terdapat tiga klasifikasi metode untuk pengolahan limbah zat warna yaitu secara biologis, kimia, dan fisik (Shindhal *dkk.*, 2020). Metode pengolahan secara biologis seperti teknologi biodegradasi untuk dekolonisasi memiliki kekurangan, antara lain memerlukan lahan yang luas, sensitif terhadap perubahan harian yang mempengaruhi aktivitas mikroba, serta rentan terhadap racun kimia yang dapat membunuh mikroorganisme (Marzuki *dkk.*, 2021).

Pengolahan secara kimia meliputi penggunaan agen koagulan dan flokulan. Metode ini memiliki kekurangan yaitu biaya bahan kimia yang tinggi, serta adanya pengotor dalam jumlah besar sehingga berakibat pada biaya operasional yang tinggi (Koul *dkk.*, 2022). Metode pengolahan limbah secara fisik meliputi elektrolisis, osmosis balik, filtrasi membran dan adsorpsi. Metode fisik yang menjanjikan adalah adsorpsi, karena pengoperasiannya sederhana dan relatif murah untuk menghilangkan zat warna (Al-mahmodi *dkk.*, 2025).

Berdasarkan kajian berbagai metode menunjukkan bahwa adsorpsi merupakan metode yang efisien, murah, dan ramah lingkungan (Chen *dkk.*, 2021). Metode lain yang sesuai untuk mengatasi limbah MB adalah fotodegradasi. Fotodegradasi merupakan proses penguraian senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan sinar UV (Zakinah *dkk.*, 2024). Metode adsorpsi mampu menghilangkan polutan melalui interaksi permukaan, sedangkan fotodegradasi bekerja dengan memecah senyawa organik menjadi komponen yang lebih sederhana. Kedua metode ini memerlukan material dengan luas permukaan besar, distribusi pori teratur, serta kemampuan yang mendukung reaksi fotokatalitik. Karakteristik tersebut dapat diperoleh dari silika mesopori (Sun *dkk.*, 2025).

Silika mesopori (SiO_2) merupakan material yang memiliki luas permukaan tinggi serta stabilitas termal dan hidrotermal yang baik (Vu *dkk.*, 2019). Material SiO_2 mesopori terbukti memiliki efisiensi dalam adsorpsi secara signifikan, karena strukturnya yang berpori, luas permukaan yang tinggi, dan kemampuan daur ulangnya (Mane *dkk.*, 2022). Salah satu sumber SiO_2 alami yang potensial adalah sekam padi (kandungan SiO_2 90-98 %). SiO_2 alami dari sekam padi dikenal dengan istilah biosilika (Anggraini *dkk.*, 2022). Pemanfaatan biosilika dalam sintesis SiO_2 sejalan dengan prinsip keberlanjutan, karena mengurangi limbah pertanian dan menyediakan alternatif yang murah untuk bahan baku SiO_2 (Ijaz *dkk.*, 2025).

Surfaktan *cetyltrimethylammonium bromide* (CTAB) digunakan sebagai *template* pembentuk pori dalam sintesis SiO_2 mesopori (Ahmed, 2023). CTAB memiliki sifat menguntungkan seperti kemampuan pengumpulan yang baik, aktivitas permukaan yang kuat, dan kelarutan yang sangat baik (Yuan *dkk.*, 2024). Kelemahan dari SiO_2 mesopori adalah memiliki interaksi yang lemah dengan polutan organik sehingga perlu penambahan oksida logam seperti hematit (Fe_2O_3). Material Fe_2O_3 memiliki kestabilan yang baik sehingga penggunaannya luas dalam adsorpsi kontaminan (Salgado *dkk.*, 2024).

Aplikasi metode adsorpsi sebagaimana dilaporkan oleh Al-mahmodi *dkk.* (2025). Studi ini menyelidiki adsorpsi pewarna *Reactive Black 5*

menggunakan limbah cangkang telur yang didukung oleh Fe_2O_3 untuk mengevaluasi kapasitas adsorpsi. Hasil analisis menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum 250 mg/g untuk menghilangkan pewarna *Reactive Black* 5. Kelemahan dari penelitian ini adalah struktur cangkang telur tidak mesopori, sehingga memiliki luas permukaan terbatas. Penelitian ini tidak menggunakan variasi Fe sehingga tidak bisa mengevaluasi pengaruh Fe terhadap kinerja adsorpsi.

Penelitian dari Vu *dkk.* (2019), mengkaji penggunaan $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ mesopori dari sekam padi untuk proses *fenton-like* heterogen. Komposit $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ menunjukkan laju reaksi dan efisiensi degradasi tartrazin yang jauh lebih tinggi dibandingkan komposit lainnya yaitu yaitu 98,5 % dalam 80 menit. Kelemahan dari penelitian ini adalah tidak ada variasi Fe sehingga tidak diketahui pengaruh komposisi terhadap aktivitas katalitik.

Berdasarkan paparan kajian sebelumnya, penelitian ini mengusulkan pemanfaatan SiO_2 mesopori dari biosilika menggunakan *template* CTAB terimpregnasi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ untuk adsorben dan fotodegradasi zat warna. Penggunaan dua aplikasi tersebut bertujuan untuk mengembangkan material multifungsi serta untuk mengevaluasi fungsi dominan material tersebut. Variabel lain yang dikaji yaitu variasi Fe untuk mengetahui pengaruh Fe terhadap kinerja material. Variasi Fe yang tepat diharapkan mampu meningkatkan kinerja material, baik dari segi efisiensi penghilangan zat warna maupun stabilitas material di dalam air.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik material $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ mesopori dengan variasi Fe yang disintesis dari biosilika?
2. Bagaimana efektivitas adsorpsi dan fotodegradasi zat warna MB oleh material $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ dengan variasi Fe?
3. Model isoterm adsorpsi apakah yang sesuai dengan adsorpsi zat warna MB oleh material $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ dengan variasi Fe?
4. Bagaimana parameter termodinamika dari proses adsorpsi zat warna MB oleh material $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ dengan variasi Fe?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan karakteristik material $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ mesopori dengan variasi Fe yang disintesis dari biosilika.
2. Menentukan efektivitas adsorpsi dan fotodegradasi zat warna MB oleh material $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ dengan variasi Fe.
3. Menentukan model isoterm adsorpsi yang sesuai dengan adsorpsi zat warna MB oleh material $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ dengan variasi Fe.
4. Menentukan parameter termodinamika dari proses adsorpsi zat warna MB oleh material $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ dengan variasi Fe.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Kontribusi Ilmiah: Menyediakan pemahaman yang lebih baik tentang pengaruh Fe dan penggunaan *template* CTAB dalam sintesis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ mesopori untuk aplikasi adsorpsi.
2. Solusi Lingkungan: Memberikan solusi untuk mengatasi pencemaran air akibat zat warna dengan material adsorben yang efektif dan ramah lingkungan.
3. Pemanfaatan Limbah Pertanian: Mendorong pengelolaan limbah pertanian secara berkelanjutan dengan memanfaatkan sekam padi sebagai sumber silika.
4. Inovasi Teknologi: Memberikan wawasan bagi industri untuk mengembangkan teknologi pengolahan limbah yang lebih efisien dan sesuai dengan standar lingkungan.
5. Peningkatan Kualitas Air: Membantu dalam meningkatkan kualitas air limbah yang dibuang ke lingkungan, sehingga lebih aman bagi ekosistem.