

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bakteri Asam Laktat (BAL)

Bakteri Asam Laktat (BAL) merupakan kelompok mikroorganisme Gram-positif, tidak berspora, dan bersifat anaerob atau mikroaerofil yang umumnya ditemukan dalam lingkungan fermentatif seperti produk susu, sayuran fermentasi, serta saluran pencernaan manusia dan hewan (Gänzle, 2020). BAL memiliki kemampuan utama dalam mengonversi karbohidrat menjadi asam laktat melalui jalur metabolisme homofermentatif atau heterofermentatif. Pada jalur heterofermentatif, BAL tidak hanya menghasilkan asam laktat tetapi juga produk sampingan lain, termasuk asam asetat, etanol, dan karbon dioksida (Vinderola et al., 2019).

2.1.1 Morfologi Bakteri Asam Laktat

Morfologi BAL bervariasi tergantung pada spesiesnya, tetapi umumnya berbentuk kokus (bulat) atau basil (batang pendek) dengan ukuran berkisar antara 0,5 hingga 1,5 mikrometer. BAL bersifat tidak berspora dan memiliki dinding sel yang tebal karena mengandung peptidoglikan, yang membuatnya tahan terhadap kondisi lingkungan yang keras. Sebagian besar BAL bersifat non-motil dan memiliki kemampuan untuk tumbuh baik dalam kondisi aerob maupun anaerob fakultatif (Gänzle, 2020).

2.1.2 Klasifikasi Bakteri Asam Laktat

Secara taksonomi, BAL termasuk dalam filum *Firmicutes* dan diklasifikasikan sebagai berikut:

Domain : *Bacteria*

Filum : *Firmicutes*

Kelas : *Bacilli*

Ordo : *Lactobacillales*

Famili : *Lactobacillaceae, Streptococcaceae, Leuconostocaceae*

Genus : *Lactobacillus, Lactococcus, Streptococcus, Leuconostoc, Pediococcus*

Dari beberapa genus tersebut, *Lactobacillus* dan *Lactococcus* merupakan yang paling banyak digunakan dalam proses fermentasi makanan dan produksi asam asetat.

2.1.3 Kandungan Aktif dalam Fermentasi BAL

Fermentasi yang dilakukan oleh BAL menghasilkan berbagai senyawa aktif yang berkontribusi terhadap karakteristik dan manfaat produk fermentasi. Beberapa kandungan aktif utama dalam fermentasi BAL meliputi:

1. Asam Laktat - Senyawa utama hasil fermentasi yang menurunkan pH lingkungan dan berfungsi sebagai pengawet alami.
2. Asam Asetat - Dihasilkan melalui jalur heterofermentatif, memberikan rasa khas dan memiliki sifat antimikroba.
3. Diacetyl - Senyawa yang berkontribusi pada aroma khas produk fermentasi.
4. Bakteriosin - Senyawa antimikroba alami yang diproduksi oleh BAL untuk menghambat pertumbuhan bakteri patogen.
5. Exopolysaccharides (EPS) - Polisakarida yang berperan dalam meningkatkan tekstur produk fermentasi serta memiliki potensi sebagai prebiotik.

Jenis dan jumlah kandungan aktif yang dihasilkan bergantung pada kondisi fermentasi, strain BAL yang digunakan, serta substrat yang tersedia dalam media fermentasi (Vinderola et al., 2019).

2.2 Asam Asetat

Asam asetat (CH_3COOH) adalah senyawa organik yang termasuk dalam kelompok asam karboksilat. Asam asetat memiliki sifat larut dalam air, bau khas yang tajam, serta rasa asam yang kuat. Dalam kondisi murni, senyawa ini dikenal sebagai asam asetat glasial karena dapat membeku pada suhu di bawah $16,6^\circ\text{C}$ (Veličković et al., 2025). Asam asetat secara alami terdapat dalam berbagai produk fermentasi serta dalam cuka, yang mengandung sekitar 4-8% asam asetat (Parahardini et al., 2020).

