

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Bakteri *Escherichia coli*

Bakteri *Escherichia coli* tergolong sebagai bakteri coliform. Bakteri coliform didefinisikan sebagai mikroorganisme anaerob fakultatif, gram negatif, berbentuk batang, tidak membentuk spora, dan mampu memfermentasi laktosa secara kuat sehingga menghasilkan asam dan gas pada suhu 37°C dalam rentang waktu 24 hingga 48 jam (Sari *et al.*, 2023). *Escherichia coli* adalah bakteri yang banyak ditemukan dalam usus besar manusia atau hewan berdarah panas lainnya. Beberapa strain *Escherichia coli* bersifat membahayakan, bahkan beberapa diantaranya dapat menyebabkan penyakit. *Escherichia coli* berasal dari limbah manusia dan hewan. Selama hujan air membawa limbah kotoran hewan dan manusia meresap ke dalam tanah atau mengalir dalam sumber air (Sarnino *et al.*, 2025).

##### 1. Morfologi Bakteri *Escherichia coli*

Bakteri *Escherichia coli* memiliki dimensi antara 1,0-1,5  $\mu\text{m}$  x 2,0-6,0  $\mu\text{m}$ , dapat tidak bergerak atau bergerak menggunakan flagela, serta mampu berkembang dengan tanpa oksigen. Bakteri ini memiliki sifat biokimia seperti kemampuan menghasilkan indol positif bewarna merah. *Escherichia coli* dapat bereproduksi atau membelah diri menjadi dua kali lipat dalam waktu 30 hingga 87 menit dengan suhu optimal 37°C. Bakteri ini masuk ke dalam famili Enterobacteriaceae, yang merupakan kelompok bakteri enterik. Bakteri enterik adalah jenis bakteri yang dapat bertahan hidup dan berkembang di saluran pencernaan (Rahayu, Nurjanah, & Komalasari, 2018).

##### 2. Klasifikasi *Escherichia coli*

Berdasarkan taksonominya, *Escherichia coli* di Klasifikasikan sebagai berikut ini (Sutiknowati, 2016)

*Domain* : *Bacteria*

*Kingdom* : *Eubacteria*

*Phylum* : *Proteobacteria*

*Class* : *Gammaproteobacteria*

*Ordo* : *Enterobacteriales*

*Familia* : *Enterobacteriaceae*

*Genus* : *Escherichia*

*Spesies* : *Escherichia coli*

Pendekatan taksonomi molekuler masa kini banyak menggunakan analisis gen 16S rRNA untuk mengenali dan menelusuri hubungan kekerabatan di antara bakteri, termasuk *Escherichia coli*, dengan tingkat akurasi filogenetik yang lebih tinggi. Selain dari segi pengelompokan, *Escherichia coli* juga menunjukkan kemampuan untuk beradaptasi yang didukung oleh adanya komponen biologis tertentu, salah satunya adalah polisakarida ekstraseluler (extracellular polymeric substances/EPS). Zat ini berfungsi dalam proses melekatnya sel bakteri pada permukaan, memberikan perlindungan dari tekanan lingkungan, serta berpartisipasi dalam pembentukan dan pemeliharaan struktur biofilm, sehingga memungkinkan *Escherichia coli* untuk bertahan lebih lama dalam kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan (Hayunda *et al.*, 2025).

## **B. Biofilm**

Biofilm adalah kumpulan mikroba yang melekat pada permukaan tertentu dan dilindungi oleh matriks zat polimer ekstraseluler yang dihasilkan oleh mikroorganisme tersebut. Struktur matriks EPS terdiri dari polisakarida, protein, lipid, dan asam nukleat yang berfungsi untuk melindungi dan mendukung struktur biofilm. Adanya matriks ini memungkinkan mikroorganisme untuk bertahan hidup dalam kondisi lingkungan yang kurang baik, termasuk paparan bahan antimikroba, perubahan pH, serta kekurangan nutrisi (Singh *et al.*, 2025).

