

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Probiotik**

Probiotik merupakan mikroorganisme hidup yang diberikan dengan jumlah yang memadai sehingga dapat memelihara keseimbangan mikrobiota dalam tubuh. Produk probiotik merupakan salah satu produk yang memanfaatkan aplikasi bioteknologi dengan memanfaatkan bakteri asam laktat. Probiotik memiliki fungsi terapeutik yang dapat meningkatkan sistem imun melalui mekanisme kompetisi mendapatkan nutrisi dengan mikroba patogen, biokonversi dari gula sederhana menjadi produk fermentasi yang menghasilkan asam organik yang mempunyai efek menghambat bakteri patogen, produksi substrat pertumbuhan bakteri baik saluran pencernaan (Sari & Anindita, 2024).

##### **2.1.2. Syarat Probiotik**

Syarat probiotik diantaranya adalah:

1. Aman dikonsumsi
2. Mampu membentuk koloni dan berkembang biak
3. Tahan terhadap cairan asam lambung
4. Mampu bertahan hidup pada saluran pencernaan dan mampu menghasilkan zat antimikroba (Yuni *et al.*, 2020).

##### **2.1.3. Jenis Mikroorganisme Probiotik**

Bakteri asam laktat yang dapat dimanfaatkan diantaranya dari kelompok *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Bifidobacterium* dan *Lactococcus* (Adeniran *et al.*, 2020). Bakteri ini mampu menjaga keseimbangan mikroflora dalam usus yang dapat mencegah gangguan saluran pencernaan seperti tipes, diare dan disentri yang merupakan masalah yang sering dialami masyarakat Indonesia (BPOM, 2020).

## 2.2. Bakteri Asam Laktat

### 2.2.1. Deskripsi Umum Bakteri Asam Laktat

Bakteri asam laktat merupakan kelompok bakteri baik yang memberikan rasa masam terhadap produk olahan fermentasi dan dapat digolongkan sebagai probiotik, yaitu zat yang tidak berbahaya yang dapat bertahan selama pemrosesan dan penyimpanan, memiliki efek antagonis terhadap bakteri patogen, tahan terhadap asam lambung, getah pankreas dan empedu, serta dapat melindungi epitel inangnya (Fachrial *et al.*, 2022).

### 2.2.2. Klasifikasi Bakteri Asam Laktat

Bakteri ini terdiri atas beberapa filum Firmicutes. Genera tersebut adalah *Aerococcus*, *Enterococcus*, *Melisococcus*, *Weisella*, *Vagococcus*, *Tetragenococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Oenococcus*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Lactosphaera*, *Leuconostoc* dan *Carbobacterium*. *Bifidobacterium* sering diklasifikasikan sebagai *Lactobacillus*, tidak memiliki hubungan filogenetik dengan bakteri asam laktat dan memiliki cara sendiri dalam memfermentasi gula. Klasifikasi BAL pada masing-masing genus terutama didasarkan pada perbedaan morfologi, metode fermentasi glukosa pertumbuhan pada suhu yang berbeda, konfigurasi asam laktat yang dihasilkan, kemampuan tumbuh pada lingkungan konsentrasi garam tinggi, dan toleransi terhadap lingkungan asam atau basa (Fachrial *et al.*, 2022).

### 2.2.3. Morfologi Bakteri Asam Laktat

Ciri khas dari BAL adalah bahwa ia sedikit lebih besar dari bakteri lain dan biasanya memiliki bentuk mikroskopis oval, seperti batang, bulat atau koma. Semua BAL adalah bakteri Gram-positif, yang berarti mereka memiliki dinding peptidoglikan yang terdiri dari peptida (asam amino) dan glikan (karbohidrat) (Fachrial *et al.*, 2022).



Gambar 2.2. Mikroskopis Bakteri Asam Laktat Setelah Pewarnaan Gram

#### **2.2.4. Karakteristik dan Sifat Bakteri Asam Laktat**

BAL merupakan bakteri yang heterogen, gram positif, anaerobik, tidak berspora, dan tahan asam. BAL dapat memfermentasi berbagai nutrisi, termasuk homofermentasi dan heterofermentasi, terutama untuk produksi asam laktat, selain asam asetat, asam format, etanol, dan produksi CO<sub>2</sub>. BAL terdapat secara alami pada tumbuhan, daging, susu dan produk olahannya, serta pada biji-bijian fermentasi dan makanan fermentasi yang telah digunakan dalam industri makanan skala besar atau industri dalam negeri sejak lama. BAL digunakan sebagai starter untuk fermentasi sayuran atau daging. Bakteri ini juga dapat mengontrol pertumbuhan bakteri patogen dengan memproduksi asam organik, hidrogen peroksida, diasetil, dan bakteriosin (Fachrial *et al.*, 2022).

#### **2.2.5. Keunggulan Bakteri Asam Laktat**

BAL memiliki beberapa keunggulan, yaitu:

1. BAL dapat menghasilkan senyawa yang memberikan rasa dan aroma tertentu pada makanan fermentasi.
2. BAL dapat meningkatkan nilai pencernaan makanan fermentasi karena dapat memotong bahan makanan yang sulit dicerna sehingga dapat langsung diserap oleh tubuh, seperti konversi protein menjadi peptida dan asam amino (Fachrial *et al.*, 2022).