2.2.1 Produksi Asam Asetat oleh Bakteri Asam Laktat

Asam asetat (CH_3COOH) merupakan salah satu asam organik yang dihasilkan dalam fermentasi oleh BAL melalui jalur heterofermentatif. Pada proses ini, enzim-enzim seperti *piruvat dekarboksilase* dan *asetaldehid*

dehydrogenase memainkan peran penting dalam konversi substrat menjadi asam asetat (Becerra et al., 2020). Fermentasi ini dapat berlangsung secara alami atau dengan pengaturan kondisi fermentasi yang dikontrol secara ketat untuk meningkatkan efisiensi produksi. Salah satu jalur utama dalam produksi asam asetat oleh BAL adalah fermentasi glukosa melalui jalur pentosa fosfat, di mana piruvat yang terbentuk diubah menjadi asam asetat melalui asetil-CoA sebagai perantara (Liu et al., 2019). Optimalisasi kondisi fermentasi seperti pH, suhu, dan konsentrasi substrat dapat meningkatkan produksi asam asetat dan mengurangi pembentukan produk sampingan yang tidak diinginkan.

2.2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produksi Asam Asetat

Beberapa faktor utama berperan penting dalam produksi asam asetat oleh Bakteri Asam Laktat (BAL), di antaranya adalah pH media fermentasi, suhu inkubasi, dan konsentrasi substrat. pH media memiliki pengaruh langsung terhadap aktivitas enzim dan stabilitas BAL selama proses fermentasi. BAL cenderung menghasilkan asam asetat secara optimal pada pH antara 4,5 hingga 6,0, tergantung pada strain yang digunakan (Becerra et al., 2020). Jika pH turun terlalu rendah, aktivitas enzimatik dapat terhambat sehingga mengurangi efisiensi fermentasi. Oleh karena itu, kontrol pH menjadi aspek krusial dalam mengoptimalkan proses fermentasi. Selain itu, suhu inkubasi juga memegang peranan penting dalam menentukan laju pertumbuhan BAL dan aktivitas enzimatik dalam jalur metabolisme. Studi oleh Medina et al. (2022) menunjukkan bahwa suhu optimal untuk produksi asam asetat oleh BAL berkisar antara 30°C hingga 37°C, di mana suhu yang terlalu rendah dapat memperlambat metabolisme bakteri, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat menghambat pertumbuhan atau bahkan menyebabkan denaturasi enzim. Faktor ketiga yang tidak kalah penting adalah konsentrasi substrat, khususnya glukosa, yang merupakan sumber utama karbon dalam fermentasi. Menurut Liu et al. (2019), konsentrasi glukosa yang optimal berkisar antara 5 g/L hingga 50 g/L; konsentrasi yang terlalu rendah dapat menghambat pertumbuhan BAL, sementara konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan akumulasi produk sampingan yang akhirnya menghambat proses fermentasi itu sendiri. Dengan demikian, pengendalian ketiga faktor ini sangat krusial untuk mencapai produksi asam asetat yang maksimal dan efisien.

2.3 Fermentasi Feses Luwak

Fermentasi feses luwak merupakan proses alami yang terjadi di dalam saluran pencernaan luwak (*Paradoxurus hermaphroditus*). Luwak mengonsumsi biji kopi sebagai bagian dari makanannya, dan selama proses pencernaan, berbagai enzim dan mikroba dalam saluran cerna luwak berperan dalam fermentasi biji kopi tersebut. Proses ini menghasilkan perubahan kimia dan biologis yang berkontribusi pada peningkatan cita rasa serta pengurangan kadar kafein dalam kopi (Afriyanti, 2020).

Feses luwak telah banyak digunakan sebagai objek penelitian karena kandungan mikroorganismenya yang beragam. Mikroorganisme tersebut, termasuk Bakteri Asam Laktat (BAL), berperan dalam fermentasi alami yang mempengaruhi komposisi kimia dari biji kopi yang dikeluarkan bersama feses. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Putra Mawinatha et al. (2022), ditemukan bahwa BAL yang diisolasi dari feses luwak memiliki kemampuan untuk menghasilkan senyawa metabolit sekunder seperti asam asetat, laktat, dan bakteriosin, yang dapat berkontribusi pada kualitas kopi yang difermentasi.

