

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Bunga Telang (*Clitoria ternatea* L.)

1. Karakteristik bunga telang

Bunga telang (*Clitoria ternatea* L.) merupakan salah satu bahan alam yang banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari masyarakat Indonesia. Tanaman bunga telang tidak hanya berfungsi sebagai tanaman hias pada pagar, tetapi juga digunakan sebagai bahan minuman, pewarna alami makanan yang aman, serta obat tradisional (Zahara, 2022). Bunga telang merupakan tanaman merambat yang umum ditemui di lingkungan sekitar seperti pekarangan rumah warga dan tepian persawahan. Tanaman ini memiliki beberapa ciri-ciri yang khas, antara lain batang yang berbentuk bulat (silindris) serta daun majemuk yang terdiri dari 3 hingga 5 helai anak daun. Bunganya tersusun secara majemuk dan tumbuh dari ketiak daun, dengan tangkai silinder berukuran sekitar 1,5 cm. Ciri yang paling mencolok adalah kelopakinya yang berbentuk corong dan mahkota bunga berwarna ungu yang menyerupai bentuk kupu-kupu (Sugiyanto dan Anisyah, 2024).

Tumbuhan ini dikenal dengan berbagai nama khas di berbagai daerah di Indonesia, mencerminkan kekayaan budaya dan bahasa setempat. Di wilayah Sumatera, masyarakat menyebutnya sebagai "bunga biru" atau "bunga klitoris". Sementara itu, di daerah Jawa, tumbuhan ini lebih dikenal dengan sebutan "bunga teleng" atau "menteleng". Masyarakat Sulawesi memiliki penyebutan sendiri, yaitu "bunga telang" atau "bunga temen raleng". Sedangkan di kepulauan Maluku, tumbuhan ini disebut "bisi" atau "seyama ulele" oleh penduduk setempat (Kusuma, 2019).



Gambar 1. Bunga Telang (*Clitoria ternatea* L.) Segar
(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025)

2. Klasifikasi tanaman bunga telang (*Clitoria ternatea* L.)

Bunga telang (*Clitoria ternatea* L.) dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Zahara, 2022):

Kingdom : *Plantae*
Divisi : *Tracheophyta*
Infradivisi : *Angiospermae*
Kelas : *Magnoliopsida*
Ordo : *Fabales*
Familia : *Fabacea*
Genus : *Clitoria*
Spesies : *Clitoria ternatea* L.

3. Morfologi tanaman bunga telang (*Clitoria ternatea* L.)

Bunga Telang (*Clitoria ternatea* L.) adalah tanaman perdu yang tumbuh merambat yang bisa tumbuh hingga mencapai ketinggian 2 – 3 m. (Hawari dkk., 2022). Bunga telang memiliki tipe perbungaan terbatas (cymosa) yang berbentuk seperti payung kecil dan bercabang menggarpu. Ciri khasnya adalah mahkota berwarna biru, ungu, atau merah dengan bagian reproduksi (putik dan benang sari) yang tersembunyi di dalam bunga. Tanaman ini memiliki batang yang tumbuh

melilit dengan bulu halus, serta bagian pangkalnya berkayu. Sistem akarnya berupa akar tunggang yang kuat, dengan percabangan lateral yang memiliki banyak rambut akar.

Berdasarkan hasil penelitian dari Hawari dkk. (2022) mengenai morfologi bunga telang (*Clitoria ternatea* L.) di berbagai ketinggian, dapat disimpulkan bahwa tanaman ini memiliki karakteristik morfologi yang relatif konsisten, meskipun terdapat beberapa perbedaan signifikan yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Secara umum, bunga telang memiliki batang bulat dan berkayu dengan warna hijau saat muda dan cokelat saat tua, serta sistem perakaran tunggang berwarna putih kekuningan. Bunganya bersifat tunggal, terletak di ketiak daun, dengan mahkota berwarna biru tua di bagian luar dan putih kekuningan di bagian dalam, dilengkapi sepuluh benang sari dan satu putik berwarna putih. Sementara itu, perbedaan morfologi terutama terlihat pada daun dan polong. Daun di dataran rendah cenderung lebih pendek dan lebar dengan bentuk bulat telur yang ujung dan pangkalnya membulat, sedangkan di dataran tinggi daun lebih panjang dan sempit dengan ujung serta pangkal yang meruncing. Polong di dataran tinggi juga lebih panjang dan padat dibandingkan dengan di dataran rendah, dengan jumlah biji per polong yang sedikit lebih banyak. Variasi morfologi ini menunjukkan adaptasi tanaman terhadap faktor lingkungan seperti intensitas cahaya, suhu, dan kelembaban di setiap ketinggian tempat tumbuh.

4. Kandungan bunga telang (*Clitoria ternatea* L.)

Bunga telang (*Clitoria ternatea* L.) memiliki kandungan flavonoid yang tinggi, di mana antosianin merupakan jeni flavonoid yang bertanggung jawab atas pemberian warna pada bunga telang. Antosianin merupakan pigmen utama yang

berperan dalam menghasilkan warna merah, biru, dan ungu (Mulangsri, 2019). Flavonoid tersebut berperan sebagai sumber vitamin C/antioksidan yang dapat dikembangkan dalam berbagai aplikasi industri pangan. Dengan demikian, penggunaan bunga telang tidak hanya dapat meningkatkan atribut mutu produk, khususnya dari segi warna, tetapi juga dapat memberikan manfaat bagi kesehatan (Makasana *et al.*, 2017).

