

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. *Escherichia coli*

Escherichia coli adalah jenis bakteri dari kelompok coliform yang secara alami hidup di feses manusia atau hewan, dan oleh karena itu juga dikenal sebagai coliform feses. Bakteri ini bersifat gram-negatif, berbentuk batang, dan tidak menghasilkan spora. *Escherichia coli* sering ditemukan di air, sehingga kehadirannya di sana dapat digunakan sebagai indikator kontaminasi feses secara umum, baik dari hewan maupun manusia. Bakteri ini berbentuk batang pendek dan tebal, dengan ukuran sekitar $2,4 \mu\text{m} \times 0,4 \mu\text{m}$ hingga $0,7 \mu\text{m}$. Bersifat gram-negatif, tidak membentuk koloni, mampu bergerak secara aktif, dan tidak menghasilkan spora (Apriani *et al.*, 2016).

Escherichia coli mampu bertahan hidup berkat berbagai mekanisme adaptasi yang memungkinkan bakteri ini menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan yang keras dan tidak menguntungkan. Salah satu mekanisme utama adalah kemampuan *E. coli* untuk memasuki fase dormansi atau keadaan tidak aktif sementara saat menghadapi kekurangan nutrisi atau stres lingkungan, sehingga dapat mempertahankan kelangsungan hidupnya hingga kondisi membaik (Kosaka, Murata and Yamada, 2017).

Escherichia coli tidak hanya mampu bertahan hidup di lingkungan air, tetapi juga dapat mengembangkan berbagai mekanisme pertahanan terhadap fluktuasi tekanan lingkungan. Pada suhu optimal sekitar 37°C , bakteri ini menunjukkan pertumbuhan dan virulensi maksimum, termasuk kemampuan untuk memproduksi berbagai toksin dan faktor patogen yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia dan hewan. Selain itu, perubahan suhu yang sering terjadi sepanjang siklus musim juga mempengaruhi ekspresi gen yang terkait dengan virulensi dan resistensi antibiotik, sehingga *Escherichia coli* di lingkungan air tidak hanya bertahan hidup tetapi juga berpotensi menjadi sumber infeksi yang lebih berbahaya, terutama selama musim panas (El Badawy *et al.*, 2025).

Kehadiran *Escherichia coli* dalam air berfungsi sebagai indikator pencemaran air, yang menunjukkan kemungkinan kontaminasi oleh feses dan limbah rumah tangga. Pentingnya pemantauan kualitas air terletak pada fakta

bahwa strain *Escherichia coli* yang ditemukan dalam air seringkali mengandung gen resistensi antibiotik. Jika tidak dikendalikan dengan baik, gen-gen ini dapat menyebar melalui siklus air, mengancam kesehatan manusia dan ekosistem perairan (Cookson *et al.*, 2024).

B. Resistensi Antibiotik terhadap *Escherichia coli*

Antibiotik adalah obat yang digunakan untuk mengobati infeksi bakteri. Antibiotik dapat dikategorikan menjadi dua jenis: bakterisidal, yang membunuh bakteri, dan bakteristatik, yang menghambat pertumbuhan bakteri. Antibiotik dikelompokkan berdasarkan mekanisme kerja, komposisi kimia, dan jangkauan aktivitas antibakteri. Jangkauan antibiotik dibedakan berdasarkan efektivitasnya terhadap bakteri Gram-positif, Gram-negatif, aerobik, dan anaerobik. Antibiotik dikatakan memiliki spektrum luas jika aktivitasnya mencakup dua atau lebih kelompok bakteri (Permenkes RI, 2021).

Antibiotik yang umum digunakan untuk mengobati diare yang disebabkan oleh *Escherichia coli* meliputi kelas β -laktam (seperti amoksisilin dan kombinasi amoksisilin/asam klavulanat), sefalosporin (termasuk cefiofur dan cefquinome), aminoglikosida (seperti apramisin, neomisin, dan gentamisin), aminosiklitol (misalnya spectinomycin), sulfonamid yang dikombinasikan dengan trimethoprim (misalnya trimethoprim/sulfamethoxazole), fluoroquinolon (seperti enrofloxacin, marbofloxacin, dan danofloxacin), kuinolon (misalnya flumequin), dan polymyxin (seperti kolistin sulfat) (Luppi, 2017).

Resistensi mikroba terhadap antimikroba (disingkat: resistensi antimikroba, *antimicrobial resistance*, AMRI telah menjadi masalah kesehatan global, dengan berbagai dampak merugikan yang dapat menurunkan mutu pelayanan kesehatan. *Multi drug-resistant organisms* (MDRO) adalah mikroorganisme yang resisten terhadap dua atau lebih golongan antibiotik, termasuk *Escherichia coli* penghasil enzim *extended spectrum beta-lactamases* (ESBL) (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2018, 2018).

