

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pencemaran air merupakan permasalahan lingkungan yang terus meningkat, terutama akibat limbah industri yang mengandung zat berbahaya seperti pewarna, yang banyak digunakan pada industri tekstil dan kertas (Khan dkk., 2022). Ditemukan lebih dari 10.000 jenis pewarna dengan total penggunaan mencapai 120.000 ton per tahun, namun 30-40% di antaranya tidak terserap oleh serat tekstil dan terbuang menjadi limbah cair pada industri tekstil (Tkaczyk dkk., 2020). Salah satu pewarna tersebut adalah *methylene blue* (MB), senyawa aromatik kompleks yang stabil dan sulit terdegradasi secara alami, sehingga bertahan lama di lingkungan perairan (Dokpikul dkk., 2024). Zat warna ini bersifat toksik, karsinogenik, dan mutagenik yang dapat menyebabkan keracunan serta kerusakan organ pada manusia dan biota air (Oladoye dkk., 2022). Metode konvensional seperti koagulasi, sedimentasi, ataupun degradasi biologis sering kali kurang efektif dalam menghilangkan *methylene blue*, sehingga diperlukan metode yang lebih efektif untuk mendegradasi senyawa ini (Sankarganesh dkk., 2025).

Metode alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah fotodegradasi, yaitu proses yang melibatkan aktivasi fotokatalis oleh cahaya untuk menghasilkan pasangan elektron-hole (e^-/h^+) yang berperan dalam oksidasi polutan menjadi senyawa sederhana seperti CO₂ dan H₂O (Wang dkk., 2025). Aluminium oksida (Al₂O₃) merupakan material yang umum digunakan dalam pengembangan fotokatalis (Kumar dkk., 2022). Salah satu sumber alumina yang berpotensi dimanfaatkan adalah lumpur Lapindo, yang muncul akibat

aktivitas eksplorasi minyak dan gas yang dilakukan oleh PT Lapindo Brantas Inc sejak tahun 2006 di Sidoarjo, Jawa Timur (Ulfindrayani dkk., 2019). Peristiwa ini telah menenggelamkan sekitar 250 hektar lahan dan hingga kini masih menyemburkan aliran lumpur mencapai 180.000 m³ tiap harinya (Alaudin dkk., 2017). Berdasarkan penelitian Nuryanto dkk. (2020), hasil analisis XRF menunjukkan bahwa lumpur Lapindo mengandung Si, Al, dan Fe dalam jumlah tinggi masing-masing sebesar 48,61%, 22,50%, dan 22,2%. Kandungan Al₂O₃ yang tinggi ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber alumina, sehingga pemanfaatan Lumpur Lapindo ini tidak hanya membantu mengurangi limbah, tetapi juga memberikan nilai tambah secara ekonomi (A'yuni dkk., 2023).

Al₂O₃ memiliki berbagai struktur kristal seperti δ , γ , θ , dan α , namun di antaranya, γ -Al₂O₃ paling banyak digunakan karena memiliki luas permukaan yang tinggi, stabilitas termal yang baik, serta sifat amfoter yang mendukung proses degradasi (Sulieman dkk., 2020). Namun, γ -Al₂O₃ juga memiliki keterbatasan berupa nilai *bandgap* yang relatif besar, sehingga kemampuan penyerapan cahaya menjadi rendah dan kurang efektif dalam menghasilkan pasangan elektron-*hole*, yang berakibat pada rendahnya efisiensi fotokatalitik (Fawzy dkk., 2022).

Berdasarkan kajian literatur, pembentukan komposit γ -Al₂O₃ dengan material semikonduktor mampu meningkatkan sifat fotokatalitik dari γ -Al₂O₃ (Sridevi dkk., 2022). Di antara berbagai semikonduktor, *copper oxide* (CuO) berpotensi digunakan karena memiliki aktivitas redoks baik dan *bandgap* yang sempit (1.2-1.7 eV) sehingga dapat aktif di bawah sinar tampak (Bugchio dkk., 2025). Nilai celah pita yang sempit tersebut juga memicu tingginya rekombinasi

elektron dan *hole*, sehingga pembawa muatan tersebut cenderung bergabung kembali sebelum berkontribusi pada reaksi fotokatalitik (Matoh dkk., 2022). Pembentukan komposit CuO/ γ -Al₂O₃ dapat mengatasi keterbatasan masing-masing material dan meningkatkan efisiensi fotokatalitik (Sankarganesh dkk., 2025). Menurut penelitian Sridevi dkk. (2022), komposit CuO/ γ -Al₂O₃ menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang lebih optimal dibandingkan γ -Al₂O₃ maupun CuO murni, sehingga berpotensi diaplikasikan untuk pengolahan limbah zat warna.

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk sintesis komposit CuO/ γ -Al₂O₃, seperti metode hidrotermal, *grinding-calcination*, impregnasi, dan ko-presipitasi (Chen dkk., 2026). Metode hidrotermal dipilih dalam penelitian ini karena mampu menghasilkan kristalinitas yang tinggi, distribusi ukuran partikel seragam, dan pembentukan struktur yang lebih teratur (Rahman dkk., 2020). Metode hidrotermal merupakan proses kristalisasi material dari larutan dalam medium berair pada suhu di atas 100 °C dan tekanan yang lebih tinggi dari tekanan atmosfer dalam sistem tertutup (Sebastian & Clemens, 2022). Karena berlangsung dalam sistem tertutup, metode ini meminimalkan kehilangan material akibat penguapan, sehingga metode ini banyak digunakan dalam sintesis nanomaterial, termasuk material dengan tekanan uap tinggi (Gan dkk., 2020).

Meskipun telah banyak dilakukan penelitian terkait sintesis komposit CuO/ γ -Al₂O₃, pemanfaatan lumpur Lapindo sebagai sumber alumina dalam sintesis γ -Al₂O₃ terutama dalam aplikasi fotodegradasi zat warna *methylene blue* masih sangat terbatas. Selain itu, penelitian yang mengkaji penggunaan metode hidrotermal dalam sintesis CuO/ γ -Al₂O₃ juga masih sangat terbatas. Sejalan dengan

kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengisi beberapa celah penelitian tersebut baik dalam pengembangan material fotodegradasi CuO/ γ -Al₂O₃ berbasis lumpur Lapindo serta aplikasinya dalam fotodegradasi. Selain itu, akan dilakukan variasi rasio mol Cu/Al yang bertujuan menentukan komposisi terbaik yang dapat menghasilkan material dengan aktivitas fotodegradasi optimal. Rasio ini akan berperan penting dalam pembentukan fasa kristal, mengontrol morfologi partikel, dan distribusi partikel aktif.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi komposit CuO/ γ -Al₂O₃ dengan memanfaatkan Lumpur Lapindo sebagai sumber γ -Al₂O₃ menggunakan metode hidrotermal sebagai aplikasi fotodegradasi *methylene blue*. Hasil penelitian ini diharapkan memberi kontribusi dalam pengembangan material fotodegradasi yang efisien, ramah lingkungan, berkelanjutan, serta berpotensi dalam proses fotodegradasi polutan.

I.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mensintesis komposit CuO/ γ -Al₂O₃ dengan menggunakan metode hidrotermal dengan variasi mol Cu/Al.
2. Menentukan karakteristik hasil sintesis komposit CuO/ γ -Al₂O₃ dengan variasi mol Cu/Al.
3. Menguji aktivitas fotokatalitik komposit CuO/ γ -Al₂O₃ dalam proses degradasi zat warna *methylene blue* (MB) di bawah cahaya tampak.