

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas air menurun akibat meningkatnya aktivitas manusia yang menghasilkan kontaminan organik, anorganik, dan mikroba yang kemudian dibuang ke sumber air (Chaukura et al., 2020). Sumber pencemaran air diantaranya adalah limbah dari obat-obatan (Mohan et al., 2019) yang merupakan polutan yang memiliki efek toksik meskipun berada dalam konsentrasi yang sangat kecil (Oliveros et al., 2021). Rumah sakit dan industri obat-obatan menjadi sumber utama pembuangan obat ke lingkungan melalui ekskresi pasien, pembuangan obat kadaluarsa, dan obat yang tidak terpakai serta limbah industri farmasi secara tidak tepat (Lindholm-Lehto et al., 2019; Kalyva, 2019). Penelitian Kermia et al. (2019) menemukan bahwa hingga 90% residu obat dapat ditemukan di pabrik pengolahan air limbah. Hal ini menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan air.

Keberadaan limbah obat di dalam air menyebabkan berbagai dampak kesehatan bagi manusia dan hewan. Limbah obat umumnya bersifat bioaktif dan persisten, sehingga tetap mempertahankan aktivitas terapeutiknya. Walaupun biodegradasi dapat mengurangi konsentrasinya di perairan, metabolitnya tetap ada dan tidak mudah dihilangkan melalui proses pengolahan biologis dan kimia konvensional (Luo et al., 2019). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kemampuan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk menghilangkan sebagian besar obat-obatan sangat terbatas (Pereira et al., 2020). Obat-obatan yang penggunaannya tinggi di dunia salah satunya adalah golongan obat antibiotik. Antibiotik merupakan bagian terbesar dari penggunaan obat medis. Dilaporkan bahwa sekitar 100.000 hingga 200.000 ton antibiotik digunakan untuk pengobatan infeksi bakteri di seluruh dunia setiap tahun (Luo et al., 2023), dan lebih dari 65% di antaranya adalah antibiotik β -laktam (Moradi et al., 2021). Lintang (2024) melaporkan cemaran antibiotik pada sungai Code di Yogyakarta akibat akumulasi berbagai sumber seperti limbah rumah sakit, limbah

kimia, maupun dari limbah peternakan, dan sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang masih lemah. Stavbar et al. (2017) melaporkan konsentrasi amoksisilin dalam air limbah medis, berkisar antara 25 hingga 200 ppm.

Amoksisilin (AMX), merupakan salah satu antibiotik β -laktam yang banyak digunakan untuk pengobatan manusia dan hewan (Wang et al., 2022). AMX memiliki struktur yang lebih kompleks dan kelarutan yang tinggi dibandingkan dengan antibiotik lain di lingkungan air (Mirzaei et al., 2017). AMX dilaporkan terdeteksi secara luas di air tanah, sedimen dan tanah, menimbulkan serangkaian masalah termasuk munculnya gen resistensi antibiotik dan efek toksik kronis (Dou et al., 2020). Akan tetapi, karena sifat kimia yang stabil dan tingkat biodegradasi AMX yang rendah, pengolahan biologis tidak efisien dalam menghilangkan obat ini (Bergamonti et al., 2019).

Berbagai metode pengolahan limbah yang digunakan untuk menghilangkan limbah antibiotik antara lain koagulasi-flokulasi, elektrokatalisis, filtrasi membran, dan fotokatalisis (de Ilurdoz, Sadhwani, and Reboso 2022). Fotokatalisis lebih dipilih karena biaya yang rendah, efisiensi degradasi tinggi, penerapannya sederhana, serta produk sampingan yang tidak beracun yaitu air dan karbon dioksida. (Chen et al., 2019). Fotokatalisis semikonduktor mampu mendegradasi antibiotik dalam air limbah dengan memanfaatkan energi dari sinar matahari alami atau penerangan buatan. Metode ini memiliki biaya rendah, efisiensi degradasi tinggi, dan dapat dimodifikasi dengan mudah. Prinsip reaksi fotokatalisis melibatkan penyerapan foton oleh fotokatalis semikonduktor, yang menyebabkan eksitasi elektron dan menciptakan *hole* (lubang elektron) yang akan berinteraksi dengan pelarut (air) untuk membentuk spesi reaktif seperti radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$), yang pada akhirnya dapat mendegradasi polutan antibiotik berbahaya menjadi spesies ramah lingkungan seperti H_2O dan CO_2 (Aminuzzaman et al., 2021).

Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai fotokatalis nanomaterial telah digunakan untuk mendegradasi berbagai obat-obatan di bawah sinar ultraviolet (UV). Fotokatalis semikonduktor, seperti ZnO dan TiO_2 nanopartikel (NPs) merupakan solusi yang baik karena stabilitas kimianya, tidak beracun, celah pita yang lebar (3,37 eV), kemampuan yang kuat untuk menyerap sinar UV, dan biaya rendah (Mirzaeifard et al.