Resistensi antimikroba (AMR) mengakibatkan 1,27 juta kematian global pada tahun 2019 dan berkontribusi terhadap 4,95 juta kematian (WHO, 2023). Menurut perkiraan WHO, bahkan hingga tahun 2050, resistensi antibiotik

diperkirakan akan menyebabkan hingga 10 juta kematian per tahun, angka yang diketahui lebih tinggi daripada jumlah kematian akibat penyakit lain (Garg, 2024).

Resistensi antibiotik adalah respons evolusioner yang dikembangkan oleh bakteri sebagai reaksi terhadap antibiotik terapeutik. Dari perspektif klinis, semua patogen target awalnya rentan terhadap antibiotik saat pertama kali diberikan, tetapi penggunaan yang berkelanjutan memungkinkan bakteri untuk mengembangkan resistensi terhadapnya (Tufa *et al.*, 2023).

Pada sebuah data penelitian di Peru menunjukkan tentang tingkat resistensi *Escherichia coli* terhadap beberapa antibiotik diantaranya yaitu tetrasiklin (37,6%), ampicilin (34,2%), sulfametoksazol–trimetoprim (21,4%), dan asam nalidiksat (13%), amoksisilin-asam klavulanat (3,4 %), kloramfenikol (11,1 %), siprofloksasin (4,3%) (Larson *et al.*, 2019). Menurut penelitian lain, *Escherichia coli* yang diisolasi dari lingkungan RPH- R (Rumah Potong Hewan Ruminansia) Kota Bogor menunjukkan angka resistensi yang tinggi terhadap beberapa jenis antibiotik. Tingkat resistensi tertinggi adalah terhadap penisilin sebesar 100 %, amoksisilin 100 %, streptomisin 70 %, trimetoprim sulfametoksazol 60 %, dan tetrasiklin sebesar 30 % (Normaliska, Sudarwanto and Latif, 2019).

Penelitian di Zambia menunjukkan resistensi *Escherichia coli* terhadap ampicilin (81,4%), sulfametoksazol/trimetoprim (70,7%), siprofloksasin (67,9%), levofloksasin (64,6%), seftriakson (62,3%), dan sefuroksim (62%) (Kasanga *et al.*, 2024). Menurut penelitian dari Sungai Yamuna India, mengungkapkan bahwa resistensi *Escherichia coli* 95% (n = 38) ampicilin, 32% (n = 13) piperasilin, 42,5% (n = 17) sefazolin, 17,5% (n = 7) sefuroksim, 22,5% (n = 9) sefotaksim, dan 15% (n = 6) cefexim (Singh *et al.*, 2021).

Tabel 1 Uji Sensitivitas Antibiotik Peneliti Sebelumnya

Antibiotik	Total <i>E.coli</i> yang di Uji	Jumlah <i>E.coli</i> yang Resisten	Presentase Jumlah <i>E. coli</i> yang Resisten	Asal sampel
Ampisilin	n = 126	n(r)= 38	95 %	India
Ciprofloxacin	n=56,32 4	n(r)=66,8 -76,3	71,6 %	Asia (khusus China, India, dan Asia Tenggara)
Sulfametoksazol	n= 215	n(r)= 152	70,7 %	Zambia
Levofloksasin	n= 215	n(r)=139	64,6 %	Zambia
Amoxilin	n=56,32 4	n(r)= 49,8-61,5	55,7 %	Asia (khusus China, India, dan Asia Tenggara)
Tetracycline	n = 117	n(r)= 38	32,5 %	Peru
Gentamicin	n = 215	n(r)= 46	21,4 %	Zambia
Cefexim	n = 126	n(r)= 6	15 %	India
Chloramphenicol	n = 117	n(r)= 13	11,1 %	Peru
Nalidixic acid	n = 117	n(r)= 11	9,4 %	Peru

Sumber: (Larson *et al.*, 2019); (Kasanga *et al.*, 2024); (Singh *et al.*, 2021)

C. Penggunaan Antibiotik dalam Pengujian Resistensi terhadap *E. coli*

Penggunaan antibiotik yang tidak tepat dapat menyebabkan efek samping, seperti munculnya resistensi mikroorganisme terhadap antibiotik tertentu, peningkatan efek samping obat, dan bahkan dapat menyebabkan kematian. Dalam penelitian ini, dua golongan antibiotik berbeda digunakan. Antibiotik tersebut adalah sulphamethoxazole/trimethoprim dan ceftriaxone.(Pratiwi, 2018).

1. Ampicilin

Ampicilin termasuk dalam golongan obat yang disebut penisilin. Ampicilin dikategorikan sebagai aminopenisilin, sejenis penisilin dengan spektrum aksi yang luas. Mekanisme utama resistensi terhadap ampicilin melibatkan inaktivasi oleh β -laktamase, suatu enzim hidrolitik yang menghasilkan pembentukan turunan asam β -laktam tanpa aktivitas antibakteri (Bereda and Haemophilus, 2022)

2. Sulfamethoxazole/Trimethoprim

Sulfamethoxazole, dikenal sebagai 5-metil-3-sulfanilamidaisoxazole, adalah obat dari kelas sulfonamida, yang merupakan antimikroba yang banyak digunakan dalam kedokteran manusia dan hewan. Sulfonamida adalah agen pertama yang dikembangkan untuk mengobati infeksi bakteri yang digunakan secara luas dalam terapi infeksi saluran kemih dan gastrointestinal (Tahan, Machado and Malaguti, 2017).

