

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Setiap tahunnya dihasilkan sekitar 700 ribu ton pewarna secara global dengan total limbah yang dihasilkan dari berbagai industri penghasil dan pengguna pewarna sebanyak 3-4 ribu kilo ton secara global (Adesanmi *et al.*, 2022). Industri tekstil merupakan industri dengan penyumbang limbah pewarna terbesar, yaitu sebesar 54%, diikuti dengan industri pencelupan sebanyak 21% dan industri kertas dan *pulp* sebesar 10% (Katheresan *et al.*, 2018). Pembuangan limbah pewarna ke lingkungan dapat menyebabkan penurunan kualitas estetika air dan meningkatkan kebutuhan oksigen biokimia (BOD) dan kimiawi (COD), sehingga dapat berdampak pada proses fotosintesis, menghambat pertumbuhan tanaman, memasuki rantai makanan, dan berisiko meningkatkan toksisitas, mutagenisitas, serta karsinogenisitas (Mudhoo *et al.*, 2020). Beberapa macam pewarna sintetis yang banyak digunakan di industri tekstil diantaranya *xanthene*, *direct*, reaktif, mordan, dan azo (Al-Tohamy *et al.*, 2022). Salah satu jenis pewarna azo yang banyak digunakan dalam industri tekstil seperti dalam proses pewarnaan sutra dan wol yaitu pewarna *Eriochrome Black T* (Radoor *et al.*, 2020). Adanya gugus azo pada pewarna membuat senyawa tersebut memiliki kelarutan dalam air yang tinggi dan tidak mudah luntur, sehingga dapat terakumulasi sebagai limbah perairan (Ibraheem *et al.*, 2022). Selain pewarna *Eriochrome Black T*, pewarna lainnya yang banyak digunakan di industri tekstil adalah pewarna *Rhodamine B* sebagai pewarna kain. *Rhodamine B* diklasifikasikan ke dalam pewarna yang bersifat karsinogenik sehingga penggunaannya dilarang dalam pengolahan makanan (Al-Buriah *et al.*, 2022). Sifat karsinogenik pada *Rhodamine B* disebabkan karena adanya nireonium (N^+) dan klorin (Cl^-) yang sangat reaktif dan berbahaya (Laksmi *et al.*, 2018).

Sebagai upaya untuk menghilangkan cemaran pewarna dari limbah industri digunakan beberapa metode, diantaranya metode biologi seperti biodegradasi dan bioremediasi, metode kimiawi seperti koagulasi flokulasi, dan metode fisika seperti adsorpsi (Amodu *et al.*, 2015). Akan tetapi, beberapa metode memiliki kelemahan diantaranya metode biologi yang membutuhkan waktu lama atau proses penghilangan pewarna yang cukup lambat dan dipengaruhi oleh lingkungan serta metode koagulasi dan flokulasi yang mengonsumsi banyak bahan kimia (Moosavi *et al.*, 2020). Dibandingkan metode penghilangan limbah zat warna lainnya, metode adsorpsi mampu menghilangkan zat warna dengan baik tanpa menghasilkan produk samping yang tidak diinginkan, fleksibel, dan dapat memanfaatkan berbagai macam bahan sebagai adsorben (Moosavi *et al.*, 2020; Salimi *et al.*, 2020).

Material adsorben yang dapat digunakan dikategorikan menjadi adsorben alami seperti zeolit alam dan adsorben sintetis. Selain zeolit alami yang terbentuk di alam seperti batuan vulkanik dan sedimen, zeolit juga dapat disintesis dari berbagai sumber, termasuk sumber alami (Ho, 2022). Aplikasi zeolit sebagai material adsorben memberikan keunggulan, dimana zeolit memiliki sifat yang hidrofilik, struktur yang sangat berpori dan berongga, serta memiliki luas permukaan yang spesifik (Ho, 2022). Tidak hanya itu, zeolit juga memiliki kemampuan pertukaran ion dari aluminosilika memudahkan modifikasi sifat asam-basa, dan tekstur yang meliputi ukuran pori serta interaksinya dengan adsorbat (Pérez-Botella *et al.*, 2022a). Strukturnya berupa kristalin berpori, zeolit menjadi material yang potensial untuk adsorpsi. Struktur zeolit terdiri dari aluminosilikat yang berbentuk tertrahedral *corner-sharing* TO_4 (T bisa berupa Si ataupun Al) (Pérez-Botella *et al.*, 2022a).

