

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Industri tekstil merupakan salah satu sektor yang memiliki peranan penting dalam perkembangan ekonomi di Indonesia (Rio Prabowo & Abdurrozaq Hasibuan, 2025). Meningkatnya perkembangan industri tekstil di Indonesia selaras dengan meningkatnya polutan berbahaya yang dihasilkan. Zat warna organik yang terkandung dalam limbah industri tekstil merupakan salah satu sumber polutan yang memiliki dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan. Limbah yang tidak melalui proses pengolahan yang benar dapat menyebabkan berbagai masalah bagi lingkungan (Rahmawanti & Dony, 2024). *Malachite green* merupakan salah satu contoh zat warna organik yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Gebrye dkk., 2025). Zat warna ini menyebabkan berkurangnya penetrasi cahaya, dan mengganggu aktivitas fotosintesis, yang akhirnya dapat merusak ekosistem perairan (Andr dkk., 2026).

Banyak metode yang telah digunakan untuk mengolah limbah organik dari zat warna seperti metode degradasi biologis, koagulasi, adsorpsi, redoks elektrokimia, membran, dan degradasi katalitik (Gebrye dkk., 2025). Metode-metode tersebut masih memiliki beberapa keterbatasan, seperti terjadinya pembentukan polutan sekunder, biaya operasional yang tinggi, rendahnya efisiensi penghilangan zat warna serta terbatasnya kapasitas adsorpsi (Gebrye dkk., 2025). Keterbatasan tersebut menunjukkan perlunya metode alternatif yang lebih efektif untuk mengatasi pencemaran akibat limbah organik dari zat warna.

Salah satu metode alternatif yang dapat digunakan yaitu fotokatalis. Metode ini memanfaatkan material semikonduktor sebagai katalis dan cahaya (*foton*) untuk menguraikan limbah pewarna organik menjadi senyawa yang lebih sederhana (Rahmawanti & Dony, 2024). Ketika permukaan material semikonduktor ini menyerap cahaya dengan energi yang sesuai, maka akan terjadi eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi sehingga terbentuk pasangan *electron* dan *hole* (Yuda Aditya & Sutanto, 2014). Pasangan pembawa muatan ini kemudian berinteraksi dengan molekul air atau oksigen yang terdapat dalam

larutan yang kemudian menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) dan radikal superoksida ($\bullet\text{O}_2^-$) dimana hal ini berperan penting dalam proses degradasi zat warna (Alshabanat & Al-Anazy, 2018). Pada metode ini diperlukan semikonduktor sebagai katalisnya. Salah satu material semikonduktor yang sering digunakan sebagai fotokatalis adalah ZnO.

ZnO dapat digunakan sebagai fotokatalis karena keunggulan sifatnya, seperti stabilitas yang tinggi, nilai celah pita sebesar 3,37 eV, energi ikat eksiton yang relatif besar yaitu 60 meV, serta mobilitas elektron yang besar mencapai 300 cm^2/Vs (Syamsudin dkk., 2023). Semikonduktor ZnO masih memiliki beberapa keterbatasan seperti aktivitas fotokatalitik yang kurang optimal di bawah cahaya tampak (*visible light*) serta cepatnya proses rekombinasi pasangan *electron-hole* (R. Huang dkk., 2025), sehingga diperlukan material tambahan yang dapat meningkatkan kemampuan fotokatalitik ZnO. Logam seperti besi (Fe), tembaga (Cu), aluminium (Al) dan galium (Ga) sering digunakan sebagai dopan untuk meningkatkan sifat optik dari ZnO (Soni dkk., 2026).

Besi (Fe) merupakan salah satu dopan yang banyak digunakan karena kemampuannya yang dapat meningkatkan jumlah cacat kristal. Hal ini menjadikan dopan Fe efisien untuk digunakan dalam aplikasi fotokatalitik (Soni dkk., 2026). Logam besi (Fe) dipilih sebagai dopan berdasarkan kestabilan kimianya, perbedaan jari-jari ionik dan keelektronegatifan antara logam Fe dan Zn. Besi (Fe) memiliki jari-jari ionik yang sebanding dengan ion Zn^{2+} , sehingga ion Fe mudah untuk masuk kedalam kisi ZnO tanpa menyebabkan perubahan struktur kristal yang signifikan (Gazi dkk., 2026).

Sintesis ZnO dengan doping Fe dilakukan menggunakan metode sol-gel. Sol-gel merupakan suatu teknik sintesis yang melibatkan proses pembentukan senyawa melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah, di mana terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (*sol*) menjadi fasa cair kontinyu (*gel*) (Yuda Aditya & Sutanto, 2014). Metode ini banyak digunakan dalam sintesis oksida logam karena memberikan kontrol yang baik terhadap berbagai parameter sintesis, seperti jenis prekursor, pH, suhu, dan lama proses *aging* (Salinas dkk., 2026).

Keunggulan metode ini meliputi biaya sintesis yang rendah, suhu proses yang relatif rendah, dan menghasilkan partikel yang lebih halus (Alias dkk., 2010).

Pada penelitian ini dilakukan sintesis ZnO (*zinc oxide*) dan modifikasinya dengan penambahan dopan berupa Fe (besi) melalui metode sol-gel. Penambahan dopan Fe bertujuan untuk meningkatkan kemampuan aktivitas fotokatalitik dari ZnO sebagai material semikonduktor saat proses fotokatalis untuk mendegradasi zat warna *malachite green* di bawah sinar UV.

I.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh ZnO dan variasi Fe-ZnO menggunakan metode sol-gel.
2. Menentukan karakteristik dari ZnO dan variasi Fe-ZnO yang dihasilkan.
3. Menentukan kemampuan fotokatalis ZnO dan variasi Fe-ZnO dalam mendegradasi zat warna *malachite green*.