Bunga telang (*Clitoria ternatea* L.) memiliki beragam senyawa fitokimia dalam komposisinya. Fitokimia merupakan senyawa bioaktif alami yang terdapat pada tumbuhan dan memberikan efek fisiologis yang menguntungkan bagi kesehatan manusia. Berikut adalah beberapa komponen fitokimia yang terdapat pada bunga *Clitoria ternatea* L., sebagaimana disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1
Kandungan Senyawa Fitokimia Tanaman Bunga Telang

Senyawa	Konsentrasi (Mmol/mg bunga)
Antosianin	5,40 ± 0,23
Flavonoid	20,07 ± 0,55
Flavonol glikosida	14,66 ± 0,33
Kaempferol glikosida	12,71 ± 0,46
Mirisetin glikosida	0,04 ± 0,01
Quersetin glikosida	1,92 ± 0,12

(Sumber : Anthika *et al.*, 2015)

5. Manfaat bunga telang (*Clitoria ternatea* L.)

a. Antioksidan

Bunga telang (*Clitoria ternatea* L.) mengandung senyawa antioksidan. Mekanisme kerja antioksidan ini dalam mengendalikan stress oksidatif pada system biologis terjasi melalui berbagai cara, di antaranya penangkapan radikal bebas, penghambatan enzim oksidatif, pengikatan ion logam (kelasi), dan perannya

sebagai kofaktor bagi enzim antioksidan (Marpaung, 2020). Keberadaan aktivitas antioksidan ini salah satunya dapat diamati dari pigmen warna pada kelopak bunganya, yaitu antosianin. Zat ini tidak hanya berfungsi sebagai antioksidan, tetapi juga sebagai pigmen yang termasuk dalam golongan flavonoid. Penelitian potensi antioksidan dari berbagai ekstrak pelarut daun *Clitoria ternatea* L. menggunakan metode DPPH (1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl) menunjukkan bahwa semua ekstrak memiliki aktivitas penangkapan radikal bebas yang meningkat seiring konsentrasi ekstrak. Dari ketiganya, ekstrak methanol menunjukkan potensi paling kuat, diikuti oleh ekstrak kloroform, dan kemudian ekstrak petroleum eter (Wulan dkk., 2019).

b. Antimikroba

Kemampuan antibakteri dimiliki oleh bunga telang (*Clitoria ternatea* L.). Ekstrak dari bunga ini terbukti sanggup menghambat pertumbuhan bermacam bakteri patogen, yaitu *Streptococcus agalactiae*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Aeromonas formicans*, *Aeromonas hydrophila*, serta *Pseudomonas aeruginosa*. Lebih lanjut, ekstrak daun bunga telang juga efektif berperan sebagai antijamur, terutama dalam menekan pertumbuhan *Aspergillus niger* (Suganda dan Adhi, 2017).

c. Antikanker

Terdapat empat mekanisme utama suatu senyawa aktif dalam melawan kanker: (1) aktivitas antiproliferasi untuk mencegah atau memperlambat penyebaran sel kanker, (2) penghambatan angiogenesis (pembentukan pembuluh darah baru), (3) induksi apoptosis (kematian sel kanker terprogram), dan (4) pencegahan metastasis. Angiogenesis, atau pembentukan pembuluh darah baru, adalah proses yang

diinisiasi oleh sel kanker untuk memastikan pasokan nutrisi bagi pertumbuhan dan kelangsungan hidupnya. Proses ini juga menjadi kunci dalam transformasi tumor dari kondisi dorman (tidak aktif) menjadi ganas, yang terutama dimediasi oleh protein *Vascular Endothelial Growth Factor* (VEGF) (Marpaung, 2020).

Kombucha dari bunga telang (*Clitoria ternatea* L.) berpotensi mempunyai aktivitas serupa dalam menghambat angiogenesis. Potensi ini didasarkan pada dua aspek: (1) kandungan senyawa bioaktif antosianin dan flavonoid dari bunga telang itu sendiri, yang telah dilaporkan memiliki berbagai aktivitas biologis, dan (2) adanya asam-asam organik (seperti asetat, glukonat, dan laktat) serta metabolit polifenol baru yang dihasilkan selama fermentasi oleh SCOBY. Metabolit hasil fermentasi ini diketahui dapat berperan dalam memodulasi jalur sinyal seluler, termasuk yang terkait dengan regulasi faktor pertumbuhan seperti VEGF dan HIF-1 α (*Hypoxia Inducible Factor-1 α*) (Silva *et al.*, 2021).

d. Antidiabetes

Diabetes Mellitus (DM) adalah kelainan metabolik yang dicirikan oleh tiga kondisi utama, yaitu hiperglikemia (kadar glukosa darah melebihi batas normal), dislipidemia (gangguan metabolisme lipoprotein), serta abnormalitas metabolisme protein yang disebabkan oleh terganggunya sekresi atau kerja insulin. Untuk mengevaluasi potensi antidiabetes dari suatu senyawa, pendekatan yang paling umum digunakan adalah dengan mengukur kemampuan hipoglikemiknya (yakni menurunkan kadar glukosa darah) pada hewan percobaan, biasanya tikus yang dibuat diabetes melalui induksi aloksan (Bighoiri, A. T., 2021).

Bunga telang (*Clitoria ternatea* L.) menunjukkan potensi manfaat sebagai terapi antidiabetes melalui beberapa mekanisme. Kandungan senyawa bioaktif

seperti flavonoid dan antosianin dalam bunga telang berperan dalam menghambat proses glikosilasi hemoglobin, yang merupakan faktor penting dalam mencegah komplikasi diabetes (Younus dan Anwar, 2016). Selain itu, fermentasi bunga telang menjadi kombucha meningkatkan ketersediaan hayati senyawa fenolik melalui biokonversi, sehingga memperkuat aktivitas biologisnya. Aktivitas antioksidan ini penting dalam mengurangi stress oksidatif, yang merupakan salah satu penyebab kerusakan sel pancreas pada penderita diabetes. Dengan demikian, bunga telang tidak hanya berpotensi sebagai sumber antioksidan alami, tetapi juga bisa sebagai alternatif terapi herbal yang aman dan efektif dalam pencegahan dan pengelolaan diabetes melitus (Permatasari dkk., 2022).

e. Antiinflamasi

Inflamasi atau peradangan adalah mekanisme pertahanan alami tubuh yang berfungsi untuk mengeliminasi rangsangan berbahaya, seperti sel-sel yang rusak, zat iritan, maupun mikroorganisme patogen, sekaligus menginisiasi proses penyembuhan. Sementara itu, antiinflamasi diartikan sebagai kapasitas suatu zat atau senyawa dalam meredakan proses peradangan (Bighoiri, A. T., 2021).