Biofilm pertama kali diperhatikan oleh Antonie van Leeuwenhoek pada abad ke-17 ketika ia melihat sekumpulan mikroorganisme pada lapisan gigi dengan menggunakan mikroskop sederhana. Saat ini, biofilm dianggap sebagai salah satu jenis kehidupan mikroba yang paling umum di lingkungan, di mana mayoritas bakteri eksis dalam bentuk komunitas biofilm dibandingkan dalam kondisi sel bebas. Biofilm dapat dijumpai di berbagai tempat, seperti dalam air sungai, tanah,

jaringan tubuh manusia, serta pada permukaan alat medis (Krzyżek, 2024).

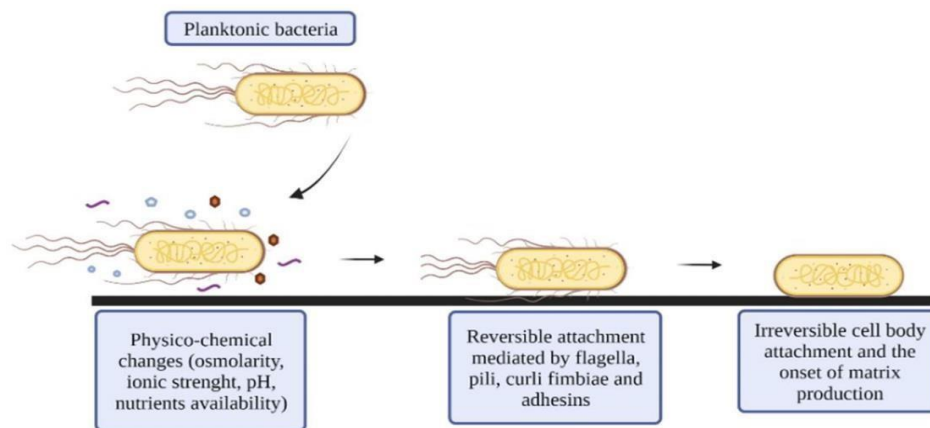
Sel-sel mikroorganisme yang menempel tertanam secara sering dalam matriks swa-produksi dari zat polimer ekstraseluler (Extracellular Polymeric Substance/EPS), yang juga disebut sebagai lendir (slime) (Meskipun tidak semua yang disebut lendir adalah biofilm), adalah aglomerasi polimer yang umumnya tersusun dari DNA yang berada di luar sel, protein, dan polisakarida. Mikroorganisme menciptakan biofilm yang terdiri dari struktur kaku yang lengket dari polisakarida dan kontaminan organik lainnya (Saharan, Beniwal and Duhan, 2024).

Biofilm dapat ditemukan di berbagai habitat air, seperti permukaan batu, tumbuhan air, dan sedimen sungai. Keberadaan biofilm menunjukkan kemampuan mikroorganisme untuk beradaptasi dan bertahan dalam kondisi lingkungan yang berubah-ubah. Mikroorganisme yang hidup dalam biofilm membentuk komunitas yang kompleks dan bervariasi, serta memiliki kemampuan metabolisme yang lebih luas dibandingkan dengan mikroorganisme yang hidup secara terpisah (planktonik). Pembentukan biofilm dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, termasuk suhu, pH, oksigen terlarut, ketersediaan nutrisi, kandungan bahan organik, polutan, serta interaksi antara mikroorganisme. Selain itu, proses pembentukan dan pemeliharaan biofilm melibatkan berbagai mekanisme biologis seperti quorum sensing, kemotaksis, pembentukan flagela, dan produksi Extracellular Polymeric Substances (EPS). Matriks EPS berfungsi sebagai pelindung yang membantu mikroorganisme mendapatkan nutrisi, menjaga stabilitas komunitas, serta meningkatkan ketahanan terhadap perubahan lingkungan. Oleh karena itu, biofilm dianggap sebagai salah satu strategi penting bagi mikroorganisme untuk bertahan hidup di habitat perairan (Thorpe *et al.*, 2025).

