

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran air akibat limbah industri, terutama zat warna, merupakan masalah lingkungan serius yang mengancam ekosistem dan kesehatan manusia. Limbah dari industri tekstil, percetakan, dan kosmetik mengandung zat warna yang dapat mencemari sumber air dan membahayakan kehidupan akuatik. Pencemaran tersebut dapat membahayakan Kesehatan manusia, memengaruhi kualitas air dan konsekuensi jangka panjang yang membahayakan¹. Secara biologis zat warna sintetis seringkali sulit diurai, sehingga memerlukan metode alternatif untuk dekomposisi yang efisien. Metode alternatif yang dikembangkan untuk mengatasi pencemaran air oleh zat warna adalah adsorpsi, filtrasi dan koagulasi, namun metode tersebut umumnya hanya memindahkan polutan dari fase cair ke fase padat tanpa mendegradasinya secara kimia. Metode pendekatan *Advanced Oxidation Processes* (AOP) menjadi populer karena bisa menghasilkan radikal reaktif yang kuat seperti radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) untuk mengoksidasi polutan organik. Reaksi (AOP) dengan H_2O_2 merupakan metode yang efektif untuk degradasi zat warna tekstil².

Metode AOP yang dikenal luas adalah reaksi fotokatalitik, dan *photo fenton* yang menjanjikan untuk degradasi zat warna di dalam air dan ramah lingkungan, karena mampu mengurai zat warna melalui proses adsorpsi dan oksidasi yang disebabkan oleh cahaya³. Metode tersebut memanfaatkan cahaya untuk memicu degradasi yang dapat mengubah zat berbahaya menjadi senyawa yang lebih aman seperti karbon dioksida dan air⁴. Proses degradasi zat berbahaya berlangsung cepat karna adanya mataerial katalis, salah satu material katalis yang bagus dalam aktivitas degradasi adalah spinel ferit MnFe_2O_4 . Selain sebagai katalis, material spinel ferit diketahui memiliki kemampuan adsorpsi yang baik terhadap zat warna karena keberadaan gugus hidroksil dipermukaan katalis. Oleh karena itu, proses penghilangan zat warna pada material ferit umumnya merupakan kombinasi antara adsorpsi permukaan dan oksidasi berbasis radikal, bukan semata-mata sebagai fotokatalisis⁵.

Spinel ferit merupakan senyawa oksida yang memiliki rumus umum AB_2O_4 , A merupakan ion divalen dan B adalah ion Fe^{3+} , Struktur kristal spinel yang khas termasuk situs tetrahedral (A) dan situs oktahedral (B)⁶. Spinel ferit MnFe_2O_4 termasuk spinel inverse yang dimana Fe^{3+} berada pada situs tetrahedral dan Mn^{2+} serta Sebagian Fe^{3+} berada pada situs oktahedral⁷. merupakan material oksida dengan stabilitas kimia yang baik serta memiliki situs aktif permukaan yang mampu berinteraksi dengan molekul zat warna. Selain itu, keberadaan ion Fe dan Mn memungkinkan terjadinya reaksi oksidasi permukaan yang berkontribusi pada proses degradasi zat warna¹. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa MnFe_2O_4 efektif dalam mengurai berbagai polutan organik, termasuk zat warna di bawah cahaya tampak⁸.

Doping pada MnFe_2O_4 dilakukan untuk mengatasi keterbatasan material murni, terkait tingginya laju rekombinasi pasangan elektron-hole dan rendahnya aktivitas permukaan. Ion La^{3+} dapat meningkatkan karakteristik yang sudah dimiliki MnFe_2O_4 , dengan memperbaiki strukturnya dan meningkatkan aktivitas degradasinya dalam mengatasi pencemaran air akibat zat warna industri⁹.