Sintesis zeolit dapat bersumber dari bahan-bahan yang ekonomis, seperti produk samping industri. Salah satu material yang cukup potensial untuk digunakan sebagai sumber sintesis zeolit yaitu abu layang (*fly ash*) yang diketahui mengandung SiO_2 sebesar 41.17 hingga 77.10% dan Al_2O_3 17.71

hingga 34.48% (Kelechi *et al.*, 2022). Abu layang hadir sebagai produk samping pembakaran batu bara pada industri pembangkit listrik yang memberikan dampak buruk baik pada lingkungan perairan, udara, bahkan tanah jika tidak diberikan penanganan yang sesuai (X. Zhang *et al.*, 2022), sehingga pendayagunaan abu layang sebagai sumber material zeolit sintetis ini menjadi salah satu solusi pengolahan limbah yang ekonomis (Mokgehle *et al.*, 2019).

Pemanfaatan zeolit sebagai material adsorben untuk menghilangkan pewarna sudah dilakukan sebelumnya (C. X. Li *et al.*, 2020; Majid *et al.*, 2019; J. Zhang *et al.*, 2019). Namun, penggunaan zeolit memiliki kelemahan, dimana zeolit ini tidak bisa digunakan berulang atau tidak bersifat *reusable* dan sulit dipisahkan dari larutan. Separasi zeolit setelah proses adsorpsi limbah cukup menjadi tantangan. Beberapa solusi telah ditawarkan seperti filtrasi konvensional dan sedimentasi, tetapi kedua metode tersebut memiliki kelemahan, yaitu kurang efektif untuk menghilangkan partikel-partikel halus dari air limbah (Younas *et al.*, 2021).

Upaya yang dilakukan untuk mengatasi keterbatasan tersebut, yaitu dilakukan modifikasi dengan mengkompositkan zeolit dengan partikel magnetik, sehingga menjadi solusi menjanjikan (Younas *et al.*, 2021). Beberapa penelitian sebelumnya telah melakukan modifikasi magnetik pada zeolit pada berbagai aplikasi, salah satunya untuk penghilangan zat warna (Amodu *et al.*, 2015; F. Liu *et al.*, 2021; Salari *et al.*, 2021; Swistun *et al.*, 2024). Meskipun demikian, pada penelitian tersebut penggunaan komponen magnetik masih bersumber dari sumber magnetik komersial. Sementara itu, beberapa produk samping dari industri pertambangan atau pengolahan bahan tambang seperti limbah lumpur merah dinyatakan memiliki potensi besi oksida.

Diketahui bahwa dalam lumpur merah mengandung 6.8% hingga 49.9% Fe_2O_3 (Agrawal & Dhawan, 2021a). Komposisi besi pada lumpur merah

bervariasi bergantung pada metode pengolahan dan sumber bahan baku bauksit (X. F. Li *et al.*, 2023), yang mana lumpur merah ini merupakan produk samping dari proses pengolahan bauksit menjadi alumina (Agrawal & Dhawan, 2021a). Selain tinggi akan besi oksida, lumpur merah juga kaya akan silikat (SiO_2) dan aluminat (Al_2O_3). Dalam beberapa sumber dikatakan bahwa lumpur merah mengandung 13.2 hingga 22.6% alumina dan 3.0 hingga 23.8% silikat bergantung pada sumber bauksitnya (Agrawal & Dhawan, 2021a). Guna memaksimalkan pemanfaatan sumber daya yang berasal dari limbah lumpur merah, penggunaan besi oksida, aluminat, dan silikat sebagai sumber material tambahan dalam sintesis zeolit magnetik ini menjadi salah satu cara yang potensial.

Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan sintesis zeolit magnetik berbasis abu layang yang memanfaatkan limbah lumpur merah untuk adsorpsi pewarna *rhodamine b* dan *eriochrome black t*. Sintesis zeolit magnetik dilakukan menggunakan metode alkali fusi hidrotermal dengan memvariasikan waktu *aging* dan waktu perlakuan hidrotermal untuk mendapatkan zeolit magnetik dengan hasil terbaik. Dalam penelitian ini, waktu kontak dan pH optimal diselidiki melalui proses adsorpsi *rhodamine b* dan *eriochrome black t* oleh zeolit magnetik. Regenerasi dan mekanisme adsorpsi (model isoterm adsorpsi) zat warna oleh zeolit magnetik juga dipelajari.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, dapat dirumuskan beberapa permasalahan dalam penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana sintesis zeolit magnetik berbasis abu layang batu bara dan lumpur merah?
2. Bagaimana karakteristik zeolit magnetik hasil sintesis?
3. Bagaimana mekanisme adsorpsi pewarna *Rhodamine B* dan *Eriochrome Black T* oleh magnetik zeolit hasil sintesis?

4. Apakah zeolit magnetik hasil sintesis dapat digunakan berulang setelah adsorpsi *Rhodamine B* dan *Eriochrome Black T*?

1.3. Tujuan

Adapun, dari permasalahan yang telah dirumuskan, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mensintesis zeolit magnetik berbasis abu layang batu bara dan lumpur merah.
2. Mengkarakterisasi zeolit magnetik hasil sintesis.
3. Mempelajari mekanisme adsorpsi pewarna *Rhodamine B* dan *Eriochrome Black T* oleh zeolit magnetik hasil sintesis.
4. Meregenerasi zeolit magnetik setelah adsorpsi pewarna *Rhodamine B* dan *Eriochrome Black T*.

1.4. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini penulis mengharapkan manfaat, diantaranya:

1. Manfaat teoretis:
Mensintesis zeolit dari abu layang batubara dan lumpur merah menjadi zeolit magnetik sebagai alternatif material adsorben yang mudah, ekonomis, dan ramah lingkungan.
2. Manfaat praktis
 - a. Memanfaatkan limbah abu layang batu bara dari produk samping industri batu bara sebagai sumber material sintesis zeolit magnetik dengan metode alkali fusi hidrotermal.
 - b. Memanfaatkan limbah lumpur merah sebagai sumber material modifikasi dalam sintesis zeolit magnetik.
 - c. Mengurangi limbah pewarna *Rhodamine B* dan *Eriochrome Black T* menggunakan adsorben zeolit magnetik dengan biaya yang murah dan metode yang sederhana.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi dan terfokus pada sintesis dan karakterisasi zeolit magnetik dari limbah abu layang batubara dan lumpur merah menggunakan metode alkali-fusi hidrotermal. Karakterisasi zeolit magnetik dilakukan menggunakan XRD, FTIR, SEM-EDS, *Zeta Potensial Analyzer*, dan *Surface Area Analyzer* untuk mengetahui sifat fisik dan kimianya. Zeolit magnetik hasil optimasi digunakan sebagai adsorben pada studi adsorpsi pewarna *Rhodamine B* dan *Eriochrome Black T* dengan metode *batch*. Dilakukan optimasi pada pH dan variasi konsentrasi untuk mengetahui mekanisme adsorpsi melalui pemodelan isoterm adsorpsi. Kemampuan regenerasi adsorben dievaluasi melalui serangkaian siklus adsorpsi-desorpsi untuk mengetahui kemampuan penggunaan berulang.