

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada awal abad ke-20, pewarna sintetis secara bertahap telah menggantikan pewarna alami dan memainkan peran dominan dalam bidang pewarnaan karena memiliki keunggulan dibandingkan pewarna alami, seperti sintesis yang lebih mudah, pewarnaan yang baik, tidak mudah memudar, dan aplikasi yang luas (Wu *et al.*, 2021). Setiap tahunnya, setidaknya ada sekitar 70 juta ton pewarna sintesis yang diproduksi di seluruh dunia (Al-Tohamy *et al.*, 2022). Industri-industri seperti tekstil, karet, plastik, percetakan, kain, kulit, pengolahan makanan, pencelupan, dan kosmetik merupakan beberapa industri yang menggunakan pewarna secara masif. Namun, masifnya penggunaan pewarna tidak diiringi dengan sistem pengolahan limbah yang mumpuni. Akibatnya, pewarna tercemar sebagai limbah buangan ke lingkungan. Pada industri-industri yang menghasilkan air limbah dalam jumlah besar, pewarna menjadi salah satu kontaminan utama yang terkandung dalam air limbah (Cho *et al.*, 2015). Oleh sebab itu, pencemaran air akibat pewarna menjadi salah satu permasalahan yang urgen dan terjadi hampir di seluruh dunia.

Lingkungan perairan yang terkontaminasi pewarna mudah dikenali karena visibilitas pewarna yang tinggi bahkan dalam konsentrasi serendah 1mg/L (Kołodziejńska *et al.*, 2017). Beberapa pewarna tidak terikat erat pada substrat sehingga dapat terbuang sebagai limbah bersama air ke lingkungan perairan seperti danau, sungai, atau laut. Keberadaan pewarna tekstil di lingkungan perairan akan meningkatkan kebutuhan oksigen biologis (BOD) dan oksigen kimiawi (COD) sehingga fungsi metabolisme fitoplankton dan tanaman air menjadi terganggu (Cho *et al.*, 2015). Selain itu, keberadaan pewarna juga menghambat pertumbuhan tanaman, berpotensi memasuki rantai makanan, menimbulkan bioakumulasi, serta berpotensi meningkatkan potensi efek toksisitas, mutagen, dan karsinogen pada organisme hidup (Mudhoo *et al.*, 2020).

Pewarna dapat dikelompokkan menjadi beberapa kategori berdasarkan asal, struktur, dan aplikasinya (Holkar *et al.*, 2016). Pewarna sintetis, seperti pewarna azo, pewarna langsung (substantif), pewarna reaktif, mordan (fiksatif), asam, basa, dispersi, dan pewarna sulfida merupakan jenis pewarna yang banyak digunakan

oleh industri tekstil. Metil jingga merupakan salah satu kelompok pewarna azo anionik yang banyak digunakan dalam industri tekstil, kertas, cat, percetakan, kulit, makanan, dan kosmetik (Madan *et al.*, 2019). Selain itu, metil jingga juga biasa digunakan sebagai indikator pH di laboratorium. Metil jingga diketahui memiliki stabilitas kimia yang tinggi dan tidak mudah terdegradasi oleh mikroorganisme sehingga mampu bertahan di lingkungan untuk waktu yang lebih lama. Masalah kesehatan yang dapat ditimbulkan metil jingga pada manusia seperti iritasi mata dan kulit, mual, diare dan iritasi saluran pernafasan (Nguyen *et al.*, 2018). Selain itu, metil jingga juga dilaporkan memiliki sifat mutagenik dan karsinogenik, serta berefek toksik terhadap organisme akuatik (Al-Tohamy *et al.*, 2022). Kelarutan air yang tinggi, stabilitas yang tinggi terhadap panas, suhu dan agen oksidasi membuat penghilangan pewarna dari sumber air menjadi hal yang urgen (Radoor *et al.*, 2021).

Pengolahan air limbah industri sangat bergantung pada proses pengolahan limbah yang dimediasi mikroba, tetapi efisiensinya terhadap penghilangan pewarna menurun karena sifat pewarna yang tidak mudah terdegradasi. Oleh sebab itu, beberapa teknik alternatif telah dikembangkan untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan kontaminan, seperti oksidasi, membran, pengolahan biologis, elektrokoagulasi, dan adsorpsi. Metode adsorpsi dianggap sebagai metode yang memiliki nilai lebih dibandingkan metode yang lain karena operasinya sederhana, ekonomis, dan cenderung tidak menghasilkan produk samping (Cho *et al.*, 2015). Studi lebih lanjut telah dilakukan untuk mengembangkan adsorben yang murah, tetapi memiliki tingkat efektivitas dan efisiensi yang tinggi, dan mampu digunakan dalam skala operasi yang lebih besar untuk menghilangkan pewarna.