Pendopingan dengan unsur lain dapat meningkatkan efisiensi degradasi dan memodifikasi karakteristik katalis. Doping La^{3+} pada MnFe_2O_4 dapat menyebabkan perubahan struktur Kristal pada MnFe_2O_4 . Dalam literatur Kour et al. (2021), doping La^{3+} dan Zn^{2+} pada MnFe_2O_4 menunjukkan doping dengan La sekitar 4 % menghasilkan peningkatan degradasi zat warna (96%) dibandingkan MnFe_2O_4 murni, menunjukkan bahwa doping La^{3+} pada ferit sangat efektif pada kisaran beberapa persen¹⁰. Di ferit lain seperti Mg-Ni-Co juga ditemukan bahwa konsentrasi La antara 1% hingga 4% mengurangi laju rekombinasi *electron hole*, yang berkaitan dengan peningkatan aktivitas degradasi material¹¹. Hal ini menunjukkan bahwa nilai doping La^{3+} di bawah 5% seringkali optimal, sementara doping yang lebih tinggi dapat menyebabkan distorsi struktur yang berlebihan atau fase sekunder sehingga menurunkan performa. Doping dengan ion La^{3+} dapat menyebabkan distorsi kisi kristal dan pembentukan tingkat energi baru yang berkontribusi terhadap penurunan *band gap* serta penekanan rekombinasi pasangan *electron-hole*. Penurunan *band gap* pada material semikonduktor meningkatkan respon material terhadap cahaya tampak, ini sangat penting dalam aktivitas degradasi karena keterbatasan sinar UV dilingkungan. Penurunan *band gap* oleh doping La^{3+} dapat memperkecil jarak energi pita dan menciptakan tingkat energi baru yang memudahkan eksitasi elektron bahkan pada energi yang lebih rendah³.

Daun gambir (*Uncaria gambir Roxb*) dikenal kaya akan senyawa polifenol, terutama katekin yang memiliki beragam manfaat biologis³. Senyawa ini tidak hanya berguna sebagai antioksidan tetapi, juga berperan penting sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam proses *green synthesis* material nano. Penggunaan ekstrak daun gambir sebagai agen sintetis menjadi pilihan yang menarik karena ramah lingkungan, yang mendukung prinsip pengembangan berkelanjutan dalam nanoteknologi¹².

Metode yang dipilih untuk mensintesis senyawa ini adalah metode hidrotermal, metode hidrotermal memungkinkan pembentukan kristal dengan kualitas tinggi karena pengendapan terjadi pada suhu dan tekanan yang dapat dikontrol, yang meningkatkan ukuran dan kemurnian kristal. Metode ini juga menghasilkan partikel dengan morfologi ukuran yang lebih merata, untuk pengaplikasian saat proses degradasi zat warna¹³.

Meskipun berbagai penelitian telah melaporkan penggunaan MnFe_2O_4 dan material ferit terdoping untuk aplikasi fotokatalisis, studi yang secara sistematis mengkaji pengaruh doping La^{3+} terhadap struktur kristal, sifat optik, dan aktivitas degradasi MnFe_2O_4 , khususnya yang disintesis menggunakan pendekatan *green synthesis* masih sangat terbatas. Penelitian

ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi MnFe_2O_4 yang terdoping La^{3+} sebagai katalis dalam meningkatkan efisiensi degradasi zat warna. Pengaruh doping La^{3+} terhadap sifat kristal dan aktivitas degradasi dari MnFe_2O_4 , penelitian diharapkan dapat menyumbangkan pemahaman baru dalam pengembangan material katalis yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka dapat dirumuskan permasalahan yaitu:

1. Bagaimana pengaruh doping La^{3+} terhadap struktur kristal dari spinel ferit MnFe_2O_4 yang disintesis menggunakan ekstrak daun gambir?
2. Bagaimana hubungan antara struktur, sifat optik, dan aktivitas degradasi dari spinel ferit yang disintesis dalam penelitian ini?
3. Bagaimana aktivitas degradasi dari MnFe_2O_4 yang terdoping La^{3+} dalam adsorpsi dan oksidasi zat warna?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Mensintesis spinel ferit MnFe_2O_4 yang terdoping La^{3+} dengan metode hidrotermal menggunakan ekstrak daun gambir sebagai *capping agent*.
2. Mempelajari efek doping La^{3+} terhadap struktur kristal, sifat optik, dan aktivitas degradasi MnFe_2O_4 dalam proses degradasi zat warna *Direct Red 81* dibawah radiasi cahaya matahari.
3. Menganalisis mekanisme penghilangan zat warna melalui kombinasi adsorpsi dan oksidasi permukaan MnFe_2O_4 dalam mendegradasi zat warna.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat berfokus pada pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh doping La^{3+} terhadap sifat struktural dan sifat optik spinel ferit MnFe_2O_4 serta dapat menghasilkan material katalis berbasis MnFe_2O_4 terdoping La^{3+} yang mendegradasi zat warna. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi referensi ilmiah dan dasar pengembangan material fotokatalis berbasis spinel ferit untuk aplikasi lingkungan pada penelitian selanjutnya.