

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Silika gel (SiO_2 amorf) merupakan suatu material yang dikenal luas karena kestabilan termal atau kimia, keberadaan gugus silanol ($\equiv\text{Si}-\text{OH}$) yang reaktif, luas permukaan besar, dan biaya relatif rendah sehingga sering dipilih sebagai matriks adsorben dan substrat untuk fungsionalisasi. Namun bentuk silika komersial atau alami tanpa modifikasi seringkali menunjukkan kapasitas adsorpsi yang terbatas terhadap beberapa polutan anionik karena permukaan netral atau negatif pada pH netral dan kurangnya situs muatan positif yang kuat untuk menarik anion (Zhang dkk., 2019). Silika menyediakan silanol yang dapat berinteraksi (*H-bond*, van der Waals), tetapi interaksi elektrostatik dengan anion sulfonat dari zat warna lemah pada pH di mana permukaan silika netral/negatif sehingga kapasitasnya rendah. Diperlukan modifikasi atau aktivasi untuk mengekstrak bentuk silika yang lebih reaktif, misalnya menggunakan prekursor Natrium silikat (Fadimatou dkk., 2025).

Congo red merupakan salah satu zat warna azo anionik yang digunakan dalam industri tekstil, kertas, dan percetakan karena memiliki kestabilan warnanya tinggi dan daya ikat yang baik terhadap serat. Struktur kimia *congo red* mengandung gugus azo ($-\text{N}=\text{N}-$) yang terkonjugasi dengan cincin aromatik serta gugus sulfonat ($-\text{SO}_3^-$) sehingga mudah larut dalam air dan bermuatan negatif. Stabilitas struktur aromatik terkonjugasi menyebabkan *congo red* sulit terdegradasi secara alami di lingkungan, sehingga sering terakumulasi dalam

limbah cair industri. Keberadaan *congo red* dalam perairan menjadi perhatian serius karena bersifat toksik dan berpotensi menimbulkan dampak negatif bagi organisme hidup. *Congo red* dapat mengalami reduksi menjadi senyawa aromatik amina yang bersifat karsinogenik dalam kondisi tertentu. Selain itu, *congo red* dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air sehingga mengganggu proses fotosintesis organisme akuatik. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengolah limbah yang mengandung *congo red* demi mengurangi dampak lingkungan dan risiko kesehatan (Simonescu dkk., 2021).

Rekayasa pori diperlukan untuk meningkatkan aksesibilitas molekul pewarna (ukuran molekul besar seperti *azo dyes*), mengatur ukuran pori & luas permukaan efektif sehingga kapasitas adsorpsi meningkat dan kinetika lebih cepat. Teknik *templating*, misalnya surfaktan kationik dapat membentuk pori yang terkontrol sehingga memfasilitasi difusi dan penempatan gugus fungsional. Fadimatou dkk. (2025) mensintesis material silika berbasis mesopori yang menggunakan pendekatan ramah lingkungan dan kemudian dimodifikasi dengan surfaktan kationik *Cetyltrimethylammonium bromide* (CTAB) untuk meningkatkan efisiensi adsorpsi zat warna dalam air dan dapat membentuk saluran atau mesopori yang terkontrol sehingga memfasilitasi difusi dan penempatan gugus fungsional. Selain itu CTAB menambah muatan permukaan positif pada rentang pH tertentu sehingga interaksi elektrostatik dengan anion pewarna meningkat. Kemudian dilakukan proses kalsinasi untuk menyisahkan *template* CTAB saja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur pori yang teratur pada permukaan material mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi secara

signifikan terhadap zat warna organik (Fadimatou dkk., 2025).

Selain rekayasa pori, peningkatan performa adsorpsi juga dapat dilakukan melalui penambahan gugus aktif fungsional pada permukaan silika. Salah satu biopolimer yang banyak diteliti untuk tujuan ini adalah kitosan, yang diperoleh dari deasetilasi kitin. Rafigh dan Heydarinasab (2017) mengembangkan komposit silika-kitosan sebagai adsorben untuk zat warna. Kitosan diimobilisasi pada permukaan silika untuk meningkatkan jumlah gugus aktif yang dapat digunakan untuk mengadsorpsi gas CO₂, kemudian diuji desorpsi sebagai siklus atau dapat digunakan kembali. Hasil menunjukkan bahwa penambahan kitosan dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi secara signifikan dibandingkan silika murni. Namun, peningkatan jumlah kitosan tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan kapasitas adsorpsi, karena pada konsentrasi atau jumlah tertentu kitosan dapat menutupi pori silika sehingga menghambat difusi molekul adsorbat. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat kondisi optimum dalam penambahan kitosan yang perlu ditentukan secara eksperimental.

Berdasarkan latar belakang yang ada, pengembangan adsorben berbasis silika mesopori yang dengan penambahan kitosan merupakan pendekatan yang meningkatkan efisiensi adsorpsi zat warna *congo red*. Namun, jumlah kitosan yang ditambahkan perlu diperhatikan agar tidak menyebabkan penutupan pori yang dapat menurunkan kinerja adsorben. Penelitian ini akan mengkaji dan menggabungkan 2 studi literatur di mana akan mensintesis silika gel yang dimodifikasi porinya menggunakan *Cetyltrimethylammonium Bromide* (CTAB) dengan pengaruh variasi kitosan sebagai agen penambah gugus aktif amina

sehingga diharapkan memiliki kapasitas adsorpsi yang besar untuk menyerap zat warna *congo red* dan dapat dilepaskan kembali melalui uji desorpsi.

I.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka tujuan penelitian ini yaitu:

1. Memperoleh adsorben dari sintesis silika gel dengan *template* pori CTAB dan penambahan gugus aktif amina kitosan.
2. Mengetahui pengaruh penambahan kitosan terhadap karakteristik hasil modifikasi silika mesopori, seperti perubahan gugus fungsi, dan morfologi permukaan.
3. Menguji kemampuan adsorpsi-desorpsi zat warna *congo red* dari silika-CTAB dan variasi silika-CTAB-kitosan terhadap kapasitas dan efisiensi uji adsorpsi dan desorpsi.