

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sputum

2.1.1 Pengertian Sputum

Sputum merupakan lendir yang berasal dari paru-paru, bronkus, dan trakea yang dapat dikeluarkan melalui batuk atau dikeluarkan bersama muntahan. Pengeluaran sputum dapat terjadi secara alami melalui batuk maupun dengan bantuan drainase postural untuk membantu mengeluarkan sekret dari saluran pernapasan bagian bawah. Penumpukan dahak di saluran pernapasan dapat memicu peradangan dan berkembang menjadi infeksi, sehingga menyebabkan gejala batuk menjadi semakin berat. Batuk sendiri termasuk salah satu keluhan kesehatan yang paling sering dialami masyarakat, dengan jumlah kunjungan klinis yang tinggi setiap tahunnya, dan sebagian kasus memerlukan pemeriksaan lebih lanjut oleh dokter spesialis paru (Sam & Manado, 2025).

Pemeriksaan sputum merupakan salah satu metode laboratorium yang penting dalam membantu menegakkan diagnosis infeksi saluran pernapasan. Kualitas sputum yang digunakan sangat memengaruhi hasil pemeriksaan, sehingga sampel yang diperiksa harus berasal dari saluran pernapasan bawah dan bukan berupa ludah atau sekret hidung. Pemeriksaan sputum berfungsi untuk mengidentifikasi mikroorganisme penyebab infeksi, sehingga dapat membantu proses identifikasi penyebab penyakit dan mendukung penegakan diagnosis secara tepat (Devi Listiana, 2020).

Sputum adalah lendir yang berasal dari paru-paru dan bronkus, kemudian dikeluarkan melalui batuk. Dahak mengandung lendir, sel pertahanan tubuh, dan kuman sehingga dapat digunakan untuk mengetahui adanya infeksi atau peradangan pada paru-paru. Berbeda dengan sputum, saliva (air liur) dihasilkan oleh kelenjar ludah di dalam mulut. Saliva mengandung air, enzim, protein, dan mikroorganisme mulut. Karena tidak berasal dari paru-paru, saliva tidak dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi saluran pernapasan bawah. Saat pengambilan sampel dahak, saliva sering bercampur dengan sputum sehingga perlu dipisahkan. Biasanya saliva berada di bagian atas sampel, sedangkan dahak dari paru-paru berada di bagian bawah. Sementara itu, sekret saluran napas adalah istilah umum untuk lendir yang dihasilkan oleh saluran pernapasan, baik bagian atas maupun bawah. Sputum termasuk sekret saluran napas yang berasal dari saluran pernapasan bawah dan dikeluarkan melalui batuk. Lendir ini berfungsi sebagai benteng pertahanan tubuh untuk menangkap debu, kuman, dan benda asing, yang kemudian dibuang melalui batuk atau gerakan rambut halus di saluran napas. Dalam kondisi sehat, cairan ini bersifat encer sehingga mudah dibersihkan. Namun, pada penderita penyakit paru menahun atau infeksi, lendir tersebut dapat berubah menjadi sangat kental. Akibatnya, lendir menjadi sulit dikeluarkan dan memicu risiko infeksi berulang (Enjuto et al., 2024).

2.1.2 Karakteristik Sputum

Warna, konsistensi, dan bau sputum merupakan karakteristik makroskopis yang dapat digunakan untuk menilai kualitas spesimen sebelum dilakukan pemeriksaan mikrobiologi. Sputum yang baik umumnya berwarna hijau karat karena mengandung lendir, sel-sel peradangan, dan bahan infeksi dari saluran

pernapasan bawah, sehingga lebih representatif terhadap kondisi paru-paru. Sebaliknya, sputum yang bening atau menyerupai air liur cenderung kurang baik karena kemungkinan berasal dari rongga mulut dan dapat memengaruhi ketepatan hasil pemeriksaan. Selain warna, konsistensi sputum juga menjadi indikator penting. Sputum yang kental, mukopurulen, atau purulen lebih menunjukkan adanya lendir, sel peradangan, dan mikroorganisme dari saluran pernapasan bawah dibandingkan sputum yang encer. Sputum dengan konsistensi tersebut dinilai lebih representatif untuk pemeriksaan dan identifikasi mikroorganisme. Bau sputum juga dapat menjadi informasi tambahan mengenai kondisi sampel, terutama adanya proses infeksi, tetapi tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya dasar penilaian. Dengan demikian, warna, konsistensi, dan bau perlu diamati secara bersama untuk menentukan kelayakan sputum sebagai spesimen pemeriksaan laboratorium (Listyowati et al., 2022).

2.1.3 Pengambilan Sampel Sputum

Pengambilan sampel sputum merupakan tahap penting dalam pemeriksaan mikrobiologi untuk memperoleh spesimen yang berkualitas sehingga proses identifikasi mikroorganisme pada sampel sputum dapat dilakukan secara optimal. Kualitas sputum sangat memengaruhi ketepatan hasil pemeriksaan, karena sampel yang terkontaminasi saliva dapat menyebabkan hasil yang kurang akurat. Persiapan pasien dan teknik pengambilan sputum perlu dilakukan dengan benar. Sebelum pengambilan sampel, pasien dianjurkan mengeluarkan dahak pada pagi hari karena sputum pagi umumnya mengandung akumulasi sekret saluran pernapasan yang lebih banyak. Pasien juga disarankan minum air putih untuk membantu merangsang pengeluaran sputum. Pengambilan dilakukan sebelum pasien makan atau minum

selain air putih guna mengurangi risiko kontaminasi. Selain itu, pasien perlu membilas mulut menggunakan air bersih tanpa berkumur terlalu kuat untuk membersihkan sisa makanan tanpa meningkatkan risiko tercampurnya saliva pada sampel ((Amrullah & Syahri, 2025).

Dalam proses pengambilan, pasien diarahkan untuk melakukan batuk dalam dari saluran napas bawah agar sputum yang dihasilkan berupa dahak kental atau purulen, bukan air liur. Sampel dikumpulkan menggunakan wadah steril bermulut lebar dan bertutup rapat hingga jumlah sputum mencukupi untuk pemeriksaan laboratorium. Apabila pasien mengalami kesulitan mengeluarkan sputum, dapat dilakukan tindakan induksi menggunakan larutan saline atau metode lain sesuai prosedur laboratorium. Setelah pengambilan, sampel sputum harus segera ditutup rapat, diberi label identitas pasien, serta dicatat waktu pengambilannya. Apabila pemeriksaan tidak segera dilakukan, sampel disimpan pada suhu dingin untuk menjaga kualitas spesimen dan viabilitas bakteri di dalamnya (Mendonca et al., 2025). (Gambar 2.1)



Gambar 2. 1 Cara Pengambilan Sputum (WHO, 2024).