Kombucha bunga telang (*Clitoria ternatea* L.) dilaporkan memiliki efek antiinflamasi yang didukung oleh kandungan senyawa flavonoid dan fenolik di dalamnya (Damayanti dan Bintari, 2024). Efek ini diduga dimediasi melalui mekanisme *scavenger* radikal bebas dan peningkatan ekspresi gen antioksidan endogen melalui jalur *nuclear factor erythroid-2 related factor* (Nrf-2). Selain itu, fermentasi kombucha diketahui mampu menstabilkan senyawa bioaktif seperti flavonoid dan antosianin dalam bunga telang, sehingga dapat meningkatkan aktivitas biologisnya (Nadiroh, Pragastya, dan Damayanti, 2024). Dengan

demikian, bunga telang baik dalam bentuk ekstrak maupun produk fermentasi kombucha berpotensi dikembangkan sebagai alternatif terapi antiinflamasi berbasis bahan alam.

B. Kombucha

1. Definisi kombucha

Kombucha, yang juga biasa disebut sebagai teh jamur, adalah produk minuman fermentasi dari teh atau kopi yang menggunakan SCOBY sebagai starter (Surahmaida dan Lestari, 2019). Fermentasi ini menghasilkan cita rasa khas yang menjadi daya tarik utamanya di kalangan masyarakat (Pramesti, Illahi dan Lyrawati, 2022).

Dalam proses fermentasi tersebut, SCOBY terperangkap dalam sebuah biofilm selulosa yang membentuk partikel, selebaran berwarna putih menyerupai pancake yang mengapung di antara larutan teh dan udara. Peran utama dalam fermentasi ini dimainkan oleh bakteri asam laktat (BAL) seperti *Lactobacillus* dan *Lactococcus*, serta bakteri asam asetat (BAA) seperti *Komagataeibacter*, *Glucanobacter*, dan *Acetobacter* (Faizah dkk., 2024).



Gambar 2. Teh Kombucha
(Sumber: Hasnah, 2023)

2. Kandungan dan manfaat teh kombucha

Kombucha merupakan minuman hasil fermentasi tradisional yang diproduksi melalui aktivitas simbiosis bakteri dan ragi (SCOBY) dalam campuran teh dan larutan gula (Pkaiutri dkk., 2023). Selama proses fermentasi, mikroorganisme tersebut memetabolisme substrat dan menghasilkan beragam senyawa bioaktif. Kandungan utama kombucha mencakup berbagai asam organik seperti asam asetat, glukonat, serta glukuronat, serta komponen minor berupa vitamin B kompleks, vitamin c, enzim, mineral, dan senyawa polifenol. Aktivitas fermentasi juga menyebabkan penurunan kadar gula secara signifikan seiring berjalannya waktu, karena gula akan dirombak menjadi alkohol, asam organik, dan karbon dioksida (Suhardini dan Zubaidah, 2016). Selain itu, proses ini menghasilkan selulosa bakteri yang membentuk partikel atau nata di permukaan cairan (Putri dkk., 2023).

Sebagai minuman fungsional, kombucha telah dilaporkan memiliki berbagai manfaat Kesehatan, seperti aktivitas antibakteri terhadap patogen seperti *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* (Putri dkk., 2023). Efek menguntungkan utamanya berasal dari aktivitas antioksidan yang tinggi, yang dikaitkan dengan peningkatan senyawa fenolik bebas selama fermentasi. Manfaat lainnya meliputi efek sebagai antibiotik alami dan pelancar pencernaan (Suhardini dan Zubaidah, 2016). Lama fermentasi memengaruhi profil senyawa dan intensitas manfaatnya (Lia dkk., 2024).

Pengaruh bahan baku alternatif selain teh, seperti bunga telang (*Clitoria ternatea* L.), dapat memodifikasi kandungan dan manfaat kombucha, termasuk

menambahkan senyawa flavonoid dan antosianin yang berkontribusi pada aktivitas antioksidan (Lia dkk., 2024).

3. Proses fermentasi teh kombucha

Fermentasi kombucha terdiri atas dua fase utama, yaitu aerob dan anaerob. Fase aerob diawali dengan pemecahan gula menjadi air (H_2O), karbon dioksida (CO_2), serta energi, yang juga berperan sebagai masa pertumbuhan ragi. Ketika oksigen dalam media sudah habis, fase ini berakhir dan fase anaerob akan segera dimulai. Proses aerob ini terus berlangsung selama fermentasi kombucha berjalan. Pengaturan parameter fermentasi yang tepat sangat menentukan kualitas produk akhir, termasuk kandungan zat-zat bermanfaat di dalamnya (Skocińska *et al.*, 2017). Dalam lingkungan aerob, symbiosis mikroba pada kultur kombucha mampu mengonversi gula dan teh menjadi minuman berkarbonasi yang segar dengan rasa aram yang ringan, serta mengandung beragam senyawa seperti asam organik, asam amino, vitamin, dan enzim hidrolitik hanya dalam waktu 7 sampai 10 hari (Soto *et al.*, 2018).

Dari sudut pandang mikrobiologi, proses fermentasi kombucha berlangsung melalui kerja sama simbiosis antara khamir dan bakteri. Dalam penelitian ini, proses fermentasi terbagi menjadi dua tahap, yakni fermentasi alkohol dan fermentasi asam asetat. Khamir yang berperan dalam fermentasi ini adalah *Saccharomyces cerevisiae*, sedangkan bakteri asam asetat yang terlibat adalah *Acetobacter xylinum*. Khamir bertugas memecah gula menjadi alkohol, selanjutnya bakteri asam asetat mengoksidasi alkohol tersebut menjadi asam asetat. (Puspitasari dkk., 2017). Dalam fermentasi kombucha, gula berfungsi sebagai substrat yang dipecah secara berbeda oleh mikroorganisme. Bakteri

menghasilkan asam organik, sedangkan khamir menghasilkan etanol dan CO₂. Rendahnya kadar etanol membuat kombucha bernilai gizi tinggi dan aman dikonsumsi secara halal. Di sisi lain, konsentrasi gula yang digunakan juga dapat menghambat perkembangan bakteri patogen gram positif dan gram negatif (Mu'jijah dkk., 2023).

