BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bakteri Asam Laktat (BAL)

Bakteri asam laktat (BAL) adalah kelompok bakteri gram-positif yang bersifat anaerob fakultatif dan berbentuk batang atau kokus. Produk utama fermentasi karbohidrat adalah asam laktat. *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, dan *Streptococcus* adalah bakteri utama dalam BAL (Tamang *et al.*, 2020). BAL banyak ditemukan dalam sistem pencernaan hewan dan makanan fermentasi. Ini juga ditemukan di lingkungan lainnya.

Lactobacillus, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, dan *Streptococcus* adalah beberapa genera utama yang termasuk dalam kategori BAL. BAL dapat ditemukan dalam jumlah besar dalam feses hewan, seperti luwak, dan dapat memiliki sifat probiotik, yang berarti dapat membantu pencernaan (Marteau *et al.*, 2001).

2.2 Feses Luwak sebagai Sumber Bakteri Asam Laktat (BAL)

Luwak, juga dikenal sebagai *Paradoxurus hermaphroditus*, adalah hewan yang dikenal karena peranannya dalam pembuatan kopi luwak. Untuk mengisolasi berbagai mikroorganisme, termasuk BAL, feses luwak telah menjadi subjek penelitian.

Isolasi BAL dari feses luwak memungkinkan penemuan strain dengan karakteristik khusus yang dapat digunakan dalam industri makanan atau sebagai probiotik. Namun, penting untuk memastikan bahwa isolat tersebut aman dan tidak membawa gen resistensi antibiotik yang dapat menyebar ke mikroorganisme lain. Beberapa penelitian telah mengisolasi BAL dari feses luwak dan menemukan bahwa mereka memiliki potensi sebagai probiotik serta agen fermentasi (Surono *et al.*, 2022).

2.3 Resistensi Antibiotik

Kemampuan mikroorganisme untuk menahan pengaruh antibiotik yang sebelumnya secara efektif untuk membunuh atau menghambat pertumbuhannya

dikenal sebagai resistensi antibiotik. Resistensi ini dapat diperoleh secara alami (intrinsik) atau melalui mutasi atau transfer genetik horizontal melalui konjugasi, transformasi, atau transduksi (WHO, 2014).

Resistensi antibiotik menimbulkan ancaman besar bagi kesehatan masyarakat di seluruh dunia karena mengurangi efektivitas terapi, meningkatkan beban kesehatan masyarakat, dan memicu penyebaran gen resistensi ke bakteri patogen melalui rantai makanan dan lingkungan (EFSA, 2012).

2.4 Resistensi Antibiotik pada Bakteri Asam Laktat

Bakteri asam laktat (BAL) adalah kelompok mikroorganisme yang sering ditemukan pada makanan fermentasi dan sangat penting untuk industri pangan, terutama produk olahan susu seperti keju dan yoghurt. Namun, sejumlah penelitian menunjukkan bahwa BAL dapat berfungsi sebagai gudang gen resistensi antibiotik yang dapat membawa bakteri patogen ke saluran pencernaan manusia.

Beberapa penelitian menunjukkan resistensi antibiotik yang signifikan pada berbagai spesies *Lactobacillus bulgaricus* (LAB). Studi Zhou et al. (2012) menemukan resistensi tetracycline pada 88,2% isolat *Lactobacillus* dan 44,4% isolat *Streptococcus* dari yoghurt Cina. Selain itu, resistensi terhadap chloramphenicol dan ampicillin juga tinggi, mencapai 44,4% dan 88,9% pada isolat tertentu. Pada isolat tersebut, gen *tet(M)* berhasil ditemukan sebagai penanda resistensi terhadap tetracycline, yang menunjukkan potensi transfer genetik.

Gad et al. (2014) memeriksa 244 isolat BAL dari *dairy milk* Mesir masih sensitif terhadap amoxicillin, tetapi ada resistensi yang cukup tinggi terhadap penicillin, khususnya terhadap *Lactobacillus spp.* (20,3%). Selain itu, terdapat resistensi terhadap vancomycin sebesar 40,6% pada isolat *Lactobacillus*, meskipun semua isolat *Lactococcus* dan *Streptococcus* tetap sensitif terhadap antibiotik.

Floris et al. (2025) juga menemukan resistensi terhadap kombinasi sulphamethoxazole dan trimethoprim pada 21% isolat *Lactococcus* dari susu

mentah olahan. Hal ini menunjukkan bahwa BAL berpotensi membawa resistensi terhadap antibiotik yang umum digunakan.

