

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Rumah sakit menjadi salah satu sumber penghasil limbah cair dengan kandungan kompleks yang berasal dari aktivitas medis dan nonmedis, seperti bahan kimia, mikroorganisme patogen, serta zat radioaktif yang bersifat toksik. Residu farmasi antibiotik juga turut berkontribusi sebagai sumber pencemaran melalui air limbah rumah sakit akibat tidak terdegradasinya senyawa antibiotik secara sempurna di dalam tubuh pasien (Pijoh et al., 2021). Keberadaan antibiotik di perairan dikategorikan sebagai *Contaminants of Emerging Concern* (CECs) karena dapat memicu munculnya *Antibiotic Resistant Bacteria* (ARB) melalui penyebaran *Antibiotic Resistance Genes* (ARGs) (Rizzo et al., 2020).

Berdasarkan laporan *World Health Organization* (WHO) tahun 2017, *Escherichia coli* dan kelompok ESKAPE yang resisten terhadap berbagai antibiotik diidentifikasi sebagai ARB prioritas tinggi dan kritis bagi kesehatan masyarakat (Duarte et al., 2022). Bakteri *E. coli* paling banyak dikaji dalam berbagai penelitian karena berperan sebagai indikator yang representatif untuk menilai penyebaran resistensi antibiotik di lingkungan perairan (Turolla et al., 2018). Meskipun pengendalian air limbah domestik dari fasilitas pelayanan kesehatan telah diatur melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2025 dengan batas maksimum *fecal coliform* sebesar 200 MPN/100 mL, hingga saat ini belum terdapat regulasi spesifik yang mengatur keberadaan ARB, sehingga pelepasan limbah tanpa pengolahan memadai berpotensi mempercepat penyebaran resistensi antibiotik. Kondisi tersebut dapat meningkatkan paparan ARB pada organisme dan meningkatkan risiko penularan penyakit yang sulit diobati pada manusia melalui lingkungan.

Antibiotik β -laktam termasuk golongan antibiotik yang banyak mengalami resistensi pada *Escherichia coli*, terutama akibat produksi enzim *Extended-Spectrum β -Lactamase* (ESBL) yang mampu menghidrolisis cincin β -laktam sehingga menurunkan efektivitas antibiotik dan berkontribusi terhadap fenomena

Multi-Drug Resistance (MDR) (Veronica et al., 2025). Menurut penelitian oleh Nomoto et al., (2024), air sungai di sekitar rumah sakit Surabaya terdeteksi mengandung *E. coli* resisten antibiotik dengan tingkat resistensi tertinggi terhadap antibiotik golongan β -laktam. Hal ini mengindikasikan bahwa pengolahan air limbah rumah sakit belum sepenuhnya mampu menekan bakteri resisten antibiotik. Penelitian lain oleh Achmad et al., (2024), menyatakan bahwa konsentrasi *E. coli* pada air limbah *pre*-IPAL konvensional rumah sakit tipe C terdeteksi sebesar $6,2 \times 10^4$ CFU/mL dan menurun menjadi $4,8 \times 10^4$ CFU/mL pada *post*-IPAL, namun penurunan tersebut disertai dengan peningkatan tingkat resistensi antibiotik *E. coli* pada air limbah *post*-IPAL dibandingkan dengan *pre*-IPAL.

Pengelolaan *E. coli* resisten antibiotik tidak dapat dilakukan hanya dengan pengolahan konvensional. Keterbatasan unit pengolahan ini menyebabkan ARB belum terinaktivasi secara optimal sehingga masih berpotensi bertahan dan memfasilitasi perpindahan gen resistensi antarmikroorganisme (L. Zhu et al., 2024). Akibatnya, ARB masih dapat terdeteksi pada *effluent* dengan resistensi yang lebih tinggi. Menurut penelitian oleh Sompornpailin et al., (2024), adsorpsi menggunakan *Granular Activated Carbon* (GAC) efektif menurunkan toksisitas melalui penjerapan kontaminan dan bakteri. Namun, proses ini tidak menginaktivasi sel secara langsung sehingga bakteri resisten yang teradsorpsi masih dapat bertahan, terakumulasi, dan terlepas kembali. Selain itu, desinfeksi menggunakan UV mampu merusak DNA sel bakteri, tetapi belum sepenuhnya efektif dalam menghilangkan DNA ekstraseluler dan gen resistensi antibiotik tanpa dikombinasikan dengan proses lanjutan, seperti *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) (Naznine et al., 2025).