Selama fermentasi, terdapat perubahan karakteristik fisikokimia yang progresif. Semakin lama durasi fermentasi, nilai pH minuman akan mengalami penurunan bertahap, intensitas warna menjadi lebih cerah, dan massa selulosa yang dihasilkan oleh SCOBY bertambah. Sejalan dengan itu, kadar gula reduksi dalam media fermentasi juga menunjukkan tren penurunan seiring berjalannya waktu (Puspitasari dkk., 2017). Berdasarkan penelitian dari Wahyuningtias dkk. (2023) kandungan senyawa dalam teh kombucha bunga telang sebelum mencapai kondisi optimum fermentasi masih berada dalam fase transisi yang belum stabil. Pada tahap awal hingga hari ketiga, fermentasi kombucha memasuki fase adaptasi mikroba di mana sukrosa mulai diurai menjadi etanol dan asam organik seperti asam asetat dan laktat. Pada fase ini, aktivitas antioksidan belum meningkat, bahkan turun sementara dengan kenaikan nilai IC₅₀ dari 19,787 ppm menjadi sekitar 22,67 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa pembentukan senyawa antioksidan hasil fermentasi seperti metabolit flavonoid, vitamin C, dan asam organik kompleks belum optimal.

Durasi fermentasi terbukti berpengaruh signifikan terhadap tingkat antioksidan pada produk kombucha. Pada kombucha berbahan dasar teh hijau, kadar vitamin C tertinggi tercapai pada hari ke-7 fermentasi, yaitu sebesar 8,43 mg/ml, sementara aktivitas antioksidan optimal juga terjadi pada waktu yang sama, yakni mencapai

93,79% (Puspitasari dkk., 2017). Pola optimal serupa ditemukan pada kombucha bunga telang, di mana hasil dari uji yang dilakukan pada kombucha bunga telang menggunakan metode DPPH menunjukkan nilai antioksidan tertinggi pada fermentasi hari ke-7 menghasilkan % inhibisi sebesar 38,1%” (Hasnah, 2023). Namun, pada fase sebelum mencapai titik optimum ini, profil rasa masih didominasi oleh sisa manis dengan asam yang belum terharmonisasi, sementara warna telah berubah menjadi lebih cerah namun belum mencapai kejernihan dan kestabilan pigmen yang ideal. Dengan demikian, baik dari segi aktivitas fungsional maupun kualitas organoleptik, kombucha bunga telang pada fase awal fermentasi belum mencapai kematangan dan potensi antioksidan maksimalnya (Wahyuningtias dkk., 2023).

Hal ini juga dapat dijelaskan oleh fakta bahwa aktivitas antioksidan cenderung menurun setelah titik optimum pada penelitian ini yaitu hari ke-9 dan ke-11 karena kondisi asam mengakibatkan senyawa fenolik menjadi lebih stabil dan sulit melepas proton yang dapat berikatan dengan DPPH, sehingga aktivitas antioksidan mengalami penurunan (Puspitasari dkk., 2017).

4. Faktor-faktor yang mempengaruhi fermentasi teh kombucha

a. pH

Berdasarkan penelitian oleh Dartora *et al.* (2023), nilai pH akhir kombucha berada dalam rentang 2,7-2,9. Nilai ini memenuhi *Brazilian regulation standards* (pH 2,5-4,2) dan mengindikasikan bahwa proses fermentasi berjalan dengan optimal., ditandai oleh produksi asam organik seperti asam asetat oleh mikroba SCOBY. Penelitian tersebut juga mengungkapkan bahwa massa SCOBY yang lebih tinggi pada awal fermentasi cenderung menghasilkan pH yang lebih rendah,

diduga karena aktivitas metabolik bakteri asam asetat dan laktat yang lebih intensif.

b. Suhu

Suhu menjadi salah satu faktor penting yang memengaruhi proses fermentasi kombucha teh hijau karena secara langsung mengendalikan aktivitas metabolisme mikroorganisme dalam SCOBY. Secara umum, suhu fermentasi yang disarankan berada pada kisaran 22–30°C, di mana variasi suhu tersebut menentukan kecepatan fermentasi, komposisi mikroba, serta karakteristik fisikokimia dan sensoris produk akhir. Suhu yang lebih tinggi, seperti 30°C, dapat mempercepat fermentasi, meningkatkan produksi asam organik, dan menurunkan pH lebih cepat, sehingga menghasilkan rasa yang lebih asam dan aroma menyerupai cuka. Sebaliknya, suhu yang lebih rendah, misalnya 20°C, cenderung memperlambat proses fermentasi dan menghambat pertumbuhan optimal SCOBY. Selain itu, suhu juga memengaruhi keragaman mikroorganisme; penelitian menunjukkan bahwa suhu 30°C mendorong keragaman bakteri asam asetat dan bakteri asam laktat yang lebih tinggi, sedangkan suhu 25°C dianggap optimal untuk sekresi senyawa bioaktif seperti flavonoid. Oleh karena itu, pengendalian suhu yang tepat sangat penting untuk mencapai hasil fermentasi yang konsisten, aman, dan sesuai dengan profil sensori yang diinginkan (Evangelina dan Nugerahani, 2025).

