

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Perluasan industri tekstil dan pewarnaan yang pesat telah menyebabkan pembuangan pewarna sintetis yang berlebihan ke lingkungan perairan, seperti sungai, danau, laut, maupun lahan di sekitar kawasan permukiman. Hal ini menimbulkan resiko ekologis dan kesehatan manusia yang serius karena toksisitas, stabilitas, dan ketahanannya terhadap biodegradasi (Chawla dkk., 2024). Salah satu pewarna yang umum digunakan adalah *crystal violet*, pewarna trifenilmetana sintetis yang banyak digunakan dalam tekstil, percetakan, dan pewarnaan biologis. *Crystal violet* dikenal karena stabilitas kimianya yang tinggi dan potensi mutagenik (Zhang dkk., 2024). Keberadaan limbah *crystal violet* dalam air dapat mengganggu ekosistem perairan dengan menghalangi penetrasi cahaya matahari ke dalam air, sehingga menghambat proses fotosintesis organisme akuatik (Sh dkk., 2024). Oleh karena itu, sangat berbahaya jika limbah *crystal violet* dibuang tanpa adanya proses pengolahan terlebih dulu. Metode pengolahan air limbah konvensional sering kali gagal menghilangkan polutan organik secara tuntas. Akibatnya, pengembangan katalis yang efisien, stabil, dan ramah lingkungan untuk proses oksidasi lanjutan (AOP), seperti proses degradasi menggunakan katalis heterogen telah menjadi bidang penelitian penting dalam teknologi pengolahan air (Fdez-Sanromán dkk., 2022).

Partikel ferit telah banyak dimanfaatkan sebagai katalis heterogen untuk fotodegradasi zat warna dengan sifat magnetiknya yang khas. Sifat ini

memungkinkan pemisahan katalis yang mudah dari media reaksi menggunakan medan magnet eksternal, sehingga meningkatkan efisiensi pemulihan dan potensi daur ulang katalis (Azimi-Fouladi dkk., 2023). Partikel ferit merupakan senyawa keramik yang terbuat dari oksida dan memiliki besi sebagai komponen utama. Ferit dapat berupa bahan magnetik lunak atau keras. Ferit diklasifikasikan menjadi ferit spinel, garnet, ferit orto, dan heksaferit (Shahia dkk., 2021). Spinel ferit merupakan oksida logam dengan rumus kimia umum MFe_2O_4 , di mana M merupakan kation logam divalen yang terletak pada posisi tetrahedral dan Fe merupakan kation logam trivalen yang terletak pada posisi oktahedral (Salih dkk., 2023).

Barium ferit ($BaFe_2O_4$), ferit tipe spinel dengan sifat ferrimagnetik, telah muncul sebagai katalis heterogen yang menjanjikan untuk degradasi zat warna. Kemampuannya untuk menghasilkan spesies oksigen reaktif, dikombinasikan dengan stabilitas kimianya, kemampuan pemulihan magnetik, dan sifat permukaan yang dapat disesuaikan, membuatnya sangat cocok untuk aplikasi katalitik dalam pengolahan air limbah (Kenfoud dkk., 2022). Oleh karena itu, sintesis dan optimalisasi katalis berbasis $BaFe_2O_4$ sangat penting untuk meningkatkan efisiensi degradasi, meminimalkan polusi sekunder, dan berkontribusi pada teknologi remediasi lingkungan yang berkelanjutan (Azimi-Fouladi dkk., 2023).

Penelitian tentang $BaFe_2O_4$ tipe spinel difokuskan pada sifat struktural, magnetik, dan katalitiknya, khususnya dalam konteks aplikasi lingkungan seperti degradasi zat warna. Ferit spinel menunjukkan aktivitas katalitik yang tinggi dalam proses seperti Fenton, dengan mengaktifkan hidrogen peroksida (H_2O_2) untuk menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet OH$) yang sangat penting untuk degradasi polutan

organik (Calzada dkk., 2025). Struktur spinel dapat dilakukan substitusi kation (misalnya, Al^{3+} , Co^{2+} , Zn^{2+}), yang memungkinkan modifikasi sifat elektronik, penurunan celah pita, struktur permukaan, dan magnetiknya untuk meningkatkan kinerja katalitik (Gul dkk., 2020).

