

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Resistensi bakteri patogen terhadap antibiotik telah menjadi permasalahan global. Berdasarkan data statistik *World Health Organization* (WHO), resistensi bakteri patogen akan berkembang dan memicu mortalitas hingga 10 juta jiwa pada tahun 2050 (Shao dkk., 2021). Salah satu faktor peningkatan resistensi bakteri adalah proses penghantaran antibiotik sebagai obat secara konvensional seperti topikal, injeksi, maupun oral ke dalam tubuh yang kurang efektif. Hal ini dikarenakan pelepasan antibiotik tidak terkontrol dan kelarutannya yang tinggi sebelum mencapai target, sehingga menghambat proses penyerapan dan retensi senyawa antibiotik dalam sistem biologis (Khalbas dkk., 2024). Pengembangan material nanopartikel sebagai sistem penghantaran obat merupakan evolusi dalam bidang biomedis, dalam penggunaan antibiotik yang terkontrol dan tepat sasaran. Karakteristik nanopartikel yang berukuran kecil mampu menembus membran sel dengan cakupan wilayah kontak lebih luas (Carofiglio dkk., 2021) yang dapat meningkatkan efikasi antibiotik.

Sistem penghantaran obat menggunakan nanopartikel melibatkan proses pemuatan obat pada nanopartikel dan pelepasannya ke target. Beberapa material nanopartikel yang telah dikembangkan sebagai penghantar obat diantaranya *Argentum* (Ag), *Titanium Oxide* (TiO₂), *Cerium Oxide* (CeO₂), dan *Zinc Oxide* (ZnO) (Verma dkk., 2025). Nanopartikel ZnO merupakan material oksida dengan karakteristik biokompatibel, toksisitas rendah, dan tidak beracun, dan telah diakui sebagai material aman oleh *U.S Food and Drug Administration* dengan kategori bahan *Generally Recognized As Safe* (GRAS) (Carofiglio dkk., 2021). Namun nanopartikel ZnO sebagai material penghantar obat memiliki keterbatasan dalam kapasitas pemuatan dan pelepasan obat. Hal itu karena struktur nanopartikel ZnO yang padat dan tidak berpori sehingga luas permukaan spesifik yang tersedia untuk adsorpsi obat cenderung rendah. Kapasitas pemuatan dari nanopartikel ZnO dapat ditingkatkan dengan memodifikasi sifat permukaannya. Dalam sistem

penghantaran obat ukuran pori dan luas permukaan memainkan peran penting dalam menentukan kapasitas pemuatan dan karakteristik pelepasan obat. ZnO mesopori, yaitu ZnO dengan pori berukuran 2 – 50 nm, memungkinkan memiliki luas permukaan spesifik tinggi (Gu dkk., 2024). Akan tetapi, nanopartikel ZnO dengan luas permukaan spesifik tinggi cenderung teraglomerasi (Carofiglio dkk., 2021). Aglomerasi ini menghambat aksesibilitas pori permukaan untuk difusi obat yang mengakibatkan proses pelepasan obat tidak terkontrol.

Modifikasi permukaan nanopartikel ZnO dapat dilakukan dengan penambahan unsur lain sebagai dopan, salah satunya adalah logam transisi Ferum (Fe) atau besi. Dalam aplikasi biomedis, nanopartikel ZnO didoping Fe (ZnO:Fe) telah banyak diteliti, diantaranya oleh Carofiglio dkk. (2021) dan Boopathi dkk. (2024). Dalam penelitian tersebut, doping Fe secara signifikan mampu menurunkan aglomerasi partikel dan menjaga regulasi ukuran partikel, sehingga meningkatkan luas permukaan spesifik ZnO. Sintesis ZnO:Fe dengan penambahan ekstrak *Psidium guajava* menggunakan metode presipitasi, membutuhkan kalsinasi pada 600°C selama 5 jam, menghasilkan nanopartikel ZnO:Fe dengan kepadatan tinggi dan teraglomerasi (Boopathi dkk., 2024). Pada tahun (2019), Chai dkk. menggunakan ekstrak *Hibiscus rosa-sinensis* untuk sintesis nanopartikel ZnO:Fe menggunakan metode *wet-chemical*, ukuran partikel ZnO mengecil dengan pemberian doping Fe, namun masih menempel satu sama lain, sedangkan penggunaan ekstrak *A. spinosus* dalam sintesis ZnO:Fe mampu mengontrol pertumbuhan partikel dengan bentuk partikel batang (Devi dkk., 2017). Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, maka kombinasi doping Fe dan sintesis dengan penambahan ekstrak tumbuhan menjadi strategi untuk modifikasi permukaan nanopartikel ZnO, sehingga memiliki kapasitas pemuatan dan proses pelepasan obat yang potensial untuk sistem penghantaran obat.

Dalam penelitian ini, ZnO:Fe disintesis dengan penambahan ekstrak daun eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) menggunakan metode presipitasi dikombinasi iradiasi ultrasonik. Eceng gondok merupakan tumbuhan gulma akuatik yang memiliki kandungan bioaktif fitokimia seperti fenolik, flavonoid, alkaloid, dan saponin (Bakrim dkk, 2022). Senyawa fitokimia eceng gondok berperan

sebagai agen pereduksi dan agen penstabil yang mampu mengontrol pertumbuhan partikel. Penggunaan metode presipitasi dikombinasikan iradiasi ultrasonik pada penelitian ini mampu mengontrol parameter larutan (Devatha dan Thalla, 2018), menghambat pertumbuhan bulir yang besar, dan mempersingkat waktu pemanasan (Nurhasanah dkk., 2024). Kombinasi doping Fe dan sintesis berbasis ekstrak daun eceng gondok menghasilkan nanopartikel ZnO mesopori yang memiliki ukuran partikel kecil dan luas permukaan besar yang mampu meningkatkan kapasitas pemuatan dan pelepasan obat. Antibiotik *ciprofloxacin* digunakan sebagai obat untuk menganalisis karakteristik pemuatan dan pelepasan obat dari nanopartikel ZnO:Fe.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan nanopartikel mesopori ZnO:Fe menggunakan metode presipitasi dengan penambahan ekstrak daun eceng gondok. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi peran ekstrak eceng gondok dan doping Fe dalam modifikasi sifat permukaan dan mengevaluasi karakteristik pemuatan dan pelepasan antibiotik dari nanopartikel ZnO.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rujukan penelitian mengenai pengembangan sintesis nanopartikel ZnO:Fe menggunakan penambahan ekstrak daun eceng gondok sebagai material pendukung pada bidang kesehatan untuk sistem penghantaran obat terutama antibiotik.