c. Jumlah substrat

Gula merupakan komponen esensial dalam proses fermentasi kombucha karena berperan sebagai substrat yang dikonsumsi oleh kultur SCOBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast). Selama fermentasi berlangsung, mikroorganisme dalam SCOBY melakukan metabolisme terhadap gula, mengonversinya menjadi

berbagai senyawa seperti asam-asam organik, vitamin, mineral, enzim, serta karbon dioksida (CO₂) yang memberikan sifat berkarbonasi pada minuman akhir. Apabila rasio gula yang digunakan tidak tepat, baik berlebih maupun kurang, dapat mengakibatkan gangguan pada proses fermentasi dan berisiko menghasilkan produk akhir yang tidak aman untuk dikonsumsi (Alifiyah, 2020).

d. Jumlah oksigen

Ketersediaan oksigen sangat memengaruhi fermentasi karena proses ini bersifat aerobik dan memerlukan pasokan oksigen yang cukup. Secara stoikiometri, reaksi oksidasi glukosa memerlukan oksigen dengan perbandingan tertentu, yang dapat digambarkan dalam persamaan $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6H_2O + 6CO_2$. Untuk mengoksidasi 180 gram glukosa secara sempurna, diperlukan 192 gram oksigen. Namun, baik glukosa maupun oksigen harus terlarut dalam medium sebelum dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme. Kelarutan oksigen dalam air kira-kira 6000 kali lebih rendah dibandingkan glukosa, sehingga pasokan oksigen sering kali menjadi faktor pembatas yang tidak dapat disesuaikan dengan laju oksidasi glukosa atau substrat karbon lainnya (Soto *et al.*, 2018).

e. Waktu fermentasi

Pada umumnya, fermentasi teh kombucha berlangsung dalam rentang waktu 7 hingga 10 hari, di mana aktivitas biologis produk cenderung meningkat seiring bertambahnya durasi fermentasi. Walaupun kadar antioksidan dapat menunjukkan peningkatan, aspek sensoris seperti cita rasa dan warna tetap perlu diperhatikan (Wahyuningtias *et al.*, 2023).

Lama fermentasi berpengaruh signifikan terhadap perubahan sifat organoleptis serta nilai IC₅₀ dan diameter zona hambat pada uji antibakteri. Perubahan ini

disebabkan oleh pembentukan metabolit sekunder dari aktivitas mikroorganisme dalam SCOBY, yang dapat meningkatkan atau mengurangi potensi antioksidan dan antibakteri seiring berjalannya waktu fermentasi (Mayani dkk., 2025).

C. Bakteri *Staphylococcus aureus*

1. Definisi bakteri *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus adalah bakteri Gram positif berbentuk kokus yang merupakan flora normal pada kulit dan hidung manusia. Dalam kondisi normal bersifat komensal, tetapi dapat menjadi patogen oportunistik saat daya tahan tubuh menurun. Bakteri ini menyebabkan berbagai infeksi, mulai dari infeksi kulit ringan hingga infeksi sistemik berat seperti pneumonia, bakteremia, dan osteomielitis. Bahaya utamanya adalah kemampuannya mengembangkan resistensi antibiotik, seperti pada strain MRSA, yang mempersulit pengobatan (Rianti dkk., 2022).

2. Klasifikasi *Staphylococcus aureus*

Klasifikasi bakteri *Staphylococcus aureus* sebagai berikut (Karoimah, 2019):

Domain	: <i>Bacteria</i>
Kingdom	: <i>Eubacteria</i>
Filum	: <i>Firmicutes</i>
Kelas	: <i>Bacillis</i>
Ordo	: <i>Bacillales</i>
Famili	: <i>Staphylococcaceae</i>
Genus	: <i>Staphylococcus</i>
Spesies	: <i>Staphylococcus aureus</i>

3. Morfologi *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus termasuk dalam kelompok bakteri Gram positif dengan morfologi bulat (kokus) dan ukuran diameter berkisar 0,5–1,5 µm. Bakteri ini secara khas ditemukan dalam susunan tunggal, berpasangan, atau berkelompok tidak teratur yang menyerupai rangkaian buah anggur. Karena termasuk Gram positif, *Staphylococcus aureus* memiliki dinding sel yang tebal sehingga mampu mempertahankan warna kristal violet saat dilakukan pewarnaan Gram (Khairunnisa dkk., 2023). *Staphylococcus aureus* merupakan bakteri patogen yang mengembangkan resistensi terhadap antibiotik seiring dengan intensitas pemakaiannya dalam praktik klinis yang kian meningkat. Bakteri ini memiliki kisaran pertumbuhan optimal pada suhu antara 6,5 hingga 46 derajat Celcius dan dapat beradaptasi pada lingkungan dengan tingkat keasaman (pH) antara 4,2 hingga 9,32 (Karmilah dkk., 2023).

4. Patogenitas *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus merupakan salah satu bakteri Gram positif utama yang berperan sebagai patogen penting baik bagi manusia maupun hewan. Kemampuannya dalam menyebabkan penyakit sangat luas, mulai dari infeksi lokal pada kulit hingga penyakit sistemik berat yang dapat mengancam nyawa (Daniela Chessa, Giulia Ganau, and Vittorio Mazzarello, 2015).

Staphylococcus aureus memiliki sifat ganda sebagai flora komensal dan sekaligus patogen pada manusia. Bakteri ini dapat mengkolonisasi sekitar sepertiga populasi dunia. Akibatnya, *Staphylococcus aureus* menjadi penyebab paling umum dari bakteremia, endokarditis, infeksi osteoartikular, infeksi kulit dan

jaringan lunak, infeksi pleuropulmoner, serta infeksi terkait penggunaan alat medis implan (Tong *et al.*, 2015).

Kemampuan *Staphylococcus aureus* menimbulkan penyakit dipicu oleh interaksi antara toksin, faktor ekstraseluler, dan karakteristik invasifnya yang mencakup adhesi, produksi biofilm, serta daya tahan terhadap fagositosis. Sejak beberapa puluh tahun lalu, dunia kesehatan juga dihadapkan pada ancaman strain yang telah resisten terhadap antibiotik tertentu, yang disebut MRSA (*Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus*) (Daniela Chessa, Giulia Ganau, and Vittorio Mazzarello, 2015).