Resistensi antibiotik pada BAL menjadi isu penting dalam konteks kesehatan masyarakat karena dapat membawa gen resistensi yang berpindah melalui mekanisme transfer gen horizontal. Proses ini dapat terjadi di lingkungan usus setelah konsumsi produk fermentasi, memungkinkan terjadinya perpindahan gen dari BAL ke bakteri patogen yang ada di saluran pencernaan. Oleh karena itu, pemantauan terhadap pola resistensi antibiotik pada BAL perlu dilakukan secara berkelanjutan, tidak hanya dari sisi keamanan pangan tetapi juga sebagai bagian dari strategi pengendalian resistensi antibiotik secara global.

Penelitian yang dilakukan oleh Sembiring et al. (2025) menunjukkan bahwa dengan *knockout* gen *ldh* dan *budB*, modifikasi genetik pada *Klebsiella pneumoniae* dapat mengurangi produksi senyawa samping dan meningkatkan efisiensi metabolit utama. Namun, penelitian ini tidak dilakukan pada BAL, menunjukkan bahwa memahami jalur metabolik dan genetik sangat penting untuk mengevaluasi potensi resistensi. Untuk memastikan keamanan BAL sebagai probiotik, kajian resistensi antibiotik pada BAL harus dilakukan secara fenotipik dan molekuler. Tabel 2.1 menyajikan hasil uji sensitivitas antibiotik dari beberapa penelitian sebelumnya.

Tabel 2.1. Uji Resistensi Antibiotik Peneliti Sebelumnya

Antibiotik	Genus	Jumlah Isolat (n)	Isolat Resisten (n/%)	Sumber Isolat
Ampicillin	<i>Lactobacillus</i>	17	5 (29,4%)	Yoghurt
	<i>Streptococcus</i>	18	8 (44,4%)	Yoghurt
Amoxycillin	<i>Lactobacillus</i>	138	5 (3,6%)	Dairy milk
	<i>Streptococcus</i>	65	15 (23,1%)	Dairy milk
Chloramphenicol	<i>Lactobacillus</i>	17	15 (82,2%)	Yoghurt
	<i>Streptococcus</i>	18	16 (88,9%)	Yoghurt
Sulphamethoxazole	<i>Lactococcus</i>	24	5 (21%)	Raw milk
Tetracycline	<i>Lactobacillus</i>	17	15 (88,2%)	Yoghurt
	<i>Streptococcus</i>	18	8 (44,4%)	Yoghurt
Vanomycin	<i>Lactobacillus</i>	138	56 (40,6%)	Dairy milk
	<i>Streptococcus</i>	65	0 (0%)	Dairy milk

Sumber: Floris et al., 2025; Gad et al., 2014; Zhou et al., 2012.

2.5 Penggunaan Antibiotik dalam Pengujian Resistensi terhadap BAL

Tingkat penggunaan antibiotik dalam bidang klinis maupun veteriner serta kemungkinan paparannya terhadap mikroorganisme rantai makanan, termasuk bakteri asam laktat (BAL), sangat memengaruhi pemilihan jenis antibiotik untuk pengujian resistensi. Dalam penelitian ini, lima golongan antibiotik berbeda digunakan. Antibiotik tersebut adalah tetracycline, sulphamethoxazole, ampicillin, ceftriaxone, dan amoxycillin. Antibiotik-antimikroba ini dipilih karena sangat penting untuk mengontrol resistensi antimikroba pada mikroorganisme pangan dan sering digunakan dalam praktik medis (Berreta *et al.*, 2023; Liasi *et al.*, 2009).

1. Tetracycline

Tetracycline digunakan secara luas pada manusia dan hewan, menghasilkan resistensi yang signifikan pada mikroorganisme lingkungan, termasuk bakteri BAL. Mekanisme resistensi terhadap tetracycline biasanya dikaitkan dengan gen *tet* seperti *tet(M)*, *tet(K)*, dan *tet(L)*, yang dapat ditransfer secara horizontal.

2. Sulphamethoxazole/Trimethoprim

Sulphamethoxazole, biasanya dikombinasikan dengan trimethoprim (kotrimeksazol/SXT), merupakan antibiotik dari golongan sulfonamida yang bekerja dengan menghambat sintesis asam folat bakteri. Karena digunakan secara luas dalam terapi infeksi saluran kemih dan gastrointestinal, resistensi terhadap kombinasi ini pada BAL lebih rendah daripada antibiotik lain. Namun, penting untuk dipantau (Berreta *et al.*, 2023).