2.2 Identifikasi dan Kultur Bakteri

2.2.1 Identifikasi Bakteri

Identifikasi bakteri merupakan proses pemeriksaan yang dilakukan untuk mengetahui jenis dan karakteristik bakteri dalam suatu spesimen. Identifikasi dapat dilakukan melalui pengamatan koloni bakteri, bentuk dan susunan sel, pewarnaan Gram, serta uji biokimia. Pemeriksaan ini membantu membedakan jenis bakteri berdasarkan ciri-ciri yang dimilikinya. Secara makroskopis, bakteri dapat dikenali dengan mengamati koloni yang tumbuh pada media kultur, seperti bentuk, ukuran, warna, dan permukaan koloni. Pengamatan ini menjadi langkah awal untuk menentukan jenis bakteri. Secara mikroskopis, identifikasi dilakukan dengan pewarnaan Gram untuk melihat sifat Gram, bentuk, dan susunan bakteri. Preparat kemudian diamati menggunakan mikroskop dengan pembesaran $100\times$ dan minyak imersi. Selain itu, identifikasi dapat dilakukan dengan uji biokimia, seperti uji katalase dan koagulase. Uji katalase digunakan untuk melihat kemampuan bakteri

menghasilkan enzim katalase yang ditandai dengan terbentuknya gelembung setelah penambahan hidrogen peroksida. Uji koagulase digunakan untuk mengetahui kemampuan bakteri menghasilkan enzim koagulase yang ditandai dengan terbentuknya gumpalan atau presipitat (Utama, 2022).

2.2.2. Kultur Bakteri

Kultur bakteri merupakan metode pemeriksaan mikrobiologi yang dilakukan dengan cara menumbuhkan bakteri dari suatu sampel pada media kultur yang sesuai. Tujuan kultur adalah memperoleh pertumbuhan bakteri dalam bentuk koloni sehingga dapat diamati dan digunakan untuk proses identifikasi lebih lanjut. Proses kultur dimulai dengan mengambil sampel menggunakan ose steril, kemudian sampel diinokulasikan pada media kultur yang telah disiapkan. Setelah itu, media diinkubasi pada suhu 35–37°C selama 24–48 jam agar bakteri dapat tumbuh dan membentuk koloni. Keberhasilan proses kultur bakteri dipengaruhi oleh kesesuaian media kultur, kondisi inkubasi, kualitas sampel, serta penerapan teknik aseptik. Penerapan teknik aseptik bertujuan untuk mencegah terjadinya kontaminasi oleh mikroorganisme lain yang dapat memengaruhi hasil pemeriksaan kultur (Sabrina, 2026).

2.2.3 Alat yang digunakan di RSUD Dr. Mohamad Soewandhie Surabaya

Identifikasi bakteri dilakukan menggunakan VITEK 2 Compact dengan kartu identifikasi yang dipilih berdasarkan karakteristik mikroorganisme yang diperiksa. Prinsip kerja alat ini menggunakan reaksi biokimia yang menunjukkan aktivitas metabolisme bakteri terhadap substrat yang terdapat pada kartu identifikasi. Setiap kartu memiliki sejumlah mikrowell yang mengandung substrat

identifikasi, kemudian reaksi yang terjadi selama pemeriksaan dibaca secara otomatis oleh sistem. Pola reaksi yang diperoleh selanjutnya dianalisis dan dibandingkan dengan database mikroorganisme untuk menentukan identitas bakteri yang diperiksa.

Pemeriksaan diawali dengan menyiapkan koloni bakteri yang berasal dari kultur murni. Koloni bakteri diambil secara aseptik menggunakan ose steril dan dibuat suspensi bakteri dalam larutan yang sesuai dengan prosedur kartu identifikasi. Suspensi kemudian dihomogenkan dan dilakukan penyesuaian kekeruhan menggunakan alat pengukur densitas hingga mencapai standar inokulum yang dipersyaratkan. Suspensi yang telah memenuhi standar selanjutnya ditempatkan pada cassette bersama kartu identifikasi VITEK 2. Pemilihan kartu disesuaikan dengan kelompok bakteri, seperti GN ID Card untuk bakteri Gram negatif dan GP ID Card untuk bakteri Gram positif.

Cassette yang telah berisi suspensi bakteri dan kartu identifikasi kemudian dimasukkan ke dalam instrumen VITEK 2 Compact. Setelah cassette ditempatkan pada alat, proses selanjutnya berlangsung secara otomatis, meliputi inokulasi, inkubasi, dan pembacaan kartu. Suspensi bakteri akan masuk ke dalam mikrowell pada kartu yang mengandung berbagai substrat biokimia. Selama proses inkubasi, bakteri akan memberikan reaksi terhadap substrat tersebut sesuai dengan karakteristik metaboliknya. Reaksi yang terbentuk kemudian dideteksi oleh sistem melalui pembacaan optik sehingga menghasilkan pola biokimia yang digunakan untuk proses identifikasi.

Hasil pembacaan dari setiap reaksi kemudian dianalisis oleh perangkat lunak VITEK 2 dan dibandingkan dengan database mikroorganisme yang tersedia pada sistem. Berdasarkan pola reaksi tersebut, sistem memberikan hasil identifikasi mikroorganisme yang diperiksa. Hasil yang diperoleh selanjutnya diperiksa dan divalidasi oleh petugas laboratorium sebelum dilaporkan sebagai hasil pemeriksaan. Penggunaan VITEK 2 Compact dapat membantu mempercepat proses identifikasi mikroorganisme serta mengurangi tahapan kerja manual karena proses inkubasi dan pembacaan dilakukan secara otomatis (Biomérieux., n.d.).

2.3 Bakteri Aerob

2.3.1 Definisi Bakteri Aerob

Bakteri dapat diklasifikasikan berdasarkan kebutuhan oksigennya, salah satunya adalah bakteri aerob, yaitu bakteri yang memerlukan oksigen untuk proses metabolisme, pertumbuhan, dan reproduksi. Oksigen berperan sebagai akseptor elektron akhir dalam respirasi sel untuk menghasilkan energi (ATP) yang digunakan dalam berbagai aktivitas sel. Bakteri aerob tumbuh optimal pada lingkungan yang kaya oksigen dan sebagian dapat menjadi patogen oportunistik ketika daya tahan tubuh menurun atau terjadi kerusakan jaringan. Beberapa bakteri aerob yang sering menyebabkan infeksi pada manusia antara lain *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Staphylococcus aureus*. Salah satu karakteristik penting bakteri aerob patogen adalah kemampuannya membentuk biofilm, yaitu lapisan mikroorganisme yang melekat pada jaringan tubuh atau alat medis. Biofilm melindungi bakteri dari respons imun dan mengurangi efektivitas antibiotik, sehingga infeksi menjadi lebih sulit diobati, cenderung menetap, dan berisiko kambuh. Pemahaman mengenai karakteristik, pertumbuhan, dan

patogenitas bakteri aerob sangat penting dalam mendukung upaya pencegahan, diagnosis, serta pengendalian infeksi bakteri. (Amelia, 2025).

