

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa dekade terakhir, perkembangan industri di berbagai sektor telah menunjukkan peningkatan yang signifikan. Industri ini merupakan salah satu sektor yang memberikan kontribusi ekonomi yang besar di banyak negara, termasuk Indonesia. Namun, di balik pertumbuhannya yang pesat, Polusi pewarna merupakan ancaman lingkungan yang signifikan karena pelepasan pewarna dari industri tekstil, farmasi, dan berbagai industri lainnya dapat menyebabkan kontaminasi air yang parah (Aadil et al., 2021). Lebih dari 7 juta ton pewarna dilepaskan ke lingkungan setiap tahun dan masuk ke badan air (Yang et al., 2022). Limbah yang dihasilkan oleh industri ini mengandung berbagai bahan kimia berbahaya, termasuk zat pewarna sintesis yang sering digunakan. Pewarna-pewarna ini, seperti *congo red* (CR) dan metilen biru (MB), sering kali terlepas ke badan air tanpa pengolahan yang memadai, menyebabkan kerusakan ekosistem akuatik dan menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia (Neelgund & Oki, 2021; Zheng et al., 2020). Penelitian mengenai degradasi zat warna dengan bahan dasar karbon dari kayu menunjukkan bahwa bahan alami yang mengandung karbon dapat berinteraksi dengan molekul pewarna. Studi ini menunjukkan bahwa material alami memiliki potensi dalam pengolahan limbah cair industri (Fahira et al., 2025).

Pencemaran air akibat limbah industri, terutama yang mengandung zat pewarna organik, menjadi isu lingkungan yang mendesak. Pewarna sintesis seperti metilen biru (MB) dan *congo red* (CR) banyak digunakan dalam industri tekstil, farmasi, dan laboratorium, tetapi sifat kimianya yang stabil menyebabkan degradasi alami yang sulit di lingkungan perairan. Salah satu metode yang efektif dalam mengatasi permasalahan ini adalah dengan menggunakan material berbasis karbon, seperti grafit yang telah dieksfoliasi, yang memiliki luas permukaan tinggi dan sifat adsorptif yang unggul. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa eksfoliasi grafit natural mampu secara cepat dan efisien

mengadsorpsi berbagai jenis pewarna organik dalam larutan air, termasuk MB dan CR, dengan kapasitas adsorpsi yang tinggi dibandingkan dengan adsorben konvensional lainnya dengan efisiensi degradasi sebesar >85% untuk MB dan >95% untuk CR (Saikam et al., 2022)

Congo Red (CR) adalah pewarna yang banyak digunakan dalam industri tekstil, kertas, kulit, dan laboratorium sebagai indikator pH (Yakupova et al., 2019). Pewarna ini dikenal karena warnanya yang cerah dan stabilitas kimianya yang tinggi. Namun, stabilitas inilah yang membuat *congo red* sulit terdegradasi secara alami di lingkungan (Dustgeer et al., 2024). Ketika terlepas ke dalam air, *congo red* dapat menimbulkan masalah serius, termasuk menurunkan kualitas air dan menghambat fotosintesis organisme akuatik karena mengurangi penetrasi cahaya ke dalam air (Rind et al., 2024). Lebih jauh, *congo red* memiliki sifat mutagenik dan karsinogenik, yang berarti bahwa paparan jangka panjang terhadap pewarna ini dapat meningkatkan risiko kanker pada manusia dan hewan (Vairavel et al., 2023). Stabilitas dan toksisitas pewarna ini menjadikannya sebagai salah satu zat pencemar yang paling berbahaya di perairan yang tercemar limbah industri (Basit et al., 2024). Studi terbaru menunjukkan bahwa fotokatalis berbasis *reduced graphene oxide* dari grafit yang dimodifikasi dengan MIL-125(Ti) (RGO-MIL) memiliki efisiensi degradasi *congo red* sebesar 92,6% dalam waktu 180 menit di bawah cahaya tampak (Fatima et al., 2025)

Metilen biru (MB), di sisi lain, adalah pewarna organik dari kelompok thiazine yang digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam pengobatan medis, percobaan biokimia, dan industri tekstil (Qiang et al., 2022). Meski MB memiliki banyak manfaat, keberadaannya di dalam air limbah juga menimbulkan masalah lingkungan yang signifikan (Qiang et al., 2022). MB, seperti halnya *congo red*, juga sulit terdegradasi dan bersifat toksik terhadap mikroorganisme akuatik. Pewarna ini dapat menyebabkan perubahan warna pada air, mengurangi kualitas estetika, dan berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem akuatik. Bahkan pada konsentrasi rendah, MB dapat menyebabkan kerusakan seluler pada organisme air, dan paparan berulang dapat menyebabkan bioakumulasi yang berpotensi membahayakan rantai makanan (J.