D. Pertumbuhan Bakteri

1. Fase pertumbuhan bakteri

a. Fase adaptasi (fase lag)

Fase adaptasi (fase lag) merupakan fase adaptasi sel terhadap lingkungan barunya selama fase ini, terjadi peningkatan volume sel tanpa diikuti pertambahan jumlah karena pembelahan belum terjadi. Aktivitas metabolisme sel dipercepat, sehingga mendorong proses biosintesis molekul-molekul seluler, khususnya enzim secara lebih intensif (Hanifah, A. N., 2024).

b. Fase logaritmik (fase log)

Fase kedua dikenal sebagai fase logaritmik atau fase eksponensial. Pada fase ini, sel bakteri membelah diri secara aktif melalui pembelahan biner, sehingga populasinya bertambah secara eksponensial. Hubungan antara waktu dan jumlah sel pada fase logaritmik bersifat eksponensial, bukan linear. Pertumbuhan optimal pada fase ini memerlukan kondisi nutrisi, suhu, dan pH yang spesifik bagi setiap jenis bakteri. Sel-sel dalam fase log menunjukkan laju pertumbuhan yang stabil.

Selain itu, tahap ini juga merupakan periode ketika bakteri paling rentan terhadap efek disinfektan dan antibiotik umum yang menargetkan protein, DNA, dan dinding sel (Parker *et al.*, 2016).

c. Fase stasioner

Fase stasioner pada pertumbuhan bakteri terjadi setelah fase logaritmik. Dalam fase ini, peningkatan jumlah sel yang terjadi pada fase log menyebabkan beberapa faktor, seperti menipisnya nutrisi dan berkurangnya kadar oksigen dalam media, memperlambat laju pertumbuhan. Akibatnya, jumlah sel bakteri yang hidup menjadi seimbang dengan jumlah sel yang mati, sehingga populasi sel hidup relatif stabil (Parker *et al.*, 2016).

d. Fase kematian

Ketika nutrisi dalam media kultur telah terkuras, jumlah sel bakteri yang mati mengalami peningkatan tajam, sementara populasi sel hidup menurun secara signifikan. Kondisi ini menandai masuknya fase kematian. Pada tahap ini, sebagian besar sel mengalami kerusakan dinding sel (lisis) sehingga melepaskan berbagai nutrisi ke dalam lingkungan media pertumbuhan. Nutrisi yang terlepas tersebut kemudian dimanfaatkan oleh sel-sel bakteri yang masih hidup untuk tetap bertahan dan membentuk endospora (Parker *et al.*, 2016).

E. Aktivitas Antibakteri

1. Konsep dasar antibakteri

Antibakteri didefinisikan sebagai senyawa atau obat yang berfungsi sebagai antiseptik atau agen pembunuh bakteri. Potensi antibakteri diukur melalui dua parameter utama, yaitu Kadar Hambat Minimal (KHM) yang merupakan konsentrasi terendah untuk menghambat bertumbuhnya bakteri, dan Kadar Bunuh

Minimal (KBM) sebagai konsentrasi paling rendah yang mampu membunuh bakteri. Suatu antibakteri dapat meningkatkan aktivitasnya menjadi bakterisidal apabila konsentrasinya ditingkatkan melebihi nilai KHM. Efektivitas suatu antibakteri dipengaruhi oleh beberapa kondisi, antara lain pH lingkungan, komponen media pertumbuhan, stabilitas senyawa, ukuran inokulum bakteri, durasi inkubasi, serta tingkat aktivitas metabolik mikroorganisme. Suatu senyawa dapat dikategorikan sebagai antibakteri jika memenuhi kriteria berikut: mampu menghambat atau membunuh patogen, memiliki sifat bakterisidal, tidak menimbulkan reaksi alergi, serta stabil dan larut dalam air (Hasanah, 2018).

2. Tujuan uji aktivitas antibakteri

Uji antibakteri adalah prosedur yang bertujuan untuk menilai potensi suatu senyawa dalam menekan atau mematikan pertumbuhan bakteri. Secara garis besar, terdapat dua pendekatan utama dalam pengujian ini, yaitu metode difusi dan metode dilusi. Pada metode difusi, seperti *disk diffusion assay* atau *well diffusion assay*, hasil pengujian diamati berdasarkan terbentuknya zona bening (zona hambat) di sekitar sampel, yang kemudian diukur diameternya dalam satuan milimeter (mm). Sementara itu, pada metode dilusi, misalnya *broth microdilution*, hasil dinyatakan sebagai Konsentrasi Hambat Minimal (KHM) atau *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC), yakni konsentrasi paling rendah yang secara visual masih mampu menghambat pertumbuhan bakteri (Al-farabi dkk., 2025).

Hasil pengukuran diameter zona hambat yang diperoleh dapat diinterpretasikan berdasarkan kategori daya hambat menurut Davis and Stout. Zona hambat dengan diameter <5 mm termasuk kategori resisten (tidak efektif), 5–10 mm termasuk

kategori sedang, 10–20 mm termasuk kategori kuat, dan >20 mm termasuk kategori sangat kuat (Purba, Naliani, dan Sugiaman, 2023).

Dalam menghambat pertumbuhan bakteri, senyawa antibakteri bekerja melalui beberapa mekanisme. Menurut penelitian dari Wahyuni dkk. (2020) senyawa antibakteri seperti flavonoid dan triterpenoid memiliki mekanisme kerja yang berbeda untuk menghambat bertumbuhnya bakteri. Flavonoid berperan dengan cara mendenaturasi protein bakteri dan mengganggu stabilitas dinding sel serta permeabilitas membran sitoplasma, yang dapat menyebabkan kematian sel. Sementara itu, triterpenoid merusak fraksi lipid pada membran sitoplasma dan akan mengganggu pembentukan dinding sel, sehingga akan menghambat pertumbuhan bakteri.