Bakteri aerob merupakan kelompok bakteri yang memerlukan oksigen untuk mendukung proses pertumbuhan dan aktivitas metabolismenya. Oksigen berperan penting dalam proses fosforilasi oksidatif, yaitu sebagai akseptor elektron yang membantu bakteri menghasilkan energi untuk mempertahankan kehidupan dan berkembang biak. Keberadaan oksigen menjadi faktor utama yang menentukan kemampuan pertumbuhan bakteri aerob di suatu lingkungan. Bakteri yang termasuk dalam kelompok aerob dapat ditemukan di berbagai lingkungan dan beberapa di antaranya berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan. Dalam file ini dijelaskan bahwa *Escherichia coli* termasuk ke dalam golongan bakteri aerob yang dapat menyebabkan infeksi saluran pencernaan apabila mencemari bahan konsumsi, seperti es batu yang tidak memenuhi standar kebersihan. Selain *Escherichia coli*, beberapa contoh bakteri aerob lainnya yaitu *Bacillus sp.* dan *Streptococcus sp* (Izaty et al., 2024).

Dalam dunia medis, bakteri dikelompokkan berdasarkan kebutuhannya terhadap oksigen. Bakteri aerob adalah jenis yang memerlukan oksigen untuk tumbuh. Saat ini, identifikasi bakteri dapat dilakukan melalui metode konvensional maupun sistem otomatis. Salah satu teknologi terbaru yang digunakan adalah mesin Vitek-2, yang mampu mempercepat proses identifikasi secara signifikan. Keunggulan teknologi ini tidak hanya pada kecepatannya, tetapi juga kemampuannya dalam memberikan hasil uji kepekaan antibiotik yang akurat. Seluruh hasil tersebut telah divalidasi dan disusun berdasarkan standar internasional

dari *The Clinical Laboratory Standard International*, sehingga sangat dapat diandalkan untuk menentukan pengobatan yang tepat (Malahayati, 2023).

2.3.2 Karakteristik Bakteri Aerob

Bakteri aerob merupakan kelompok mikroorganisme yang memerlukan oksigen untuk pertumbuhan serta metabolisme, dan keberadaannya di lingkungan, baik udara maupun pangan, sering kali menjadi indikator kualitas sanitasi serta risiko kesehatan masyarakat. Berdasarkan analisis morfologi, bakteri aerob yang ditemukan di lingkungan udara laboratorium didominasi oleh kelompok bakteri Gram-positif dari genus *Staphylococcus sp.* dan *Bacillus sp.*, Genus *Staphylococcus sp.* secara mikroskopis menunjukkan bentuk kokus dan memiliki kemampuan biokimia untuk memfermentasi berbagai jenis gula seperti glukosa, laktosa, sukrosa, dan manitol, serta menghasilkan enzim katalase yang berperan dalam mekanisme pertahanan seluler. Di sisi lain, genus *Bacillus* memiliki karakteristik unik berupa kemampuan pembentukan endospora yang memungkinkan bakteri ini bertahan hidup dalam kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti fluktuasi suhu dan stres kimia, sehingga sel vegetatifnya tetap dapat terdispersi secara luas melalui perantara angin dan partikel debu di atmosfer (Prawitasari et al., 2026).

Dalam aspek fisiologi pertumbuhan, kelompok mikroorganisme ini memiliki karakteristik metabolisme yang khas, yaitu mutlak membutuhkan ketersediaan oksigen bebas di lingkungannya agar dapat bertumbuh, berkembang biak, dan menjalankan aktivitas seluler secara optimal. Di samping karakteristik biologis tersebut, eksistensi bakteri ini di alam juga ditandai oleh sifat patogenisitasnya yang tinggi, sehingga paparan atau kontaminasi kuman tersebut pada media tertentu seperti bahan makanan dapat bertindak sebagai agen penyebab

infeksi yang memicu timbulnya berbagai manifestasi penyakit pada organisme inang yang ditumpanginya (John Porutu, 20021).

Bakteri dapat bersifat aerob karena memiliki kebutuhan oksigen bebas untuk menjalankan respirasi sel dan menghasilkan energi. Oksigen berperan sebagai penerima elektron terakhir dalam rantai transpor elektron, sehingga proses metabolisme dapat berlangsung secara efektif. Selain itu, bakteri aerob memiliki enzim pelindung seperti superoksida dismutase, katalase, dan peroksidase yang membantu menetralkan senyawa beracun hasil metabolisme oksigen. Karena itu, bakteri aerob mampu hidup dan berkembang pada lingkungan yang mengandung oksigen. Sebaliknya, bakteri anaerob tidak memiliki sistem enzim pelindung yang memadai untuk menghadapi oksigen. Saat terpapar oksigen, bakteri anaerob dapat membentuk hidrogen peroksida dan *Reactive Oxygen Species* yang bersifat toksik, sehingga pertumbuhannya terhambat atau bahkan mati (Malahayati, 2023)

Klasifikasi berdasarkan Gram terhadap isolat bakteri aerob yang ditemukan pada sampel sputum terbagi menjadi dua kelompok utama dengan dominasi mutlak pada kelompok Gram-positif yang mencapai 81,25% dari total keseluruhan sampel, sementara kelompok bakteri Gram-negatif hanya mempresentasikan porsi minoritas sebesar 18,75%. Diferensiasi struktural ini berimplikasi langsung pada karakteristik morfologi mikroskopis sel, di mana mayoritas biakan bakteri Gram-positif tersebut memanifestasikan bentuk bulat (*coccus*) seperti pada genus *Staphylococcus* dan *Streptococcus*, sedangkan seluruh isolat bakteri Gram-negatif secara konsisten menunjukkan morfologi berbentuk batang (*basil*). Pembagian filogenetik berdasarkan pengecatan Gram ini menjadi parameter fundamental dalam mengidentifikasi pola sebaran kuman aerob patogen, sekaligus

menjadi landasan klinis utama untuk memprediksi karakteristik awal serta sifat struktural dinding sel bakteri sebelum dilanjutkan pada tahapan uji biokimia spesifik (Caitlin et al., 2025).

2.3.3 Faktor Resiko

Pertumbuhan bakteri aerob dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, terutama ketersediaan oksigen, karena oksigen diperlukan dalam proses respirasi untuk menghasilkan energi. Selain itu, suhu, ketersediaan nutrisi, dan media pertumbuhan juga berperan dalam mendukung metabolisme dan perkembangbiakan bakteri. Nutrisi yang cukup akan mempercepat pertumbuhan, sedangkan kekurangannya dapat menghambat perkembangan bakteri. Bakteri aerob juga memiliki enzim pelindung, seperti katalase, peroksidase, dan superoksida dismutase, yang berfungsi menetralkan senyawa toksik hasil metabolisme oksigen sehingga memungkinkan bakteri bertahan pada lingkungan yang kaya oksigen. Di samping itu, lingkungan yang kurang bersih, adanya kontaminasi, serta luka terbuka dapat mempermudah bakteri masuk ke jaringan tubuh, berkembang biak, dan meningkatkan risiko terjadinya infeksi (Malahayati, 2023).