Penerapan *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) sebagai proses tambahan dapat merusak struktur dinding sel, membran, dan gen dari mikroorganisme sehingga dapat menurunkan jumlah ARB. Hal tersebut dikarenakan AOPs bekerja melalui pembentukan spesies oksidatif reaktif, terutama radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$), dengan kemampuan oksidasi tinggi dan bersifat non-selektif (Chakravorty & Roy, 2024). Fotokatalis dengan titanium dioksida (TiO_2) menunjukkan aktivitas optimal di bawah penyinaran UV karena eksitasi pasangan

elektron–hole yang efisien menghasilkan *Reactive Oxygen Species* (ROS) dalam jumlah signifikan untuk proses oksidasi dan inaktivasi mikroorganisme. Sementara itu, seng oksida (ZnO) juga menghasilkan ROS melalui mekanisme serupa, namun dilaporkan lebih dominan membentuk H_2O_2 yang lebih stabil serta berpotensi menembus membran sel, disertai kemungkinan kontribusi pelepasan ion Zn^{2+} terhadap efek antibakteri (O'Neill et al., 2023). Efektivitas kedua fotokatalis tersebut juga dipengaruhi oleh dosis yang digunakan, di mana peningkatan dosis dapat meningkatkan luas permukaan aktif dan jumlah ROS yang terbentuk, namun pada konsentrasi tertentu dapat menimbulkan *light scattering* yang justru menurunkan efisiensi proses fotokatalis (Gusain et al., 2020).

Dalam penelitian ini, dilakukan kombinasi adsorpsi sebagai *pretreatment* dan fotokatalis sebagai *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) melalui pengaturan jenis dan dosis katalis semikonduktor. Adsorpsi dilakukan untuk mengondisikan *influent* melalui penjerapan *Escherichia coli* dan kontaminan lain sehingga dapat meningkatkan efektivitas pengolahan di fotokatalis dalam meninaktivasi *Escherichia coli* resisten antibiotik pada air limbah rumah sakit. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar ilmiah dalam penentuan parameter operasional optimum serta referensi awal bagi perancangan dan optimalisasi unit pengolahan lanjutan air limbah rumah sakit.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jenis dan dosis katalis pada unit fotokatalis terhadap *Escherichia coli*, perubahan tingkat resistensi antibiotik ampicillin, dan kekeruhan pada kombinasi unit adsorpsi–fotokatalis?
2. Bagaimana kinerja kombinasi adsorpsi–fotokatalis dibandingkan dengan sistem fotokatalis tanpa adsorpsi dan adsorpsi–UV tanpa katalis terhadap penyisihan *Escherichia coli*, perubahan tingkat resistensi antibiotik ampicillin, dan kekeruhan?

1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan, maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh jenis dan dosis katalis pada unit fotokatalis terhadap penyisihan *Escherichia coli*, perubahan tingkat resistensi antibiotik ampicillin, dan kekeruhan pada kombinasi unit adsorpsi–fotokatalis.
2. Menganalisis kinerja kombinasi adsorpsi–fotokatalis dibandingkan dengan sistem fotokatalis tanpa adsorpsi dan adsorpsi–UV tanpa katalis terhadap penyisihan *Escherichia coli*, perubahan tingkat resistensi antibiotik ampicillin, dan kekeruhan.

1.4. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi ilmiah terkait pengolahan lanjutan air limbah rumah sakit dalam mengendalikan *Escherichia coli* dan tingkat resistensi antibiotik ampicillin menggunakan kombinasi unit adsorpsi–fotokatalis.
2. Menjadi dasar pengembangan dan optimasi sistem pengolahan berbasis kombinasi adsorpsi–fotokatalis melalui penentuan jenis dan dosis katalis yang efektif pada unit fotokatalis.
3. Mendukung upaya pengendalian pencemaran air dan pengurangan risiko penyebaran bakteri resisten antibiotik ke lingkungan.
4. Menjadi referensi bagi pengelola IPAL rumah sakit dalam penerapan pengolahan lanjutan yang lebih efektif.

1.5. Lingkup Penelitian

Ruang lingkup yang akan dibahas dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan sampel air limbah dari RSUD Haji Provinsi Jawa Timur di Surabaya.

2. Parameter yang diteliti adalah konsentrasi *Escherichia coli*, tingkat resistensi terhadap antibiotik ampicillin, dan kekeruhan (*turbidity*).
3. Penelitian dilakukan menggunakan kombinasi unit adsorpsi sebagai *pretreatment* dan fotokatalis sebagai *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) secara *continue*.
4. Reaktor adsorpsi menggunakan adsorben GAC dengan bahan batu bara dan massa 675 gram.
5. Reaktor fotokatalis menggunakan *fixed-bed photocatalysts* TiO₂ dan ZnO dengan metode *spread coating* pada media kasa *stainless steel 12 mesh*.
6. Penelitian ini dilakukan dengan skala laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Riset dan Teknologi serta Laboratorium Air, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Sains, UPN “Veteran” Jawa Timur.