Menurut cara kerjanya, senyawa antibakteri dapat dikategorikan menjadi bakteriostatik dan bakterisidal. Antibakteri bakteriostatik merupakan senyawa yang dapat menghambat bakteri (Wilapangga dan Syaputra, 2018). Kebalikannya, senyawa yang bersifat bakterisidal memiliki kemampuan membunuh bakteri secara langsung (Yanduke *et al.*, 2025). Sejumlah zat antibakteri akan bersifat bakteriostatik ketika digunakan dalam konsentrasi yang rendah, namun berubah menjadi bakteriosidal pada konsentrasi yang lebih tinggi (Wilapangga dan Syaputra, 2018).

3. Mekanisme kerja antibakteri

Mekanisme kerja antibakteri dapat dikelompokkan sebagai berikut ini:

a. Menghambat metabolisme sel mikroba

Salah satu mekanisme kerja agen antibakteri adalah dengan menghambat metabolisme sel mikroba. Mekanisme ini secara efektif mengganggu proses

produksi energi dan reaksi biokimia vital di dalam sel bakteri, yang pada akhirnya menyebabkan kematian sel. Senyawa metabolit sekunder dari tanaman, seperti flavonoid dan alkaloid, mampu menghambat metabolisme sel bakteri melalui beberapa mekanisme spesifik. Flavonoid bekerja dengan cara menghambat penggunaan oksigen dan mengganggu fungsi enzim sitokrom C reduktase dalam rantai transpor elektron, sehingga proses produksi energi seluler terhambat. Sementara itu, alkaloid menargetkan pembentukan adenosin trifosfat (ATP) sebagai molekul pembawa energi utama dalam sel. Penghambatan sintesis ATP menyebabkan terganggunya berbagai reaksi metabolik yang bergantung pada energi tersebut, yang berujung pada kegagalan fungsi sel dan kematian bakteri. Maka dari itu, senyawa-senyawa itu menunjukkan mekanisme antibakteri yang efektif melalui disruptor metabolisme sel mikroba (Shari, 2024).

b. Menghambat dinding sel

Dinding sel bakteri memiliki struktur unik yang tidak ditemukan pada organisme lain, yakni adanya polimer peptidoglikan. Polimer ini tersusun atas rangkaian bergantian dari dua turunan gula, yaitu asam N-asetilmuramat dan N-asetilglukosamin. Keberadaan peptidoglikan merupakan ciri khas kelompok eubacteria, sehingga menjadi pembeda utama dari sel mamalia yang tidak memilikinya. Fungsi utama dinding sel ini adalah memberikan integritas struktural dan bentuk pada sel bakteri. Oleh karena itu, strategi yang sangat efektif untuk menghentikan pertumbuhan bakteri adalah dengan mengganggu pembentukan dinding selnya, khususnya dengan menghambat biosintesis peptidoglikan. Senyawa yang bekerja dengan cara ini dikategorikan sebagai penghambat sintesis dinding sel. Paparan terhadap agen-agen tersebut akan menghasilkan dinding sel

baru yang cacat dan kekurangan peptidoglikan. Kelompok antibiotik beta-laktam (seperti penisilin dan sefalosporin) adalah penghambat utama sintesis dinding sel. Cara kerjanya adalah dengan meniru struktur molekul D-alanil-D-alanin, lalu berikatan dengan enzim Protein Pengikat Penisilin (PBP). Ikatan ini menghambat reaksi transpeptidasi akhir langkah kunci untuk memperkuat jaring peptidoglikan. Akibatnya, dinding sel yang terbentuk menjadi lemah dan rapuh. Bersamaan dengan itu, penghambatan ini memicu aktivasi enzim pencernaan dinding sel (autolisin) di dalam bakteri itu sendiri, yang akhirnya menyebabkan sel bakteri pecah (lisis) (Ullah dan Ali, 2017).

c. Perubahan permeabilitas sel

Salah satu strategi yang dapat digunakan oleh senyawa antibakteri untuk menghambat pertumbuhan bakteri adalah dengan mengganggu integritas membrane sel. Mekanisme ini dikenal sebagai perubahan atau perubahan permeabilitas sel (Wilapangga dan Syaputra, 2018). Senyawa bioaktif seperti flavonoid dan saponin dapat menghambat bakteri dengan cara merusak integritas sel, yang dimana flavonoid mengganggu permeabilitas dinding sel. Sementara itu, saponin merusak membran sel dan menyebabkan kebocoran komponen intraseluler seperti protein dan asam nukleat. Kerusakan beruntun ini berakhir dengan lisisnya sel bakteri (Kurniawan dan Aryana, 2015).

d. Menghambat sintesis protein sel

Sintesis protein merupakan fungsi seluler yang vital, baik pada bakteri maupun manusia, sehingga menjadi target utama sebagai antibiotik. Keberhasilan pengembangan antibiotik penghambat sintesis protein dimungkinkan karena adanya perbedaan kecepatan proses sintesis protein antara sel bakteri dan sel

manusia, yang memungkinkan selektivitas obat. Secara mekanistik, antibiotik golongan ini bekerja dengan mengganggu berbagai tahap sintesis protein, seperti inisiasi, elongasi (meliputi masuknya aminoasil tRNA, proofreading, transfer peptidil, dan translokasi ribosom), serta terminasi (Ullah dan Ali, 2017).