### **C. Pembentukan Biofilm *Escherichia Coli***

*Escherichia coli* adalah bakteri yang terkarakterisasi dengan baik dan memiliki peran penting dalam mikrobioma manusia. Namun, beberapa strainnya dapat bersifat patogen dan menimbulkan infeksi tidak hanya di saluran pencernaan tetapi juga di bagian tubuh manusia lainnya, di mana mereka mampu membentuk biofilm. Pembentukan biofilm pada *Escherichia coli* merupakan proses

perkembangan yang rumit yang terjadi dalam tahapan berbeda: penempelan reversibel dan irreversibel, pematangan, serta dispersi. Pembentukan biofilm pada *Escherichia coli* adalah proses perkembangan kompleks yang berlangsung dalam fase-fase berbeda: penempelan reversibel dan irreversibel, pematangan, dan dispersi (Belas, R., 2014) dalam penelitian (Ballén, V., 2022).



Gambar 1 Tahapan Proses Adhesi  
((Sumber: Ballén, V., 2022

Pada tahap awal pembentukan biofilm oleh *Escherichia coli*, dapat ditemukan dua jenis kelompok bakteri, satu kelompok yang terus-menerus memproduksi flagela dan kelompok lainnya di mana produksi flagela dihentikan. Hal ini terjadi karena *Escherichia coli* memiliki kemampuan untuk memproduksi organel ini dalam bentuk denyutan (pulses) (Ballén *et al.*, 2022).

Di tahap ini, terjadi hubungan yang dapat dipulihkan antara *Escherichia coli* dan permukaan, keterkaitan ini sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, seperti perubahan pH, suhu, dan ketersediaan oksigen. Perubahan tersebut dapat mengakibatkan pengaturan negatif kemotaksis dan pada akhirnya mengakibatkan hilangnya penempelan pada permukaan. Meskipun demikian, respons terhadap stres umumnya mengarah pada pergeseran dari sel planktonik menjadi biofilm, dengan hilangnya flagela sebagai salah satu langkah awal (Purba *et al.*, 2025).

Setelah *Escherichia coli* menempel dengan cara yang dapat dikembalikan, proses adhesi ke permukaan bisa menjadi permanen jika kondisi lingkungan mendukung gaya hidup menetap pada gambar 2.1 Peralihan dari penempelan yang

bisa dibalik menjadi yang tidak bisa dibalik adalah suatu proses teratur yang memungkinkan *Escherichia coli* untuk mengevaluasi lingkungan sekitar sebelum beralih ke fase biofilm. Untuk melakukan penempelan yang tidak bisa dikembalikan ini, *Escherichia coli* mengandalkan tiga jenis struktur organel: pili konjugatif, serat curli, dan fimbriae tipe 1 (Purba *et al.*, 2025).

#### **D. Dampak Biofilm Terhadap Kesehatan Manusia**

Biofilm adalah sekumpulan mikroorganisme yang menempel pada permukaan dan dikelilingi oleh matriks ekstraseluler yang dihasilkan oleh bakteri itu sendiri. Keberadaan biofilm menjadi hal yang sangat diperhatikan dalam bidang kesehatan karena dapat memperkuat kemampuan bakteri untuk bertahan hidup, menghindari respons imun tubuh, dan mengurangi efektivitas obat antibiotik. Bakteri yang hidup dalam bentuk biofilm memiliki tingkat ketahanan yang lebih tinggi dibandingkan bakteri yang tidak terikat (hidup bebas), sehingga infeksi yang ditimbulkan biasanya lebih sulit untuk diobati dan sering kali bersifat kronis (Liu, Prentice and Webber, 2024).