2.3 Bakteri Yang Sering Ditemukan Pada Kultur Sputum

Pemeriksaan dan kultur sputum merupakan salah satu metode diagnostik yang efektif untuk mengetahui mikroorganisme penyebab infeksi saluran pernapasan. Bakteri yang ditemukan dari hasil kultur sputum pada pasien rawat inap maupun penderita infeksi saluran napas bawah sangat beragam, mencakup bakteri aerob Gram positif dan Gram negatif (Juwiyanti et al., 2025).

Berdasarkan penelitian (Caitlin et al., 2025) pola bakteri didominasi oleh kelompok Gram positif sebagai berikut:

- 1) *Staphylococcus* sp. Bakteri Gram positif berbentuk *coccus* yang menjadi isolat paling dominan dalam kultur sputum dengan persentase mencapai 62,50%. Bakteri ini merupakan flora normal pada kulit dan membran mukosa, namun dapat bermutasi menjadi patogen nosokomial saat imun pasien menurun.
- 2) *Bacillus* sp. Bakteri Gram positif berbentuk basil dengan prevalensi sebesar 12,50%. Bakteri ini banyak ditemukan di lingkungan bebas (tanah dan udara) dan dapat terhirup masuk ke saluran napas.
- 3) *Streptococcus* sp. Bakteri Gram positif berbentuk *coccus* dengan prevalensi 6,25%. Mikroorganisme ini merupakan flora normal saluran pernapasan atas yang dapat menginvasi saluran pernapasan bawah jika sistem pertahanan tubuh inang melemah.

Berdasarkan penelitian (Juwiyanti et al., 2025) ditemukan pola bakteri Gram negatif *Multidrug Resistant* (MDR) yang meliputi:

- 1) *Klebsiella pneumoniae* ditemukan sebanyak 14 isolat (19,4%) dari kultur sputum. Bakteri ini dikenal sebagai patogen oportunistik utama penyebab *pneumonia* nosocomial.
- 2) *Pseudomonas aeruginosa* ditemukan sebanyak 14 isolat (19,4%). Bakteri ini memiliki kemampuan adaptasi yang sangat tinggi di area rumah sakit dan dapat bertahan hidup pada cairan nonsteril dengan nutrisi minimum.

- 3) *Escherichia coli* teridentifikasi sebanyak 10 isolat (13,9%) pada sampel sputum. Mayoritas isolat yang ditemukan merupakan galur *ESBL* (*Extended Spectrum Beta-Lactamase*) dan CRE (*Carbapenem-Resistant Enterobacteriaceae*).

2.3.1 *Staphylococcus* sp

Staphylococcus sp. adalah jenis bakteri patogen yang dapat dikelompokkan berdasarkan sifat kimia dan jenis enzim yang dihasilkannya. Melalui uji laboratorium, semua bakteri dalam kelompok ini terbukti mampu mengurai hidrogen peroksida karena menghasilkan reaksi positif pada uji katalase. Secara umum, genus bakteri ini dibagi menjadi dua kelompok besar berdasarkan ada atau tidaknya enzim koagulase. Kelompok pertama adalah *Coagulase-Positive Staphylococci* (CoPS) yang contoh utamanya adalah *Staphylococcus aureus*. Kelompok kedua adalah *Coagulase-Negative Staphylococci* (CoNS), yang mencakup berbagai jenis spesies seperti *S. saprophyticus*, *S. haemolyticus*, *S. simulans*, *S. epidermidis*, *S. lugdunensis*, *S. schleiferi*, *S. capitis*, dan *S. cohnii* (Tutur & Resistance, 2023). Berikut klasifikasi bakteri *Staphylococcus* sp:

Domain	: <i>Bacteria</i>
Kingdom	: <i>Eubacteria</i>
Kelas	: <i>Firmicutes</i>
Divisi	: <i>Cocci</i>
Ordo	: <i>Eubacteriales</i>
Famili	: <i>Staphylococcaceae</i>
Genus	: <i>Staphylococcus</i>
Spesies	: <i>Staphylococcus aureus</i> (Shari & Humaira, 2025).

a. Morfologi *Staphylococcus sp*

1) Makroskopis

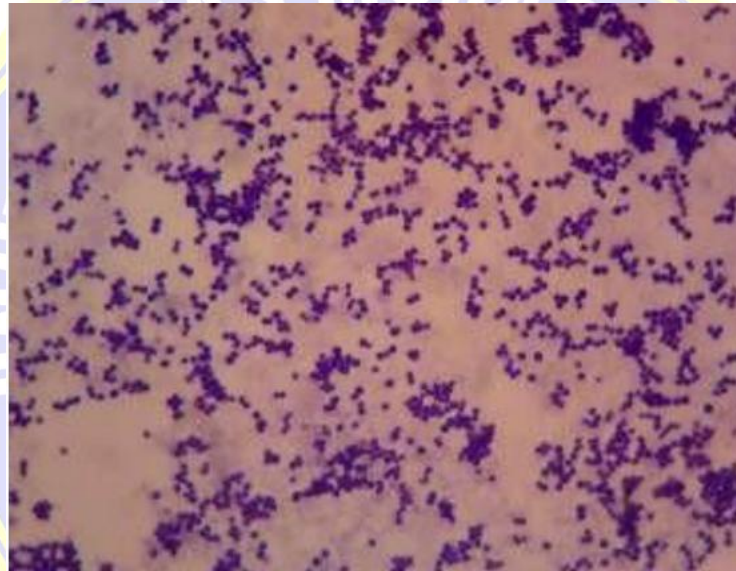
Pertumbuhan koloni *Staphylococcus sp.* dapat diamati menggunakan media selektif *Mannitol Salt Agar* (MSA). Bakteri ini dapat tumbuh dengan baik pada media tersebut karena mampu beradaptasi dengan kadar garam yang tinggi. Berdasarkan kemampuannya dalam memfermentasi mannitol, *Staphylococcus sp.* dibagi menjadi dua kelompok. Kelompok pertama adalah bakteri yang mampu memfermentasi mannitol sehingga menyebabkan perubahan warna media dari merah menjadi kuning. Kelompok kedua adalah bakteri yang tidak memfermentasi mannitol, sehingga warna media tetap tidak berubah meskipun bakteri tetap tumbuh dengan baik (Tutur & Resistance, 2023). Berikut (gambar 2.2)



Gambar 2. 2 Bakteri *Staphylococcus aureus* Pada Media MSA Secara Makroskopis (Shari & Humaira, 2025).

2) Mikroskopis

Staphylococcus sp. termasuk bakteri Gram-positif dengan bentuk sel bulat atau kokus (*coccus*). Bakteri ini dapat ditemukan secara tunggal, berpasangan, maupun bergerombol membentuk susunan menyerupai buah anggur ketika diamati di bawah mikroskop. Pada proses pewarnaan Gram, *Staphylococcus* sp. tampak berwarna ungu karena memiliki lapisan peptidoglikan yang tebal pada dinding selnya sehingga mampu mempertahankan zat warna kristal violet (Tutur & Resistance, 2023). (gambar 2.3)



Gambar 2. 3 Hasil pewarnaan Gram bakteri *Staphylococcus* sp. pada pengamatan mikroskopis (Shari & Humaira, 2025).