2.4 Peran Bakteri Asam Laktat dalam Fermentasi Feses Luwak

Bakteri Asam Laktat (BAL) merupakan salah satu mikroorganisme dominan yang ditemukan dalam feses luwak. BAL berperan dalam proses fermentasi dengan mengubah karbohidrat menjadi asam organik, termasuk asam asetat dan asam laktat, yang berkontribusi pada perubahan pH dan profil rasa kopi luwak. Menurut penelitian Adrianto et al. 2020, fermentasi biji kopi dengan BAL dapat memodifikasi kandungan senyawa volatil dan non-volatil yang menentukan cita rasa khas kopi luwak.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Hasibuan et al. 2023, BAL yang diisolasi dari feses luwak menunjukkan ketahanan terhadap kondisi asam dan memiliki kemampuan untuk menghasilkan senyawa antimikroba seperti bakteriosin. Senyawa ini berfungsi sebagai penghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen, sehingga fermentasi menggunakan BAL dapat membantu meningkatkan keamanan dan stabilitas produk fermentasi.

2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Fermentasi Feses Luwak

Fermentasi feses luwak dipengaruhi oleh sejumlah faktor utama yang saling berkaitan dalam menentukan jalannya proses fermentatif dan kualitas produk akhir yang dihasilkan. Salah satu aspek penting adalah keberadaan dan dominasi mikroorganisme selama fermentasi. Keberadaan bakteri asam laktat (BAL) beserta mikroorganisme lainnya sangat menentukan profil metabolit yang terbentuk, seperti berbagai jenis asam organik, gas, dan senyawa bioaktif. Selain itu, kondisi pH dan suhu juga menjadi faktor krusial yang memengaruhi pertumbuhan mikroba. BAL umumnya tumbuh optimal pada pH antara 6,5 hingga 7,5, dengan suhu ideal berada dalam rentang 37°C sampai 42°C (Parahardini et al., 2020), yang mendukung kestabilan proses biokimia selama fermentasi berlangsung.

Di samping itu, komposisi substrat nutrisi juga sangat berperan dalam mendukung aktivitas fermentatif. Kandungan karbohidrat yang terdapat dalam biji kopi, serta ketersediaan nutrisi lain dalam feses luwak, akan memengaruhi produksi metabolit sekunder seperti bakteriosin dan asam asetat yang memiliki implikasi terhadap keamanan serta mutu sensorik produk. Sementara itu, lamanya fermentasi juga berdampak besar terhadap hasil akhir. Proses fermentasi yang berlangsung lebih panjang dapat meningkatkan akumulasi senyawa organik tertentu, tetapi di sisi lain juga berpotensi menurunkan kualitas sensorik kopi jika durasinya melewati batas optimal. Dengan demikian, pengelolaan yang tepat terhadap keempat faktor tersebut sangat diperlukan untuk memastikan proses fermentasi berjalan optimal dan menghasilkan kopi dengan mutu yang sesuai standar.

2.6 Metode Analisis Produksi Asam Asetat

Untuk mengukur produksi asam asetat, berbagai metode analisis dapat digunakan, salah satunya adalah *High-Performance Liquid Chromatography* (HPLC). HPLC merupakan teknik analisis yang sangat akurat dalam mendeteksi dan mengukur konsentrasi senyawa dalam campuran fermentasi (Sampath et al., 2020). Prinsip dasar HPLC melibatkan pemisahan komponen dalam sampel berdasarkan interaksi dengan fase diam dan fase gerak dalam kolom kromatografi. Teknik ini mampu memberikan hasil kuantitatif yang presisi,

memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi efektivitas fermentasi dan menentukan kondisi optimal untuk produksi asam asetat.