Metode adsorpsi biasanya memanfaatkan penggunaan material berpori, seperti kerangka logam-organik (MOFs), karbon aktif, zeolit, saringan molekuler, silika mesopori, tanah liat, karbon berpori, polimer organik berpori (POP), atau oksida logam (MO) (Reddy *et al.*, 2021). Kriteria utama dari material adsorben yang lebih baik harus memiliki sifat-sifat seperti, luas permukaan spesifik yang lebih tinggi, selektivitas adsorpsi, kinerja adsorpsi, dan kestabilan tiap siklus yang lebih baik (Zeng *et al.*, 2022). Zeolit sebagai salah satu material berpori dianggap memiliki sifat-sifat tersebut. Zeolit memiliki struktur kristal tiga dimensi yang terdiri dari

tetrahedral  $AlO_4$  dan  $SiO_4$  yang membentuk sangkar dan saluran. Struktur kristal zeolit bersifat stabil, memungkinkan terjadinya pertukaran ion, dan mampu menampung molekul air, kation, atau molekul organik. Selain itu, zeolit juga memiliki porositas tinggi dan luas permukaan yang besar sehingga zeolit telah diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti katalisis, saringan molekuler, agen hemostatik, dan agen adsorpsi (Grela *et al.*, 2023). Pada dasarnya, zeolit digunakan sebagai material adsorben yang efektif karena tiga alasan utama, yaitu kemampuan pertukaran ion yang baik, karakteristik saringan molekulernya, dan dapat dibuat dengan menyesuaikan aplikasi yang diinginkan (de Araujo *et al.*, 2023).

Berdasarkan sumber asalnya, zeolit dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu zeolit alami dan zeolit sintetis. Perubahan dan proses geologis yang terjadi pada batuan di bawah kondisi hidrotermal merupakan faktor utama yang memicu pembentukan zeolit alam sedangkan zeolit sintesis biasanya dilakukan pada kondisi hidrotermal dalam lingkungan basa (Feng & Li, 2017). Pereaksi kimia, mineral lempung, mineral dari kelompok silika, dan produk samping dari pembakaran batu bara (abu terbang atau abu dasar) dapat digunakan sebagai bahan baku sintesis zeolit. Proses sintesis zeolit mengubah komposisi kimia dan mineral serta struktur prekursor untuk menyintesis material zeolit dengan sifat fisikokimia yang baru (Grela *et al.*, 2021).

Sintesis zeolit dalam kondisi laboratorium memiliki kelebihan dibandingkan zeolit alami karena kondisi sintesis dapat diatur untuk memperoleh material zeolit dengan struktur optimal untuk aplikasi tertentu. Penggunaan bahan kimia untuk sintesis zeolit dinilai membutuhkan biaya yang cukup besar dan relatif tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu, untuk mengurangi biaya produksi, prekursor yang digunakan untuk sintesis zeolit dapat berupa bahan mineral atau bahkan limbah (Grela *et al.*, 2021). Zeolit yang disintesis dari limbah industri tentunya menjadi material adsorben yang unggul karena sekaligus sejalan dengan produksi yang lebih bersih dan tujuan keberlanjutan.

Abu terbang adalah produk sisa yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga batu bara, yang produksinya mencapai beberapa juta ton setiap tahun di seluruh dunia sebagai konsekuensi dari globalisasi dan konsumsi energi harian yang tinggi. Tingkat produksi yang tinggi dan rendahnya upaya daur ulang telah menimbulkan

kekhawatiran mengenai pencemaran lingkungan dan konsekuensi terhadap kesehatan manusia yang timbul dari pembuangan limbah ini dalam skala besar (Park *et al.*, 2020). Komponen utama yang terkandung dalam abu terbang adalah  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , bersama dengan sejumlah kecil ion logam, oksida logam, dan produk fase amorf. Kandungan Si-Al pada abu terbang merupakan salah satu faktor utama mengapa abu terbang dapat dikonversi menjadi zeolit. Selain itu, abu terbang diketahui memiliki sifat stabilitas termal yang baik, porositas, sifat permukaan, dan sifat fisiokimia yang baik, yang merupakan sifat penting dari adsorben di samping menghemat biaya produksi karena abu terbang merupakan limbah (Rodwihok *et al.*, 2021).