2.3.2 *Bacillus* sp

Bacillus sp. merupakan kelompok bakteri dari genus *Bacillus* yang memiliki beberapa ciri utama, yaitu berbentuk batang (*basil*), bersifat Gram positif, dan mampu membentuk endospora. Kemampuan menghasilkan endospora menjadi salah satu karakteristik penting yang membedakan bakteri ini dari beberapa jenis

bakteri lainnya. Pada penelitian ini, pengelompokan bakteri ke dalam genus *Bacillus* dilakukan berdasarkan hasil pengamatan terhadap karakteristik morfologi dan fisiologi dari isolat bakteri yang diteliti. Klasifikasi bakteri *Bacillus* sp sebagai berikut:

Kingdom : *Bacteria*
Phylum : *Bacillota*
Class : *Bacilli*
Order : *Bacillales*
Family : *Bacillaceae*
Genus : *Bacillus* (Kundera et al., 2025).

a. Morfologi bakteri *Bacillus* sp

1) Makroskopis

Secara makroskopis, *Bacillus* sp. memiliki koloni yang berwarna putih, berbentuk bulat, dengan tepi sedikit menonjol, serta berukuran sekitar ± 2 mm. Koloni bakteri ini juga memiliki permukaan halus, bentuk cembung, dan terlihat buram atau tidak bening (opak). Karakteristik tersebut dapat digunakan sebagai tanda awal untuk mengenali keberadaan *Bacillus* sp. melalui pengamatan tampilan koloninya pada media pertumbuhan (Mendrofa & Lase, 2025). (gambar 2.4)



Gambar 2. 4 Koloni bakteri *Bacillus sp* Pada media NA secara makroskopis (Agens & Fusarium, 2025).

2) Mikroskopis

Secara mikroskopis, *Bacillus sp.* merupakan bakteri Gram positif yang memiliki bentuk sel seperti batang pendek (basil). Bakteri ini juga mampu membentuk endospora, yaitu struktur pelindung yang membantu bakteri bertahan hidup pada kondisi lingkungan yang kurang mendukung, seperti saat terjadi kekeringan, kekurangan nutrisi, atau adanya zat kimia yang berbahaya. Kemampuan membentuk endospora menjadi salah satu ciri penting yang membedakan *Bacillus sp.* dari jenis bakteri lainnya (Mendrofa & Lase, 2025). (gambar 2.5)



Gambar 2. 5 Hasil pewarnaan gram bakteri *Bacillus* sp secara mikroskopis (Setiaji et al., 2023).

2.3.3 *Streptococcus* sp.

Streptococcus sp. adalah bakteri Gram positif yang berbentuk bulat (kokus) dan biasanya tersusun dalam bentuk rantai atau berpasangan. Bakteri ini termasuk dalam famili *Streptococcaceae* serta tidak dapat bergerak karena tidak memiliki alat gerak berupa flagela. Selain itu, *Streptococcus* sp. juga tidak membentuk spora dan menunjukkan hasil negatif pada uji katalase, sehingga dapat dibedakan dari bakteri genus *Staphylococcus*. Bakteri ini bersifat fakultatif anaerob, yang berarti mampu tumbuh baik pada lingkungan yang mengandung oksigen maupun yang minim oksigen. Pada media *Blood Agar*, *Streptococcus* sp. umumnya membentuk koloni berukuran kecil dengan kemampuan hemolisis yang berbeda-beda, yaitu α -hemolisis, β -hemolisis, atau γ -hemolisis, bergantung pada spesiesnya. Beberapa spesies *Streptococcus* merupakan bagian dari flora normal tubuh manusia yang dapat ditemukan di rongga mulut, saluran pernapasan, saluran pencernaan, dan kulit. Namun, ketika kondisi tubuh menurun atau terjadi gangguan pada sistem

pertahanan tubuh, bakteri ini dapat berkembang menjadi patogen dan menyebabkan berbagai jenis infeksi (Yuniarty et al., 2026).

Kingdom	: <i>Bacteria</i>
Filum	: <i>Firmicutes (Bacillota)</i>
Kelas	: <i>Bacilli</i>
Ordo	: <i>Lactobacillales</i>
Famili	: <i>Streptococcaceae</i>
Genus	: <i>Streptococcus</i>
Spesies	: <i>Streptococcus pneumoniae</i> (Tafroji et al., 2022).

a. Morfologi *Streptococcus sp.*

1) Makroskopis

Secara makroskopis, pertumbuhan bakteri *Streptococcus sp.* dapat diamati langsung pada media laboratorium. Bakteri ini ditumbuhkan pada media Blood Agar dengan metode penggoresan secara aseptis, kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Pada media tersebut, jenis *Streptococcus* dibedakan berdasarkan kemampuan hemolisisnya atau kemampuan memecah sel darah merah. Contohnya, *Streptococcus agalactiae* menghasilkan zona hemolisis β (beta), sedangkan *Streptococcus uberis* dan *Streptococcus dysgalactiae* menghasilkan zona hemolisis α (alfa). Selain itu, identifikasi bakteri juga diperkuat melalui uji biokimia katalase menggunakan hidrogen peroksida 3%, yang menunjukkan hasil negatif karena tidak terbentuk gelembung gas (Dilla et al., 2020). (gambar 2.6)



Gambar 2. 6 Koloni bakteri *Streptococcus sp* pada Media Difrensial BAP (Buxton, 2009).

2) Mikroskopis

Secara mikroskopis, bakteri *Streptococcus sp.* memiliki bentuk yang khas dan mudah dikenali. Bakteri ini termasuk golongan Gram-positif, sehingga dinding selnya mampu mempertahankan warna kristal violet pada proses pewarnaan Gram dan terlihat berwarna ungu saat diamati menggunakan mikroskop. Pada pengamatan dengan perbesaran hingga 1000 kali, sel-sel bakteri tampak tersusun berpasangan atau membentuk rantai yang teratur, bukan berdiri sendiri (Dilla et al., 2020). (gambar 2.7)



Gambar 2. 7 Hasil pewarnaan gram bakteri *Streptococcus* sp secara mikroskopis (W. Kurniawan, 2024).