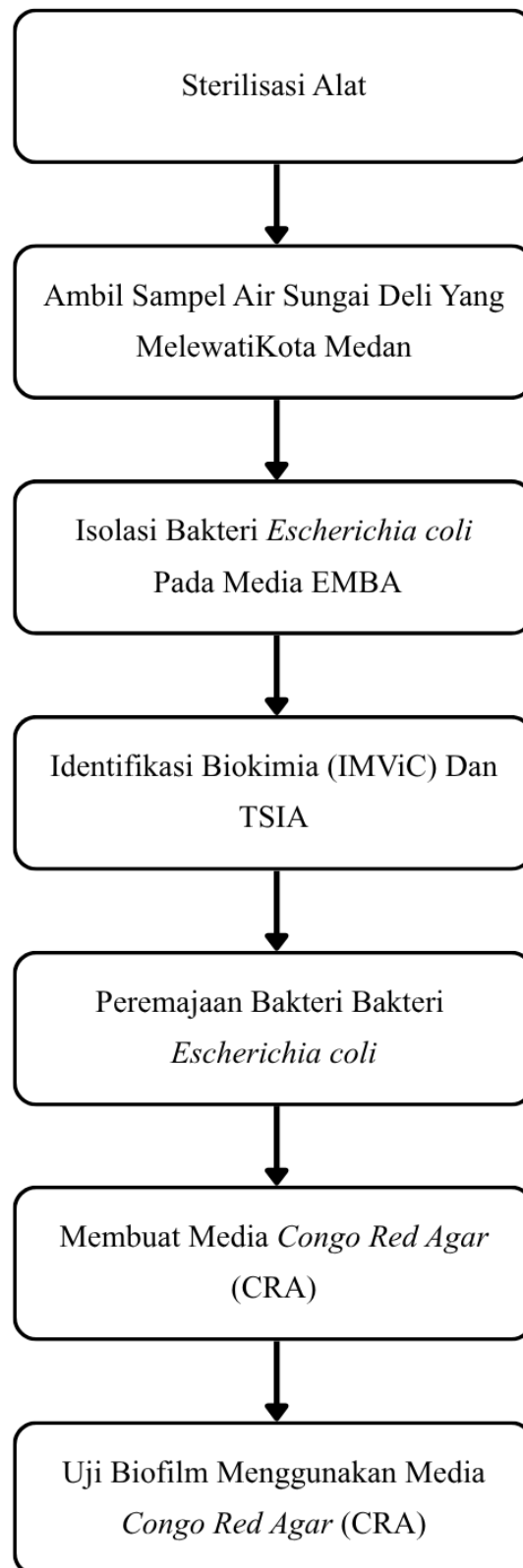
Salah satu dampak utama biofilm terhadap kesehatan adalah meningkatnya resistensi terhadap antibiotik. Matriks biofilm berperan sebagai penghalang fisik yang mencegah antibiotik masuk ke dalam sel-sel bakteri. Di samping itu, bakteri yang terkandung dalam biofilm mengalami perubahan pada fungsi tubuh yang mengakibatkan berkurangnya reaksi terhadap berbagai agen antimikroba. Kondisi ini memungkinkan bakteri untuk tetap bertahan hidup walaupun telah menerima pengobatan antibiotik, sehingga proses penyembuhan infeksi menjadi lebih menantang dan dapat mengakibatkan kegagalan pengobatan (Liu, Prentice and Webber, 2024).

Biofilm juga berkontribusi pada munculnya berbagai infeksi kronis pada manusia. Infeksi yang berkaitan dengan biofilm dapat ditemukan pada saluran kemih, luka yang tidak kunjung sembuh, infeksi paru, endokarditis, osteomielitis, serta infeksi yang terkait dengan penggunaan alat kesehatan seperti kateter, prostesis sendi, dan implan medis. Bakteri yang terlindungi oleh biofilm mampu bertahan lama di dalam tubuh dan terus memicu peradangan, sehingga memperlambat proses penyembuhan (Wang *et al.*, 2023).

Di dalam lingkungan perairan, biofilm juga memiliki pengaruh signifikan

terhadap kesehatan masyarakat. Biofilm dapat menjadi habitat bagi berbagai bakteri patogen, termasuk *Escherichia coli*, yang diakibatkan oleh pencemaran limbah rumah tangga serta kotoran manusia dan hewan. Keberadaan biofilm di sungai, saluran distribusi air, dan sumber-sumber air lainnya memungkinkan bakteri bertahan lebih lama dan meningkatkan risiko penularan penyakit yang ditularkan melalui air. Air yang terkontaminasi oleh bakteri pembentuk biofilm dapat menyebabkan gangguan pencernaan, diare, gastroenteritis, serta penyakit lainnya apabila digunakan oleh masyarakat tanpa proses pengolahan yang baik (Erdei-Tombor, Kiskó and Taczman-Brückner, 2024).

### E. Kerangka Konsep Penelitian



Gambar 2 Kerangka Konsep