3. Ceftriaxone

Ceftriaxone adalah antibiotik golongan sefalosporin generasi ketiga. Ceftriaxone bekerja secara selektif dan irreversibel dengan menghambat pembentukan dinding sel bakteri dengan cara mengikat transpeptidase, yang juga dikenal sebagai transamidase, yaitu protein pengikat penisilin (PBP) yang mengkatalisis polimerisasi peptidoglikan untuk membentuk dinding sel bakteri (Wardhana, Monoarfa and Monoarfa, 2018)

D. Standar Pengukuran Zona Daya Hambat

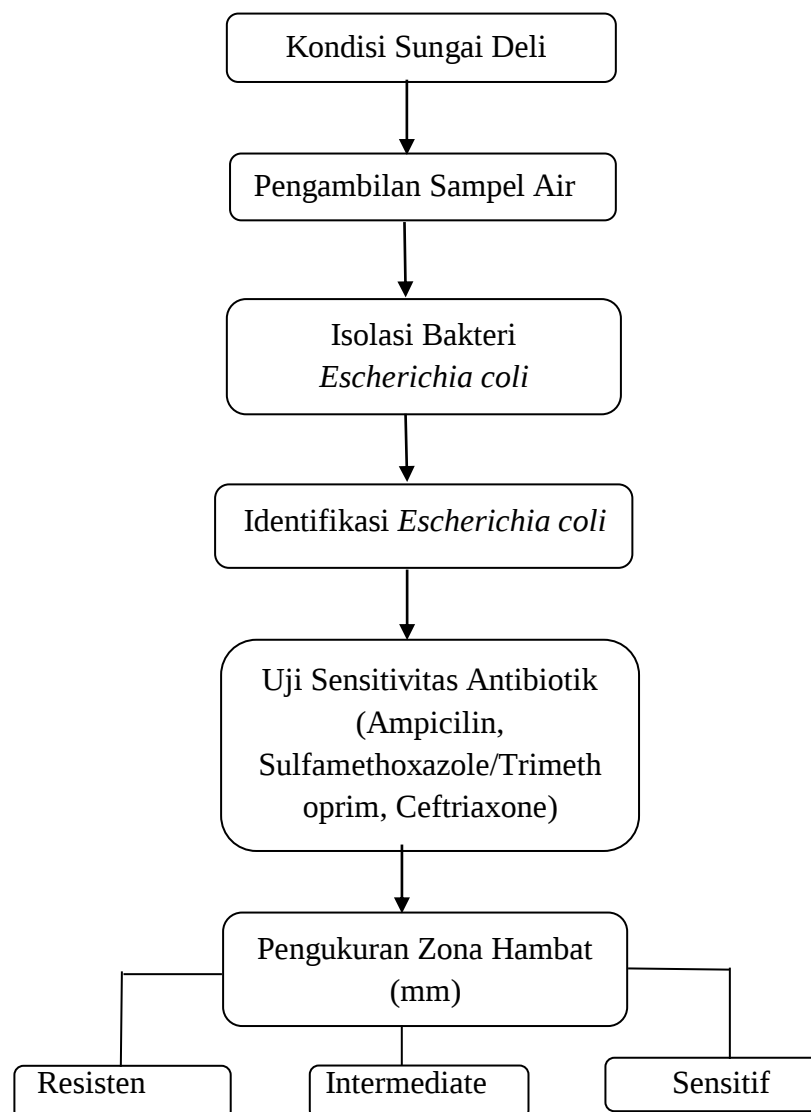
Metode difusi cakram digunakan untuk menguji sensitivitas bakteri terhadap antibiotik. Hasilnya dievaluasi berdasarkan diameter zona penghambatan yang muncul di sekitar cakram antibiotik. Standar internasional seperti *Clinical and Laboratory Standards Institute* (CLSI) dan *European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing* (EUCAST) memastikan interpretasi yang akurat dan konsisten. Kedua organisasi ini mengklasifikasikan zona penghambatan ke dalam kategori sensitif, intermediet, dan resisten untuk berbagai jenis antibiotik.

Tabel 2 Standar Pengukuran Zona Hambat

Antibiotik	Sensitif (S)	Intermediet (I)	Resisten (R)
Ampicilin	≥ 17 mm	14-16 mm	≤ 13 mm
Sulfamethoxazole/Trimethoprim	≥ 16 mm	11-15 mm	≤ 10 mm
Ceftriaxone	≥ 23 mm	20-22 mm	≤ 19 mm

Sumber: ((CLSI), 2023); ((EUCAST), 2023)

E. Kerangka Konsep

**Gambar 1** Kerangka Konsep Penelitian