Sharma et al., 2021; Valentini et al., 2023). Selain itu, penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa nanokomposit berbasis graphene oxide yang bahan dasar grafit yang dimodifikasi dengan magnesium hidroksida (GO/Mg(OH)₂) memiliki efisiensi tinggi dalam adsorpsi metilen biru hingga 97% dalam waktu 15 menit (Muadhif et al., 2025). Material ini tidak hanya menunjukkan kemampuan adsorpsi yang superior tetapi juga memiliki stabilitas yang tinggi, memungkinkan penggunaan berulang tanpa kehilangan efisiensi yang signifikan

Metode pengolahan limbah yang umum digunakan di berbagai industri sering kali tidak cukup efektif dalam mengatasi masalah pencemaran oleh zat pewarna ini. Teknik-teknik seperti koagulasi, flokulasi, dan dekomposisi hanya dapat menghilangkan sebagian besar bahan partikulat dari air, tetapi tidak mampu menghapus zat pewarna yang larut dengan efektif (Ihaddaden et al., 2022; SOUFI et al., 2023; Yadav et al., 2021) . Oleh karena itu, ada kebutuhan mendesak untuk mengembangkan metode pengolahan yang lebih efisien dalam mengatasi pencemaran oleh zat pewarna seperti *congo red* dan Metilen biru. Dua metode yang telah menarik perhatian banyak peneliti adalah adsorpsi dan fotokatalis (Dubey et al., 2024; Li et al., 2024; Mahich et al., 2024).

Adsorpsi adalah proses fisik di mana molekul zat terlarut menempel pada permukaan padatan, yang disebut adsorben (Liu et al., 2023) . Grafit, bentuk kristalin dari karbon, adalah salah satu bahan yang menunjukkan potensi besar sebagai adsorben. Struktur lapisan grafit yang berpori dan luas permukaannya yang besar memungkinkan penyerapan molekul-molekul organik dengan efektif, termasuk zat pewarna (Ali, 2019). Dalam konteks degradasi pewarna, adsorpsi menggunakan grafit dapat menjadi metode yang sederhana namun efisien, karena dapat menghilangkan zat pencemar dari air dengan cepat dan dengan biaya yang relatif rendah. Sifat kimia grafit yang stabil juga membuatnya cocok untuk digunakan dalam berbagai kondisi pengolahan air limbah (Tian et al., 2021).

Selain adsorpsi, fotokatalis adalah metode lain yang telah terbukti efektif dalam menghilangkan berbagai jenis zat pencemar organik dari air (Al Kausor & Chakraborty, 2021). Ketika terpapar sinar ultraviolet (UV) atau cahaya tampak,

dapat memicu reaksi fotokimia yang menghasilkan radikal bebas. Radikal bebas ini sangat reaktif dan mampu memecah molekul organik kompleks, seperti pewarna, menjadi senyawa yang lebih sederhana dan tidak berbahaya (R. Sharma et al., 2024). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa nanokomposit TiO_2/GO mampu meningkatkan efisiensi fotodegradasi MB hingga lebih dari 95% hanya dalam waktu 10 menit di bawah pencahayaan LED (Izzataddini et al., 2023). Selain itu, material komposit berbasis $\text{Ag}@\text{AgCl}/\text{GO}$ juga menunjukkan kinerja tinggi dalam degradasi pewarna dengan kombinasi mekanisme adsorpsi dan fotokatalitik, yang dapat meningkatkan efisiensi degradasi dengan memanfaatkan spektrum cahaya tampak secara optimal (Wei et al., 2025). Dengan demikian, metode adsorpsi dan fotokatalisis berbasis material karbon dan semikonduktor dapat menjadi solusi efektif dalam penanganan limbah cair industri yang mengandung pewarna organik.

Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian dengan judul "Efektivitas degradasi limbah cair pewarna tekstil menggunakan grafit dengan metode adsorpsi dan fotokatalis".