2.3.4 *Klebsiella pneumoniae*

Klebsiella pneumoniae merupakan bakteri berbentuk batang (basil) dengan ukuran sekitar 0,5–1,0 mikrometer pada bagian lebar dan 1–3 mikrometer pada bagian panjang. Bakteri ini dapat ditemukan secara tunggal, berpasangan, maupun membentuk rantai pendek. Pada umumnya, *Klebsiella pneumoniae* bersifat tidak motil karena tidak memiliki flagela sehingga tidak dapat bergerak secara aktif, meskipun beberapa strain tertentu dapat menunjukkan kemampuan bergerak dalam kondisi khusus. *Klebsiella pneumoniae* termasuk bakteri gram negatif, yang ditandai dengan hasil pewarnaan Gram berwarna merah muda. Karakteristik tersebut disebabkan oleh adanya membran luar yang mengandung lipopolisakarida, sebagai ciri utama bakteri gram negatif. Salah satu karakteristik penting dari *Klebsiella pneumoniae* adalah kemampuannya membentuk kapsul di luar dinding sel. Kapsul ini berperan sebagai faktor virulensi yang melindungi bakteri dari sistem imun tubuh sehingga meningkatkan kemampuannya dalam menimbulkan infeksi. Selain itu, keberadaan kapsul juga memengaruhi bentuk morfologi bakteri

sehingga tampak lebih besar dan bulat saat diamati menggunakan mikroskop (Erizka Rivani, 2025). Berikut klasifikasi bakteri *Klebsiella pneumoniae*:

Domain : *Bacteria*
Filum : *Pseudomonadota*
Kelas : *Gammaproteobacteria*
Ordo : *Enterobacterales*
Famili : *Enterobacteriaceae*
Genus : *Klebsiella*
Spesies : *Klebsiella pneumoniae* (Chen et al., 2026).

1) Makroskopis

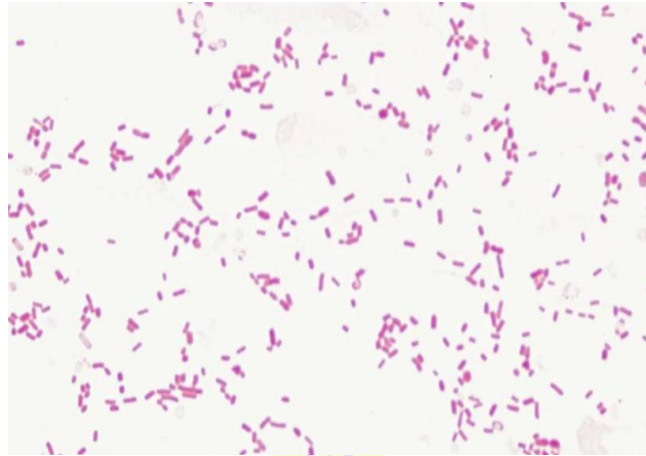
Secara makroskopis, koloni *Klebsiella pneumoniae* pada media Nutrient Agar terlihat berlendir (mucoid) dengan ukuran sedang hingga besar, berwarna putih kekuningan, tampak mengkilap dan agak keruh. Koloni ini memiliki permukaan cembung, sedikit terangkat, serta bertekstur lunak. Sementara itu, pada media *MacConkey* Agar, bakteri membentuk koloni mucoid berwarna merah muda yang menandakan bahwa bakteri mampu memfermentasi laktosa (Sibadu et al., 2025). (gambar 2.8)



Gambar 2. 8 Koloni bakteri *Klebsiella pneumoniae* pada media MCA
(Nurfajriah, 2024).

1) Mikroskopis

Secara mikroskopis, *Klebsiella pneumoniae* merupakan bakteri Gram negatif yang memiliki bentuk batang pendek atau basil. Pengamatan mikroskopis biasanya dilakukan menggunakan metode pewarnaan Gram untuk mengetahui karakteristik dinding sel bakteri. Hasil pewarnaan menunjukkan bahwa bakteri ini termasuk kelompok Gram negatif, yang ditandai dengan warna merah muda atau merah setelah proses pewarnaan. Selain itu, bakteri ini sering ditemukan pada berbagai spesimen klinis, seperti urin, sputum, dan feses, terutama pada pemeriksaan laboratorium untuk identifikasi penyebab infeksi (Sibadu et al., 2025).
(gambar 2.9)



Gambar 2. 9 Hasil pewarnaan gram bakteri *Klebsiella pneumoniae* esecara mikroskopis (Ambing et al., 2024).

2.3.5 *Pseudomonas aeruginosa*

Pseudomonas aeruginosa infection merupakan bakteri yang termasuk dalam kelompok kuman piogenik, yaitu bakteri yang dapat menyebabkan peradangan berat disertai pembentukan nanah pada jaringan tubuh. Bakteri ini bersifat oportunistik, sehingga lebih mudah menimbulkan infeksi pada individu dengan daya tahan tubuh yang menurun. *Pseudomonas aeruginosa* dapat menginfeksi berbagai organ tubuh, seperti mata, telinga bagian luar (otitis eksterna), kulit, tulang, sistem saraf pusat, saluran pencernaan, jantung (endokarditis), saluran kemih, dan saluran pernapasan. Pada kondisi yang lebih berat, bakteri ini juga dapat menyebabkan infeksi pada aliran darah seperti bakteremia dan septikemia. Secara molekuler, bakteri ini memiliki gen spesifik yang disebut gen *fliC*, yaitu gen yang berperan dalam pembentukan protein flagelin sebagai penyusun flagela polar. Flagela tersebut berfungsi sebagai alat gerak bakteri sekaligus menjadi salah satu faktor virulensi penting yang membantu bakteri bergerak menuju sel target, melekat pada jaringan inang, serta mendukung proses

infeksi dan kolonisasi dalam tubuh (Beslar et al., 2022). Klasifikasi bakteri *Pseudomonas aeruginosa* sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Bacteria</i>
Subkingdom	: <i>Negibacteria</i>
Filum	: <i>Proteobacteria</i>
Kelas	: <i>Gammaproteobacteria</i>
Ordo	: <i>Pseudomonadales</i>
Famili	: <i>Pseudomonadaceae</i>
Genus	: <i>Pseudomonas</i>
Spesies	: <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (Scania, 2023).

a. Morfologi *Pseudomonas aeruginosa*

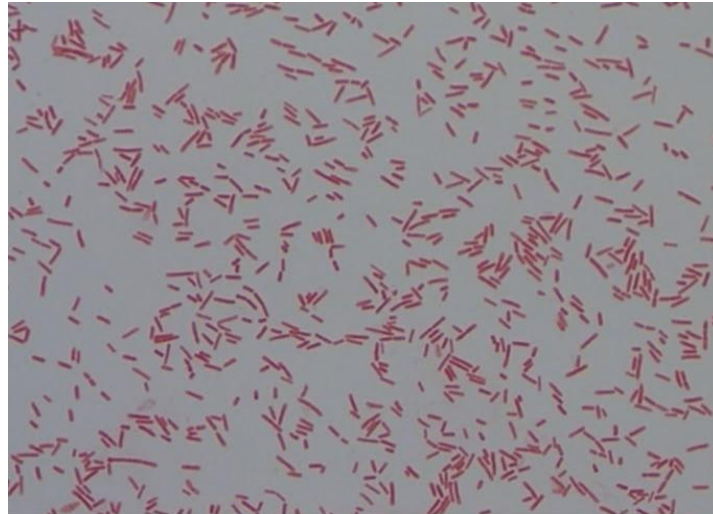
1) Makroskopis

Bakteri diamati berdasarkan penampakan koloni yang tumbuh pada media selektif-diferensial, seperti *MacConkey Agar*. Koloni *Pseudomonas aeruginosa* infection memiliki ciri khas berupa warna kehijauan pada permukaannya. Warna tersebut muncul karena bakteri menghasilkan dua jenis pigmen metabolit sekunder, yaitu pyoverdin yang memberikan warna hijau fluoresen dan pyocyanin yang menghasilkan warna biru. Kombinasi kedua pigmen tersebut menyebabkan koloni tampak berwarna hijau kebiruan pada media kultur (Beslar et al., 2022). (gambar 2.10)



Gambar 2. 10 Koloni bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada media blood agar secara makroskopis (Djasfar & Pradika, 2023).