Perkembangan terkini mencakup upaya untuk meningkatkan luas permukaan, kemampuan daur ulang, dan stabilitasnya melalui nano strukturisasi, doping, dan pembentukan komposit. Ke depannya, penelitian mendatang diharapkan akan fokus pada peningkatan metode sintesis, mengeksplorasi efek sinergis dengan katalis lain, dan mengintegrasikan BaFe_2O_4 ke dalam sistem pengolahan multifungsi untuk penghilangan polutan yang lebih luas dan aplikasi air limbah di dunia nyata (Darandale dkk., 2025, Mohammed dkk., 2024).

Penelitian yang dilakukan Kenfoud dkk. (2022) mengenai BaFe_2O_4 sebagai bahan semikonduktor mampu digunakan sebagai fotokatalis. Celah pita BaFe_2O_4 murni yang diperoleh sebesar 2,10 eV, setelah dilakukan penambahan ZnO pada hetero-sistem BFO/ZnO didapat celah pita sebesar 1,50 eV. Kehadiran ZnO dalam hetero-sistem BFO/ZnO mampu memodifikasi permukaan katalis yang dapat mencegah rekombinasi *electron-hole* (Zhu dkk., 2014). Pengurangan rekombinasi *electron-hole* untuk sistem hetero ini secara langsung akan menghasilkan aktivitas fotokatalitik yang lebih tinggi untuk degradasi zat warna. Spinel ferit jenis lain, seperti AlFe_2O_4 sejauh ini hanya satu penelitian yang menunjukkan aktivitas katalitiknya dalam pengolahan air limbah. Penelitian difokuskan pada penghilangan zat warna antrakuinon *Acid Green 25* melalui aktivasi persulfat di

bawah sinar UV-Visible yang mampu mendegradasi zat warna sebesar 96% selama 90 menit (Hachemi dkk., 2024).

Penggunaan unsur alumunium lebih disukai untuk substitusi salah satu unsur pada ferit spinel untuk meningkatkan aktivitas katalitik. Seperti substitusi alumunium pada MgFe_2O_4 sebagai katalis heterogen seperti Fenton untuk degradasi RhB (Zhang dkk., 2022), substitusi Al^{3+} pada katalis $\text{Al}_x\text{ZnFe}_{(2-x)}\text{O}_4$ untuk degradasi zat warna *methylene blue* (Gul dkk., 2020), dan substitusi Al^{3+} pada katalis $\text{ZnAl}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ untuk degradasi zat warna azo (Borhan dkk., 2014). Namun, studi mengenai substitusi ion aluminium dalam struktur ferit spinel masih terbatas, terutama terkait pemanfaatannya sebagai fotokatalis. Bahkan hingga sekarang, belum ada penelitian terkait modifikasi spinel ferit BaFe_2O_4 dengan penambahan ion alumunium. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis spinel ferit BaFe_2O_4 yang akan disubstitusi dengan ion aluminium trivalen dengan metode kopresipitasi untuk menentukan aktivitas fotokatalitiknya dalam degradasi zat warna *crystal violet*.

I.2 Tujuan Penelitian

1. Memperoleh katalis barium spinel ferit yang tersubstitusi alumunium dengan metode kopresipitasi.
2. Merumuskan hubungan antara rasio Al dan Fe dalam struktur $\text{BaAl}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ terhadap karakteristik material, yang meliputi kristalinitas, morfologi permukaan, dan energi celah pita.
3. Menentukan hubungan antara rasio Al dan Fe terhadap kinerja fotodegradasi *crystal violet*.