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah untuk penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kinerja grafit sebagai adsorben dan katalis dalam degradasi limbah cair pewarna metilen biru dan *congo red*?
2. Bagaimana pengaruh penambahan konsentrasi grafit terhadap peningkatan efisiensi grafit dengan metode adsorpsi dan fotokatalis dalam degradasi limbah cair pewarna metilen biru dan *congo red*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi efektivitas degradasi limbah cair pewarna *congo red* dan metilen biru menggunakan grafit dengan metode adsorpsi dan fotokatalis.

2. Menganalisis pengaruh penambahan konsentrasi grafit terhadap peningkatan efisiensi grafit dengan metode adsorpsi dan fotokatalis dalam degradasi limbah cair pewarna metilen biru dan *congo red*.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Agustus - Oktober 2024 bertempat di Laboratorium Material dan Energi Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

1. Timbangan Digital
2. Spatula Laboratorium
3. Gelas ukur 250 mL
4. Gelas Kimia 250 ml
5. Pipet Tetes
6. Lampu Halogen 300 Watt (OSRAM 645, Jerman)
7. Kertas Saring (*Filter Paper* Whatman Grade 42)
8. Botol sampel
9. Corong
10. Oven
11. Mortar dan alu
12. *Magnetic Stirrer* (Thermo Scientific ELED SP142020-33Q)
13. *Magnetic Bar*
14. *X-Ray Diffraction* (Shimadzu 7000)
15. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (Shimadzu IR Prestige-21)
16. *Visible Spectroscopy* (Shimadzu UV-1800)

2.2.2 Bahan

1. Grafit
2. Aquades
3. Kertas pH
4. *Congo Red* ($C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$)
5. Metilen Biru ($C_{16}H_{18}N_3Cl$)

2.3.1 Preparasi Material

2.3.1.1 Ekstraksi Grafit

Inti grafit dari pensil 2B dikeluarkan menggunakan pisau setelah membuka selubung kayu pensil. Grafit yang dihasilkan kemudian digerus dan

diayak menggunakan ayakan 200 mesh untuk mendapatkan partikel yang lebih halus. Sebanyak 4 gram grafit yang sudah diayak ditimbang dan dicampurkan dengan 250 ml aquades. Campuran ini diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 30 menit pada kecepatan 600 rpm untuk memastikan pencampuran yang merata. Setelah diaduk, campuran tersebut disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan partikel grafit dari cairan. Partikel grafit yang tersaring kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 4 jam

2.3.2 Preparasi Polutan

2.3.2.1 Preparasi larutan Congo Red (CR)

Congo Red ($C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$) 0,03 g dilarutkan dalam 1000 ml *Aquades*.

2.3.2.2 Preparasi Larutan Metilen Biru (MB)

Metilen Biru ($C_{16}H_{18}N_3SCl$) 0,03 g dilarutkan dalam 1000 ml *Aquades*.

2.3.3 Mekanisme adsorpsi

Percobaan adsorpsi menggunakan grafit dengan variasi konsentrasi grafit 0,1 g, 0,3 g, 0,5 g ditambahkan ke dalam larutan CR dan MB sebanyak 150 mL sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dalam keadaan gelap. Untuk memeriksa adsorpsi, 10 mL larutan sampel yang tercampur rata diambil pada interval waktu yang ditentukan yaitu 30 menit sebanyak 6 kali setiap 5 menit kemudian diteteskan pada corong yang telah dilapisi kertas saring *Filter Paper* Whatman Grade 42, lalu disimpan dalam botol.