3. Ampicillin dan amoxycillin

Ampicillin dan amoxycillin merupakan antibiotik β -laktam yang menghambat sintesis dinding sel bakteri dengan menargetkan protein pengikat penisilin. Kedua digunakan dengan sering dalam pengobatan infeksi saluran pernapasan, saluran kemih, dan infeksi jaringan lunak. Produksi enzim laktamase atau mutasi pada PBP seringkali merupakan bagian dari resistensi terhadap antibiotik laktam ini (Berreta *et al.*, 2023; Liasi *et al.*, 2009).

4. Ceftriaxone

Ceftriaxone, sefalosporin generasi ketiga, lebih sering diresepkan untuk mengobati infeksi berat di fasilitas medis karena spektrum kerjanya yang

lebih luas daripada ampicillin. Ada kemungkinan bahwa mekanisme resistensi terhadap ceftriaxone menunjukkan bahwa bakteri memiliki kemampuan untuk mengekspresikan β -laktamase spektrum luas (ESBL), yang merupakan mekanisme resistensi yang lebih menantang dan rumit bahkan jika ditemukan pada BAL (Chao *et al.*, 2012).

Dalam pengujian terhadap BAL, pemilihan kelima antibiotik ini bertujuan untuk menilai kemungkinan BAL berfungsi sebagai reservoir gen resistensi antimikroba. Karena BAL merupakan bagian dari mikrobiota pangan yang umumnya dianggap aman, temuan ini penting untuk menilai kemungkinan transfer horizontal gen resistensi ke bakteri patogen yang dapat memengaruhi kesehatan manusia.

2.6 Karakteristik Resistensi Antibiotik pada BAL Asal Feses Luwak

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa resistensi terhadap antibiotik seperti tetracycline, ampicillin, dan sulphamethoxazole dapat ditunjukkan melalui BAL yang diisolasi dari sumber feses hewan. Keberadaan *gen tet*, *erm*, atau *bla* biasanya bertanggung jawab atas resistensi tersebut. Selain itu, ada juga mekanisme intrinsik seperti pompa *efflux* atau impermeabilitas membran sel (Chao *et al.*, 2012; Berreta *et al.*, 2023).

Selain itu, sebelum mempertimbangkan penggunaan BAL secara luas dalam produk pangan atau perawatan kesehatan, penting untuk melakukan uji resistensi menyeluruh terhadap isolat BAL dari feses luwak. Ini karena karakteristik resistensi pada BAL tidak selalu menunjukkan fenotipe patogenik, khususnya jika digunakan dalam produk pangan fermentasi atau probiotik.

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mendapatkan pemahaman lebih dalam tentang mekanisme resistensi dan bagaimana hal itu berdampak pada kesehatan manusia dan hewan. Metode yang digunakan untuk menunjukkan resistensi antibiotik pada BAL adalah metode *difusi cakram* (Gänzle *et al.*, 2014).

2.7 Standar Pengukuran Zona Daya Hambat

Metode *difusi cakram*, juga dikenal sebagai metode *difusi disk*, digunakan untuk menentukan sensitivitas bakteri terhadap antibiotik. Hasil metode ini diukur

berdasarkan diameter zona hambat yang terbentuk di sekitar cakram antibiotik. Standar internasional seperti *Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI)* dan *European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST)* digunakan untuk memberikan interpretasi hasil yang akurat dan seragam. Kedua lembaga ini membagi zona hambat menjadi sensitif, intermediet, dan resisten terhadap berbagai jenis antibiotik.

Tabel 2.2. Standar Pengukuran Zona Daya Hambat

Antibiotik	Sensitif (S)	Intermediet (I)	Resisten (R)
Tetracycline	≥ 15 mm	12-14 mm	≤ 11 mm
Sulphamethoxazole/ Trimethoprim	≥ 16 mm	11-15 mm	≤ 10 mm
Ceftriaxone	≥ 23 mm	20-22 mm	≤ 19 mm
Ampicillin	≥ 17 mm	14-16 mm	≤ 13 mm
Amoxycillin	≥ 18 mm	14-17 mm	≤ 13 mm

Sumber: CLSI, 2023; EUCAST, 2023