2020). Meskipun TiO_2 dan ZnO NPs memiliki celah pita yang serupa, ZnO merupakan fotokatalis yang lebih baik karena mobilitas elektronnya yang lebih tinggi dan aktivitas katalitiknya dilaporkan jauh lebih baik dari pada bahan lain karena ZnO dapat menyerap cahaya dalam spektrum yang lebih luas dibanding bahan lainnya (Andrade-Guel et al., 2022). Faktor utama yang mempengaruhi perlakuan dan kinerja fotokatalitik meliputi sumber cahaya, dosis katalis, waktu reaksi optimal untuk degradasi, pH larutan, dan konsentrasi polutan (Villaluz et al., 2019).

Berbagai metode sintesis ZnO NPs untuk aplikasi fotokatalis telah dilakukan seperti sol-gel (Shen & Lua, 2019), solvothermal (Xu et al., 2019), kopresipitasi (Bahari et al., 2018) dan hidrothermal (Wan et al., 2019). Metode sintesis tersebut memiliki kelemahan yaitu banyaknya penggunaan bahan kimia berbahaya, tidak ramah lingkungan, dan metode yang rumit. Oleh karena itu, dibutuhkan metode alternatif untuk mensintesis nanopartikel menggunakan bahan yang ramah lingkungan.

Green synthesis ZnO NPs merupakan alternatif metode sintesis ZnO NPs dengan memanfaatkan metabolit dari bahan alam sebagai bioreduktor untuk mereduksi ion logam menjadi nanopartikel logam. Metode ini menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan metode konvensional, seperti toksisitas rendah, produksi limbah beracun yang minimal, biaya yang terjangkau, dan penggunaan bahan baku yang dapat diperbarui (Gonzalez-Moragas et al., 2015; Pérez-Venegas dan Juaristi 2020; Makarov et al., 2019).

Bioreduktor adalah senyawa alami yang dapat berperan sebagai agen pereduksi dalam sintesis. Senyawa yang bisa berperan sebagai reduktor diantaranya memiliki gugus aktif seperti hidroksil ($-\text{OH}$), karboksil ($-\text{COOH}$), atau amino (NH_2) yang dapat mereduksi ion logam, dan mudah dioksidasi. Bahan alam yang dapat digunakan sebagai bioreduktor dalam *green synthesis* adalah bakteri, alga, mikroorganisme, enzim, dan tanaman (Nadaroglu et al., 2017). Di antara bahan alam yang tersedia, pemanfaatan ekstrak tanaman telah banyak digunakan (Ahmad et al., 2019) karena prosesnya yang lebih sederhana dan ketersediaan yang tinggi sehingga bahan ini lebih dipertimbangkan untuk digunakan (Dewi et al., 2019). Senyawa metabolit sekunder yang banyak terkandung dalam tanaman diantaranya flavonoid, alkaloid, steroid,

saponin, terpenoid dan tannin (Harborne, 1987), dimana komponen-komponen tersebut dapat bertindak sebagai pereduksi ion logam.

Beberapa metabolit sekunder yang dilaporkan dapat berperan sebagai bioreduktor dalam sintesis ZnO NPs diantaranya yaitu kuersetin (Kaningini et al., 2022), asam galat (Adeyemi et al., 2019), kumarin (Mbenga et al., 2022), viteksin (Ambika et al., 2019), katekin (Senthilkumar et al., 2022), genistein (Dobrucka et al., 2018), kaempferol (Vanathi et al. 2018), naringenin (Ramesh et al. 2019), asam klorogenat (Adeyemi et al., 2022), dan kuinon (Madan et al., 2019). ZnO NPs yang disintesis menggunakan bioreduktor tersebut dilaporkan menghasilkan ZnO dengan ukuran kristal 16 - 60 nm. Berdasarkan penelitian (Senthilkumar et al., 2022) ZnO NPs yang disintesis menggunakan bioreduktor katekin, menghasilkan ZnO NPs yang memiliki ukuran kristal paling kecil diantara bioreduktor yang dilaporkan sebelumnya, yaitu memiliki ukuran kristal sebesar 16 nm. Ukuran kristal ZnO NPs menjadi salah satu pertimbangan dalam pemilihan bioreduktor katekin, karena ukuran kristal dapat mempengaruhi sifat fotokatalis. Semakin kecil ukuran kristal maka semakin besar juga luas permukaan yang dihasilkan, sehingga akan semakin baik aktivitas fotokatalisnya. (Maulana et al., 2022)