#### **2.2.6. Peran Bakteri Asam Laktat dalam Penghambatan Bakteri Patogen**

Bakteri asam laktat dapat menghasilkan asam laktat yang jika terakumulasi di lingkungan sekitarnya, menyebabkan mikroorganisme penyebab penyakit dan pembusuk yang umumnya hidup pada kisaran toleransi pH yang lebih tinggi gagal untuk tumbuh. BAL juga dapat menghambat pertumbuhan bakteri lain seperti bakteri pembusuk dan patogen pada makanan dan produk fermentasi lainnya. Fitur yang paling penting dari BAL adalah kemampuannya untuk membentuk kembali senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana untuk menghasilkan asam laktat. Produk asam dari bakteri asam laktat berjalan dengan cepat dan dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme berbahaya lainnya (Fachrial *et al.*, 2022).

### **2.2.7. Syarat Bakteri Asam Laktat Sebagai Probiotik**

Syarat BAL sebagai probiotik yang dikemukakan oleh (Chang *et al.*, 2010) yaitu;

1. Tahan terhadap pH asam lambung (1.5-4)
2. Stabil terhadap garam empedu
3. Memproduksi senyawa antimikroba
4. Mampu menempel pada sel usus manusia serta tumbuh dan berkembang baik dalam saluran pencernaan
5. Dapat berkoagregasi membentuk lingkungan mikroflora normal yang seimbang dalam saluran pencernaan.

### **2.2.8. Ketahanan Bakteri Asam Laktat terhadap Kondisi Lingkungan**

BAL dapat tumbuh dan berkembang sebagai bagian dari proses fermentasi terus menerus, dan sampai batas tertentu menunjukkan ketahanan terhadap kondisi fisiologis media asam atau alkohol, seperti pada fermentasi biji kakao. BAL juga dapat bertahan dalam kondisi lingkungan kering atau kelembaban relatif rendah. BAL dapat bertahan dalam media tinggi lemak. Karena adanya protein tahan panas dalam sel bakteri yang dapat melindungi BAL dari kerusakan panas, beberapa BAL telah terbukti mampu menahan proses pemanasan suhu sedang dan rendah, seperti blansing dan pasteurisasi. Di sisi lain, BAL juga mengandung protein yang dapat melindungi diri dari pengaruh suhu lingkungan yang rendah. Di dalam tubuh, bakteri asam laktat dapat bertahan hidup di sistem pencernaan pada pH ekstrim, dan pH asam lambung adalah  $1,5\pm 0,5$ . Kemampuan ini memungkinkan BAL untuk bertahan hidup dan kemudian tumbuh di perut manusia dan hewan untuk menghambat bakteri patogen (Fachrial *et al.*, 2022).

### **2.3. Koagregasi**

Koagregasi merupakan mekanisme spesifik antar sel di mana bakteri dengan perbedaan genetik mampu saling mengenali dan menempel satu sama lain melalui perantara polimer spesifik pada permukaan sel. Polimer ini terdiri dari adhesin (protein) pada satu bakteri yang berikatan dengan reseptor (polimer yang mengandung sakarida) pada bakteri lainnya (Afonso *et al.*, 2021). Selain melalui interaksi protein-sakarida, koagregasi juga dimediasi oleh interaksi antar protein (Lee, 2024). Proses ini memungkinkan terjadinya berbagai bentuk kerja sama

antar bakteri, seperti perlindungan dari kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan, komunikasi antar sel, serta pertukaran informasi genetik di dalam biofilm, yang pada akhirnya memberikan keuntungan metabolik bagi bakteri yang berpartisipasi dalam koagregasi (Lee *et al.*, 2024).

### **2.3.1. Mekanisme Koagregasi**

Koagregasi terjadi terutama melalui interaksi antara protein adhesin dan reseptor. Adhesin merupakan protein yang terletak di permukaan sel bakteri dan memiliki kemampuan untuk mengenali serta berikatan dengan reseptor tertentu pada permukaan sel bakteri lain. Reseptor ini merupakan molekul yang mengandung gula kompleks yang hanya dapat dikenali oleh adhesin dari pasangan yang sesuai. Interaksi antara adhesin dan reseptor bersifat spesifik, di mana hanya pasangan yang tepat yang dapat saling berikatan. Selain itu, bakteri mampu menghasilkan kombinasi adhesin dan reseptor yang memungkinkan beberapa spesies untuk berkoagregasi dan membentuk jaringan sel yang saling terhubung secara spesifik.

### **2.3.2. Peran Koagregasi Dalam Pembentukan Biofilm**

Kemampuan bakteri untuk beragregasi merupakan faktor penting dalam pembentukan biofilm. Agregasi antar bakteri dari spesies yang sama terjadi melalui proses yang disebut autoagregasi, yaitu penggabungan sel bakteri dari spesies yang sama untuk memperkuat dan memperluas biofilm yang sedang berkembang. Selain itu, bakteri juga mampu berikatan dengan spesies lain melalui mekanisme spesifik yang dikenal sebagai koagregasi. Proses koagregasi memungkinkan bakteri dari spesies yang berbeda untuk mengenali dan menempel secara spesifik satu sama lain, sehingga mendukung pembentukan dan stabilitas biofilm yang sedang berkembang.