e. Menghambat sintesis asam nukleat

Sintesis asam nukleat adalah salah satu target utama dalam terapi infeksi bakteri, yang di mana senyawa yang bekerja dengan menghambat proses ini dikenal sebagai penghambat sintesis asam nukleat. Toksisitas selektif dari senyawa-senyawa ini dapat dicapai berkat perbedaan yang nyata pada enzim pengendali sintesis DNA dan RNA antara sel prokariotik (bakteri) dan eukariotik (inang), sehingga bisa mendorong pengembangan agen antibakteri yang efektif. Berdasarkan targetnya, kelompok penghambat ini dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu senyawa penghambat DNA dan penghambat RNA. Golongan penghambat RNA bekerja dengan mengacaukan proses transkripsi bakteri, yakni tahap pembentukan mRNA dari cetakan DNA yang selanjutnya akan ditranslasi menjadi protein. Salah satu contohnya adalah rifampisin dari golongan rifamisin, yang menghambat transkripsi dengan cara berikatan pada enzim DNA-dependent RNA polimerase. Ikatan ini menghalangi proses pemanjangan rantai RNA, sehingga transkripsi gen terhenti, fungsi seluler bakteri terganggu, dan berakhir pada kematian sel bakteri. Sementara itu, penghambatan sintesis DNA dilakukan dengan menargetkan salah satu tahapan utamanya, yaitu inisiasi, elongasi, atau terminasi. Kuinolon seperti asam nalidiksik dan siprofloksasin termasuk dalam golongan penghambat DNA. Mekanisme kerjanya melibatkan pengikatan pada enzim DNA girase (suatu jenis topoisomerase), yang berperan dalam memotong

dan menyambung kembali untaian DNA selama proses supercoiling. Dengan terhambatnya fungsi DNA girase akibat pengikatan kuinolon, proses replikasi DNA terhenti dan berujung pada kerusakan sel bakteri yang fatal (Ullah dan Ali, 2017).

4. Metode uji aktivitas antibakteri

Aktivitas antibakteri dapat dievaluasi melalui beberapa pendekatan metode, antara lain metode dilusi, metode difusi agar, dan metode difusi dilusi (Rahmah, Hidayani dan Ramdhani, 2024).

a. Metode dilusi

Metode dilusi adalah suatu cara untuk menguji potensi senyawa dalam menghambat atau membunuh mikroba dengan menentukan nilai Konsentrasi Hambat Minimum (KHM) dan Konsentrasi Bunuh Minimum (KBM) (Fatisa dkk., 2013). Metode dilusi terdiri dari dua cara pelaksanaan, yaitu teknik dilusi dalam media kaldu cair dan teknik dilusi pada media agar padat, di mana keduanya berfungsi untuk mengukur aktivitas antimikroba secara kuantitatif. Pada metode ini, senyawa antimikroba dilarutkan ke dalam media agar atau kaldu, kemudian media tersebut diinokulasi dengan bakteri uji. Setelah diinkubasi selama satu malam, konsentrasi terendah yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri ditentukan sebagai MIC (*Minimal Inhibitory Concentration*) (Soleha, 2015).

b. Metode difusi

Metode difusi adalah teknik yang umum dipakai dalam analisis aktivitas antibakteri. Prinsip kerjanya adalah mendifusikan senyawa antibakteri ke dalam media padat yang telah mengandung mikroba uji. Hasilnya diamati dengan melihat ada atau tidaknya zona bening (zona hambat) di sekitar cakram kertas, yang

menandakan terhambatnya pertumbuhan bakteri (Balouiri, Sadiki and Ibnsouda, 2016). Metode difusi pada media padat kerap dimanfaatkan untuk mengevaluasi potensi antibakteri suatu antibiotik dengan cara membandingkannya terhadap antibiotik standar yang telah diketahui ukuran zona hambat pertumbuhannya. Terdapat tiga pendekatan berbeda dalam metode difusi yang dapat diaplikasikan, yakni metode cakram, metode sumuran, serta metode silinder (Asril dkk., 2024).

Metode difusi cakram dilaksanakan dengan menggunakan kertas cakram yang berfungsi sebagai membawa senyawa antimikroba. Kertas tersebut dijenuhkan dalam larutan bahan uji, lalu ditempatkan di atas permukaan media padat agar yang telah diinokulasi dengan mikroba target. Selanjutnya, cawan diinkubasi pada suhu 35°C selama 18–24 jam. Adanya zona bening di sekitar kertas cakram setelah inkubasi mengindikasikan terjadinya hambatan terhadap pertumbuhan mikroba. Diameter zona bening yang terbentuk berbanding lurus dengan jumlah mikroba uji yang ditambahkan pada cakram. Keunggulan metode ini terletak pada kecepatan persiapan cakram, sehingga proses pengujian dapat dilakukan dengan lebih efisien (Nurhayati, Yahdiyani, & Hidayatulloh, 2020).

Metode sumuran dilaksanakan dengan cara membuat lubang secara vertikal pada media agar padat yang sebelumnya telah diinokulasikan ke bakteri uji. Jumlah dan penempatan lubang ditentukan berdasarkan rancangan penelitian, kemudian lubang tersebut diisi dengan sampel uji. Setelah melalui proses inkubasi, pengamatan dilakukan terhadap pertumbuhan bakteri untuk mendeteksi ada tidaknya zona hambat yang terbentuk di sekitar lubang. Keunggulan metode sumuran terletak pada kemudahan dalam mengukur luas zona hambat yang terbentuk, karena aktivitas bakteri tidak hanya terbatas pada permukaan agar

melainkan juga terjadi hingga lapisan bagian dalam. Kendala yang mungkin timbul dalam penerapan metode ini antara lain adanya sisa-sisa agar yang tertinggal di sekitar sumuran, serta risiko retak atau kerusakan media agar di sekeliling lubang yang dapat mengganggu proses difusi senyawa antibakteri dan memengaruhi hasil pembentukan zona bening (Nurhayati, Yahdiyani, & Hidayatulloh, 2020).

Prosedur yang diterapkan pada metode silinder serupa dengan metode cakram. Sejumlah silinder yang terbuat dari bahan gelas atau logam anti karat diletakkan secara vertikal di atas permukaan media agar yang telah diinokulasi dengan bakteri uji. Masing-masing silinder kemudian diisi dengan larutan sampel, selanjutnya dilakukan inkubasi. Setelah proses inkubasi rampung, pertumbuhan bakteri diamati untuk mendeteksi keberadaan zona hambat di sekeliling silinder (Putri dkk., 2023).