Peningkatan kemampuan adsorpsi zeolit terhadap senyawa organik dan/atau anorganik yang terdapat di perairan dapat dilakukan dengan memodifikasi zeolit menggunakan berbagai spesi. Modifikasi zeolit untuk meningkatkan kemampuan adsorpsinya menggunakan spesi yang lebih ramah lingkungan memiliki keunggulan tersendiri. Di antara bahan-bahan tersebut, biomaterial memiliki kelebihan karena sifat biodegradabilitas, biokompatibilitas, aman, ramah lingkungan, dan relatif ekonomis. Salah satu jenis biomaterial yang cocok memenuhi kriteria tersebut adalah kitosan. Kitosan merupakan salah satu biopolimer unggulan karena memiliki kelebihan sifat kimia dan strukturnya sehingga kitosan dapat digunakan sebagai agen adsorpsi, agen hemostatik, agen pengikat silang, atau penghantar obat (de Araujo *et al.*, 2023). Namun, kitosan masih memiliki beberapa kekurangan, seperti mudah larut dalam asam sehingga menurunkan kestabilan, dapat membentuk koloid dengan air, memiliki sifat mekanik yang lemah, porositas rendah, sifat hidrofilik yang rendah, luas permukaan yang rendah, dan cenderung tidak dapat digunakan kembali (Saheed *et al.*, 2021).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memodifikasi zeolit dengan kitosan untuk mengadsorpsi pewarna metil jingga seperti pembentukan film kitosan-zeolit (Hussain *et al.*, 2021), komposit klinoptilolit kitosan termodifikasi surfaktan (Babazadeh *et al.*, 2021), dan sintesis kitosan/pva/zeolit (Habiba *et al.*, 2018). Namun, hingga penelitian ini dilakukan, setidaknya belum ditemukan penelitian yang membahas mengenai sintesis zeolit bubuk yang dimodifikasi kitosan tanpa melibatkan agen pengikat silang. Berdasarkan pemaparan tersebut, penelitian ini

dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh modifikasi kitosan terhadap kemampuan zeolit yang disintesis dari abu terbang dan aplikasinya untuk mengadsorpsi pewarna metil jingga.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana jenis dan struktur zeolit yang disintesis dari abu terbang?
2. Apakah modifikasi kitosan dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi zeolit?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui jenis dan struktur zeolit yang disintesis abu terbang.
2. Menentukan kemampuan adsorpsi dari zeolit yang tidak dimodifikasi dan zeolit yang dimodifikasi kitosan.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berkontribusi terhadap penambahan literatur pada topik yang berhubungan dengan kemampuan adsorpsi metil jingga dari zeolit berbasis abu terbang yang dimodifikasi kitosan.
2. Meningkatkan nilai guna dari limbah abu terbang dengan cara mengonversinya menjadi zeolit.
3. Hasil penelitian diharapkan mampu memberikan informasi mengenai potensi zeolit yang dimodifikasi kitosan terhadap kemampuan adsorpsi metil jingga.

### **1.5 Struktur Organisasi Skripsi**

Struktur penulisan skripsi terdiri dari lima bab utama, yaitu:

1. Bab 1 merupakan bagian pendahuluan yang berisi bagian latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan struktur skripsi.

2. Bab 2 merupakan bagian tinjauan pustaka yang berisi kajian literatur mengenai konsep dasar dan teori yang relevan dengan penelitian yang dilakukan.
3. Bab 3 merupakan bagian metode penelitian yang berisi tentang waktu dan lokasi penelitian, alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian, bagan alir penelitian, dan prosedur penelitian.
4. Bab 4 merupakan bagian hasil dan pembahasan yang berisi tentang data-data yang diperoleh selama penelitian dan analisis terhadap data-data yang dihasilkan.
5. Bab 5 merupakan bagian kesimpulan dan saran yang berisi tentang kesimpulan yang merupakan jawaban atas penelitian dan saran terhadap penelitian selanjutnya.