### **2.3.3. Lingkungan yang Mendukung Koagregasi**

Fenomena koagregasi telah dipetakan pada banyak bakteri yang membentuk plak gigi manusia, yaitu biofilm yang terbentuk pada permukaan gigi, dan diketahui memiliki berbagai fungsi dalam stabilitas dan perkembangan komunitas bakteri. Selain pada plak gigi, koagregasi juga ditemukan dalam biofilm pada sistem distribusi air minum, permukaan kulit manusia, dan bahkan pada gigi anjing. Meluasnya keberadaan koagregasi di berbagai lingkungan

menunjukkan bahwa fenomena ini kemungkinan merupakan mekanisme yang bersifat universal di antara bakteri, sehingga pemahaman mengenai proses koagregasi menjadi penting dalam memahami dinamika komunitas bakteri dalam berbagai lingkungan (Katharios *et al.*, 2014)

## **2.4. *Pseudomonas aeruginosa***

### **2.4.1. Deskripsi *Pseudomonas aeruginosa***

*Pseudomonas aeruginosa* adalah bakteri berbentuk batang (basil) Gram negatif yang bersifat motil dan heterotrof, dengan ukuran berkisar antara 1–5 µm panjang dan 0,5–1,0 µm lebar. Bakteri ini termasuk aerob fakultatif, yang dapat melakukan respirasi aerob maupun respirasi anaerob dengan menggunakan nitrat sebagai akseptor elektron terminal. Selain itu, *P. aeruginosa* juga mampu bertahan dalam kondisi anaerob dengan memanfaatkan arginin, meskipun kemampuan fermentasinya terbatas sehingga pertumbuhannya cenderung lambat atau bahkan tidak terjadi sama sekali. Bakteri ini memiliki kemampuan metabolik yang luas, mampu memanfaatkan lebih dari 100 jenis molekul organik sebagai sumber karbon dan energi.

### **2.4.2. Klasifikasi *Pseudomonas aeruginosa***

Klasifikasi *Pseudomonas aeruginosa* dalam (Diggle & Whiteley, 2020) adalah sebagai berikut.

Kingdom : Monera  
Filum : Proteobacteria  
Kelas : Gamma Proteobacteria  
Ordo : Pseudomonadaceae  
Genus : *Pseudomonas*  
Spesies : *Pseudomonas aeruginosa*

### **2.4.2. Habitat dan Persebaran *Pseudomonas aeruginosa***

Sebagai bakteri prototrof, *P. aeruginosa* dapat bertahan hidup pada media garam minimal dengan hanya satu sumber karbon dan energi. Suhu optimal untuk pertumbuhannya adalah 37°C, tetapi bakteri ini mampu bertahan dalam kisaran suhu yang cukup ekstrem, yaitu antara 4–42 °C. *P. aeruginosa* dikenal sebagai bakteri tanah yang berperan dalam proses biodegradasi hidrokarbon aromatik polisiklik. Namun, bakteri ini juga sering ditemukan di lingkungan yang tercemar

oleh limbah hewan dan manusia, seperti di saluran pembuangan dan wastafel di dalam maupun di luar fasilitas kesehatan (Diggle & Whiteley, 2020).

## **2.5. Biji Kopi Luwak**

### **2.5.1. Deskripsi Umum Biji Kopi Luwak**

Biji kopi luwak merupakan hasil dari pencernaan luwak atau yang dikenal dengan *Paradoxurus hermaphroditus* yang memiliki sistem pencernaan yang unik, dimana ketika luwak mengkonsumsi buah, hanya daging buah yang dicerna, sedangkan biji akan dikeluarkan secara utuh dalam bentuk feses pada waktu defekasi (Muzaifa *et al.*, 2021).



**Gambar 2.1.** Biji kopi luwak mentah yang telah dikeluarkan melalui proses defekasi oleh luwak (*Paradoxurus hermaphroditus*)

### **2.5.2. Peranan Mikroorganisme dan Enzim dalam Proses Pencernaan Luwak**

Mikroorganisme dan enzim yang ditemukan pada saluran pencernaan luwak memainkan peran utama untuk fermentasi biji kopi (Elhalis *et al.*, 2023). Luwak memiliki kelenjar fundus di dalam saluran pencernaannya, salah satu penyusunnya adalah sel parietal yang mendistribusikan HCl. HCl berfungsi sebagai aktifator enzim-enzim proteolitik dan probiotik. Enzim proteolitik dapat memecah protein pada biji kopi selama proses fermentasi.

Proses pencernaan kopi pada hewan luwak dibantu mikroba secara intensif berlangsung pada organ intestinum (usus halus) dan caecum (usus buntu). Salah satu kelompok bakteri yang berperan dalam saluran pencernaan yaitu bakteri proteolitik yang dapat mendegradasi protein sehingga mempengaruhi cita rasa kopi (Hasibuan, 2023).