Pengamatan morfologi mikroskopis *Pseudomonas aeruginosa* infection dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 1000x setelah melalui proses pewarnaan Gram. Berdasarkan hasil pewarnaan tersebut, bakteri ini termasuk ke dalam kelompok Gram-negatif yang ditandai dengan warna merah atau merah muda pada sel bakteri. Warna tersebut muncul karena dinding sel bakteri Gram-negatif memiliki lapisan peptidoglikan yang tipis, sehingga tidak mampu mempertahankan zat warna utama berupa crystal violet saat proses pencucian menggunakan pelarut. Akibatnya, sel bakteri akan menyerap zat warna tandingan, yaitu safranin, sehingga tampak berwarna merah ketika diamati di bawah mikroskop (Beslar et al., 2022). (gambar 2.11)



Gambar 2. 11 Hasil pewarnaan gram bakteri *Pseudomonas aeruginosa* secara mikroskopis (Scania, 2023).

2.3.6 *Escherichia coli*

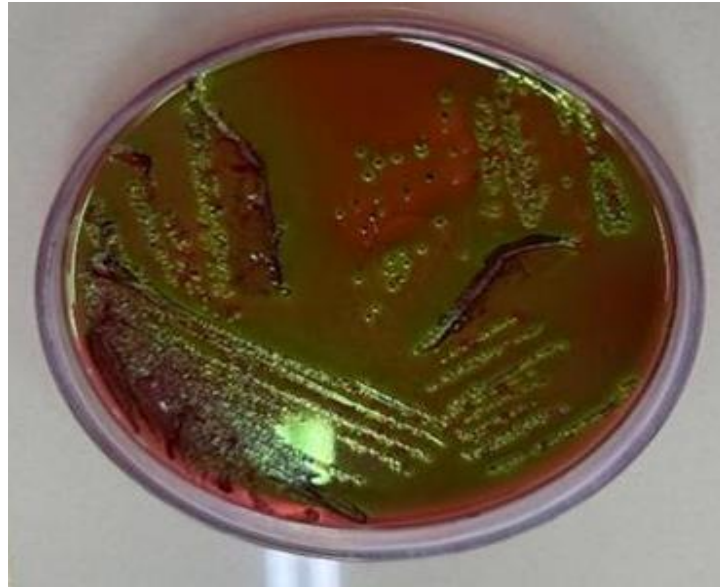
Escherichia coli merupakan bakteri yang termasuk dalam famili Enterobacteriaceae. Bakteri ini berbentuk batang pendek (basil), bersifat Gram negatif, dan memiliki flagela yang memungkinkannya untuk bergerak. Ukuran sel *E. coli* berkisar antara $0,4\text{--}0,7\ \mu\text{m} \times 1,4\ \mu\text{m}$ serta dapat memiliki kapsul yang berfungsi melindungi bakteri dari pengaruh lingkungan yang kurang menguntungkan. *E. coli* memiliki kemampuan untuk memfermentasikan laktosa sehingga menghasilkan asam dan gas. Dalam pemeriksaan laboratorium, bakteri ini umumnya membentuk koloni berwarna merah muda pada media *MacConkey Agar*; sedangkan pada media *Eosin Methylene Blue* menghasilkan koloni dengan kilau hijau metalik. Karakteristik tersebut sering dimanfaatkan sebagai dasar dalam proses identifikasi *E. coli* di laboratorium mikrobiologi. Sebagian besar *E. coli* hidup sebagai flora normal di saluran pencernaan manusia dan hewan. Namun, beberapa strain tertentu dapat bersifat patogen dan menyebabkan berbagai gangguan kesehatan, terutama diare. Penularan bakteri ini sering terjadi melalui

konsumsi makanan atau air yang terkontaminasi. Keberadaan *E. coli* sering digunakan sebagai indikator untuk menilai kualitas air minum dan keamanan pangan (F. B. Kurniawan et al., 2021). Klasifikasi bakteri *Escherichia coli* sebagai berikut:

a. Morfologi *Escherichia coli*

1) Makroskopis

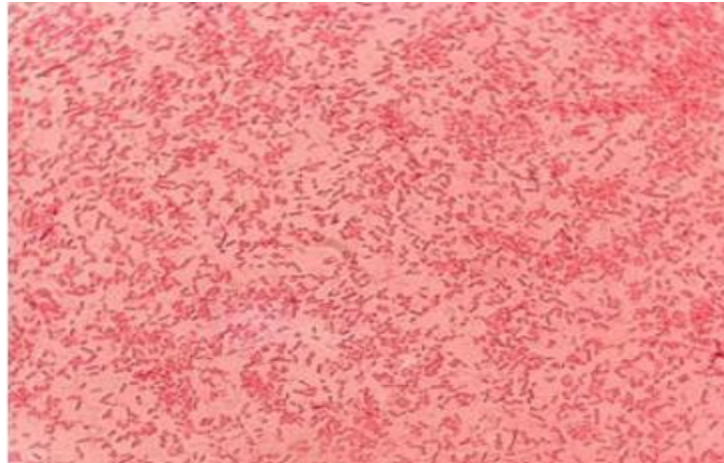
Secara makroskopis, *Escherichia coli* dapat dikenali melalui karakteristik koloninya pada media EMBA (*Eosin Methylene Blue Agar*). Koloni bakteri yang tumbuh menunjukkan warna hijau metalik, berbentuk bulat, memiliki permukaan halus, bentuk cembung, serta tepian koloni yang rata. Warna hijau metalik tersebut muncul karena *E. coli* mampu memfermentasi laktosa sehingga menghasilkan asam dalam jumlah tinggi yang mengendapkan zat warna methylene blue pada media. Karakteristik koloni ini menjadi salah satu ciri awal dalam proses identifikasi *Escherichia coli* di laboratorium (Ambing et al., 2024). (gambar 2.12)



Gambar 2. 12 Koloni bakteri *Escherichia coli* pada media EMBA
(Panjaitan et al., 2025).

2) Mikroskopis

Secara mikroskopis, *Escherichia coli* memiliki bentuk sel batang pendek (kokobasil), tersusun sebagai sel tunggal, dan termasuk bakteri Gram negatif. Pada hasil pewarnaan Gram, bakteri tampak berwarna merah atau merah muda, karena lapisan peptidoglikannya yang tipis tidak mampu mempertahankan pewarna kristal violet setelah proses pencucian dengan alkohol, sehingga menyerap zat warna safranin. Karakteristik ini menjadi salah satu ciri penting untuk membedakan *E. coli* dari bakteri Gram positif lainnya (Ambing et al., 2024). (gambar 2.13)



Gambar 2. 13 Hasil pewarnaan gram bakteri *Escherichia coli* secara mikroskopis (Panjaitan et al., 2025).