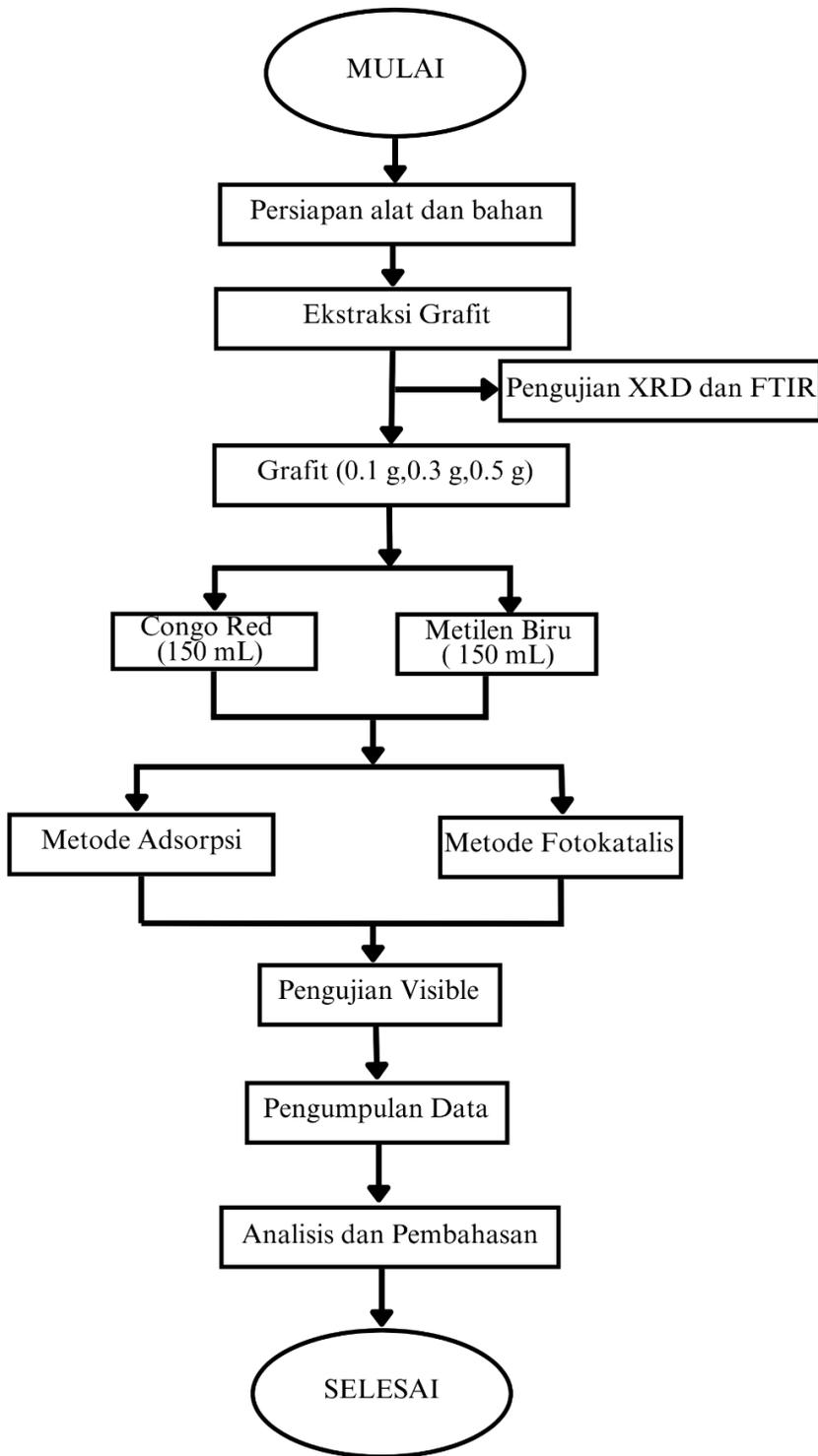
2.3.4 Mekanisme fotokatalis

Aktivitas fotokatalitik katalis grafit pensil dievaluasi menggunakan polutan, yaitu *congo red* (CR) dan metilen biru (MB) di bawah sinar *visible* (lampu Halogen 300 watt). Langkah awal, katalis sebanyak 0,1 g, 0,3 g, 0,5 g ditambahkan ke dalam larutan CR dan MB sebanyak 150 mL. Selanjutnya, campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer*, lalu ditutup dan disinari dengan lampu optik. Campuran tersebut diambil 10 mL menggunakan pipet tetes pada interval waktu yang ditentukan yaitu 30 menit sebanyak 6 kali setiap 5 menit, kemudian diteteskan pada corong yang telah dilapisi kertas saring *Filter Paper* Whatman Grade 42, lalu disimpan dalam botol plastik.

2.4 Karakterisasi Material

XRD digunakan untuk mengidentifikasi struktur atom dan ukuran kristal. Karakterisasi FTIR dengan menggunakan Shimadzu IR Prestige-21 pada rentang bilangan gelombang 850-4000 cm^{-1} digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam material. *Visible Spectroscopy* dengan menggunakan Shimadzu UV-1800 pada rentang panjang gelombang 300-750 nm digunakan untuk menganalisis aktivitas fotokatalisis dan adsorpsi material terhadap zat pewarna metilen biru dan *congo red*.

2.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. 1 Bagan Penelitian