Beberapa bahan yang dilaporkan sebagai sumber katekin diantaranya berasal dari jenis buah-buahan seperti anggur merah (30 mg/100g), apel (43 mg/100g), aprikot (25 mg/100g), beri hitam (11 mg/100g), beri merah (48 mg/100g), buah persik (14 mg/100g), ceri (22 mg/100g), kakao (61 g/100mg), dan stroberi (50 mg/100g). Selain dari buah, katekin juga ditemukan dalam tanaman teh, yaitu pada teh hitam (50 mg/100g), dan teh hijau (80 mg/100g) (Gadkari & Balaraman, 2018). Tanaman teh lebih dipilih dikarenakan ketersediannya lebih melimpah dan harganya lebih murah dibandingkan buah. Berdasarkan data tersebut, teh hijau memiliki kandungan katekin paling besar.

Penelitian (Jeronsia et al., 2020) melaporkan bahwa ekstrak dari daun teh hijau (*Camellia sinensis*), berperan sebagai bioreduktor yang baik dalam pembentukan berbagai nanopartikel. Hassan et al. (2019) berhasil mensintesis dan mengkarakterisasi nanopartikel perak (Ag) menggunakan ekstrak daun teh hijau. Penggunaan ekstrak teh

hijau dalam sintesis nanomaterial ZnO didasarkan pada kandungan fitokimianya yang mengandung senyawa fenolik, seperti flavonoid atau katekin, merupakan kelompok senyawa bioaktif yang termasuk dalam kelas polifenol (Vieira et al., 2023).

Sampai saat ini belum pernah dilaporkan sebelumnya penelitian mengenai sintesis ZnO NPs dengan metode *green synthesis* untuk aplikasi pengolahan limbah amoksisilin. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mensintesis ZnO NPs menggunakan katekin yang berasal dari ekstrak daun teh hijau sebagai agen pereduksi menggunakan metode yang ramah lingkungan dan sederhana. Karakterisasi dilakukan menggunakan FTIR, XRD, dan *Particle Size Analyzer*. Selanjutnya, ZnO NPs akan digunakan sebagai katalis dalam fotodegradasi amoksisilin, yang bertujuan untuk mengevaluasi sifat fotokatalis di bawah radiasi sinar ultraviolet (UV) pada variasi sinar UV A dan UV C, variasi pH larutan amoksisilin, variasi waktu penyinaran, dan variasi dosis katalis ZnO NPs.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah penelitian adalah:

1. Bagaimana kondisi optimum sintesis ZnO NPs menggunakan bioreduktor katekin?
2. Bagaimana karakteristik ZnO NPs yang disintesis menggunakan bioreduktor katekin?
3. Bagaimana efisiensi fotodegradasi amoksisilin menggunakan katalis ZnO NPs?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai:

1. Kondisi optimum sintesis ZnO NPs menggunakan bioreduktor katekin
2. Karakteristik ZnO NPs yang disintesis menggunakan bioreduktor katekin
3. Efisiensi fotodegradasi amoksisilin menggunakan katalis ZnO NPs

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan katalis untuk aplikasi remediasi lingkungan. Secara khusus, temuan dari penelitian ini

diharapkan dapat menjadi alternatif metode sintesis ZnO NPs yang ekonomis, sederhana, dan mudah, serta alternatif material dan informasi mengenai pengolahan limbah antibiotik.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian yang ditetapkan pada penelitian ini yaitu:

1. Penentuan kondisi optimum pada tahap sintesis ZnO NPs
2. Karakterisasi dibatasi pada FTIR, XRD, dan PSA
3. Pengujian kinerja dibatasi pada fotokatalis menggunakan limbah model kaplet Amoksisilin produksi Hexpharm

1.6 Struktur Organisasi Skripsi

Sistematika penulisan skripsi meliputi:

1. BAB I: Bab ini berisikan latar belakang penelitian, rumusan masalah penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta struktur organisasi skripsi.
2. BAB II: Bab ini berisikan dasar-dasar teori yang digunakan oleh peneliti untuk menguatkan argumen-argumen hasil penelitian yang telah dilakukan.
3. BAB III: Bab ini berisikan desain penelitian yang terdiri dari: alat dan bahan penelitian; bagan alir penelitian; prosedur penelitian serta prosedur karakterisasi, adapun waktu dan lokasi penelitian dilaksanakan.
4. BAB IV: Bab ini berisikan temuan penelitian dan pembahasan yang sesuai dengan tahapan penelitian yang telah dilakukan.
5. BAB V: Bab ini berisikan mengenai simpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian yang akan datang yang berhubungan dengan nanopartikel ZnO dalam fotokatalis antibiotik amoksisilin.