2.4 Pengobatan

Berdasarkan uji sensitivitas antibiotik, bakteri aerob yang ditemukan dalam penelitian ini yaitu *Bacillus sp.*, *Staphylococcus sp.*, dan *Streptococcus sp.* respons dengan baik terhadap tiga antibiotik *sulphamethoxazole/trimethoprim*, *ciprofloxacin*, dan *meropenem*. Hal ini membuktikan bahwa ketiga antibiotik tersebut masih efektif untuk pengobatan bakteri aerob. *Ciprofloxacin* bekerja dengan mengganggu replikasi DNA bakteri melalui penghambatan enzim DNA gyrase dan topoisomerase IV. *Meropenem* mampu bertahan dari serangan enzim β -laktamase yang diproduksi bakteri, sedangkan *sulphamethoxazole/trimethoprim* menghambat pembentukan asam folat yang sangat dibutuhkan bakteri untuk tumbuh dan berkembang biak. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa sebagian besar bakteri aerob sangat resisten terhadap *aztreonam* dan *cefepime*. Artinya, kedua antibiotik ini kurang efektif untuk menginfeksi bakteri aerob yang ditemukan dalam penelitian ini. Resistensi bakteri dapat terjadi melalui beberapa mekanisme, antara lain produksi enzim β -laktamase, penurunan permeabilitas membran sel,

peningkatan aktivitas pompa efluks (efflux pump), atau perubahan pada protein pengikat penisilin (penicillin-binding proteins/PBPs). Pemilihan antibiotik harus didasarkan pada hasil uji sensitivitas agar terapi yang diberikan lebih efektif dan dapat mengurangi risiko munculnya resistensi antibiotik di masa depan (Waworuntu 2026).

Berdasarkan penelitian (Obstetric et al., 2026), menunjukkan bahwa bakteri aerob memiliki tingkat resistensi yang tinggi terhadap *ampicillin*, *amoxicillin/clavulanate*, *cephalothin*, *cefepime*, dan *aztreonam*. Resistensi terjadi ketika bakteri mampu bertahan hidup meskipun telah diberikan antibiotik. Kondisi ini menyebabkan efektivitas pengobatan menurun dan dapat meningkatkan risiko kegagalan terapi. Penggunaan antibiotik yang sudah banyak mengalami resistensi perlu dipertimbangkan kembali dan sebaiknya didasarkan pada hasil uji sensitivitas bakteri. Temuan adanya bakteri yang resisten terhadap beberapa golongan antibiotik menunjukkan pentingnya penggunaan antibiotik secara rasional. Pemilihan antibiotik yang tepat berdasarkan hasil pemeriksaan laboratorium dapat meningkatkan keberhasilan pengobatan serta membantu mencegah munculnya bakteri yang lebih kebal terhadap antibiotik (*multidrug-resistant*). Pemantauan pola sensitivitas dan resistensi bakteri perlu dilakukan secara berkala sebagai dasar dalam menentukan terapi yang efektif.

2.5 Metode Pemeriksaan Laboratorium

a) Pewarnaan Gram

Pewarnaan Gram merupakan metode yang digunakan untuk membedakan bakteri berdasarkan perbedaan struktur dinding selnya sehingga dapat dikelompokkan menjadi bakteri Gram positif dan Gram negatif.

Pemeriksaan ini diawali dengan pemberian kristal violet sebagai pewarna utama, kemudian ditambahkan larutan iodin untuk memperkuat ikatan warna pada dinding sel bakteri. Setelah itu dilakukan proses pelunturan menggunakan alkohol atau campuran alkohol dan aseton. Pada tahap ini, bakteri Gram positif tetap mempertahankan warna ungu karena memiliki lapisan peptidoglikan yang tebal, sedangkan bakteri Gram negatif kehilangan warna ungu karena lapisan peptidoglikannya lebih tipis. Selanjutnya, preparat diberi pewarna safranin sehingga bakteri Gram negatif akan tampak berwarna merah muda, sedangkan bakteri Gram positif tetap berwarna ungu atau biru. Melalui hasil pewarnaan tersebut, bentuk sel dan karakteristik dinding sel bakteri dapat diamati dengan lebih jelas. Pewarnaan Gram sering digunakan sebagai langkah awal dalam identifikasi bakteri di laboratorium (Alfiah Alif1, 2025).

b) Uji Koagulase

Uji koagulase merupakan salah satu pemeriksaan biokimia yang dilakukan untuk mendeteksi kemampuan bakteri dalam menghasilkan enzim koagulase. Enzim ini berfungsi menggumpalkan plasma dengan bantuan faktor yang terdapat dalam serum. Pemeriksaan ini penting dalam proses identifikasi bakteri karena dapat digunakan untuk membedakan bakteri yang menghasilkan enzim koagulase dari bakteri yang tidak menghasilkannya. Pada penelitian ini, uji koagulase dilakukan setelah uji katalase untuk memastikan bahwa isolat yang diperoleh benar merupakan *Staphylococcus aureus*. Hasil uji koagulase dinyatakan positif apabila terbentuk gumpalan atau endapan granuler pada preparat setelah dicampurkan dengan plasma,

sedangkan hasil negatif ditunjukkan dengan tidak terbentuknya gumpalan. Uji koagulase sering digunakan sebagai metode pendukung untuk memperkuat hasil identifikasi bakteri, khususnya *Staphylococcus aureus* (Ratno Budiyan¹, 2021).

c) Uji Katalase

Uji katalase merupakan salah satu pemeriksaan biokimia yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan bakteri dalam menghasilkan enzim katalase. Enzim ini berperan penting dalam melindungi bakteri dari kerusakan akibat hidrogen peroksida (H_2O_2), yaitu senyawa yang dapat terbentuk selama proses metabolisme dan bersifat toksik bagi sel bakteri. Enzim katalase akan menguraikan hidrogen peroksida menjadi air (H_2O) dan oksigen (O_2) yang lebih aman bagi bakteri. Pengujian dilakukan dengan meneteskan larutan hidrogen peroksida pada koloni bakteri yang telah diisolasi. Hasil positif ditunjukkan dengan munculnya gelembung-gelembung udara akibat terbentuknya gas oksigen, yang menandakan bahwa bakteri menghasilkan enzim katalase. Sebaliknya, tidak terbentuknya gelembung udara menunjukkan hasil negatif atau bakteri tidak memiliki aktivitas enzim katalase. Uji katalase sering digunakan sebagai salah satu tahap identifikasi bakteri karena dapat membantu membedakan bakteri berdasarkan kemampuan mereka dalam menghasilkan enzim katalase (Sianipar, 2020).