

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

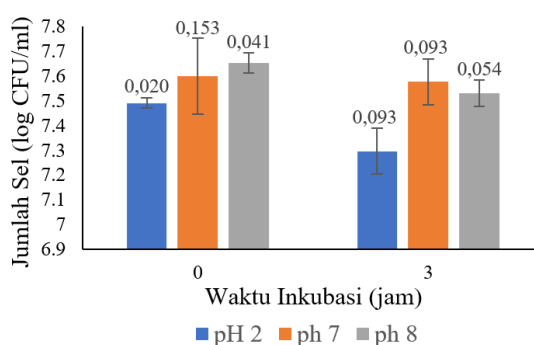
4.1. Evaluasi Potensi Probiotik

Evaluasi potensi probiotik merupakan tahapan awal yang penting dalam menentukan kelayakan isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 sebagai kandidat probiotik. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan secara *in vitro* dengan pendekatan simulasi kondisi fisiologis saluran pencernaan. Parameter yang diuji meliputi resistensi terhadap pH sebagai simulasi kondisi asam pada lambung dan basa pada usus halus, resistensi terhadap garam empedu sebagai representasi kondisi usus halus, kemampuan autoagregasi dan hidrofobisitas yang berkaitan dengan potensi adhesi dan kolonisasi pada mukosa usus, aktivitas antimikroba terhadap bakteri patogen, uji sensitivitas terhadap antibiotik untuk menilai aspek keamanan, serta uji aktivitas antioksidan untuk mengetahui kemampuan mereduksi radikal bebas. Hasil evaluasi ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan potensi isolat sebagai kandidat probiotik.

4.1.1. Resistensi terhadap pH

Uji resistensi terhadap pH dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 dalam mempertahankan viabilitas sel pada kondisi lingkungan dengan tingkat keasaman yang berbeda, yaitu pH 2, pH 7, dan pH 8. Pengujian ini diamati pada kondisi awal (H0) dan setelah inkubasi selama 3 jam (H3) untuk mensimulasikan waktu transit bakteri dalam saluran pencernaan,

khususnya saat melewati lambung yang bersifat sangat asam serta menuju usus halus yang memiliki pH netral hingga sedikit basa. Hal ini sejalan dengan pernyataan Mansur dan Hidayat (2019) bahwa lambung memiliki pH 2–3, sedangkan usus halus memiliki pH 6–8. Ketahanan terhadap kondisi pH ekstrem merupakan salah satu kriteria utama dalam seleksi kandidat probiotik, karena bakteri harus mampu bertahan melalui asam lambung agar dapat mencapai usus dalam keadaan aktif dan menjalankan fungsi biologisnya (Dwijastuti *et al.*, 2025).



Ilustrasi 2. Hasil Uji Resistensi Isolat *L. plantarum* MTA-1 terhadap pH

Berdasarkan hasil pengujian pada ilustrasi 2, terlihat bahwa isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 mampu bertahan pada kondisi asam (pH 2), netral (pH 7), dan basa ringan (pH 8) dengan variasi nilai rata-rata jumlah total sel. Hal ini sesuai dengan penelitian Wu *et al.* (2020) yang menunjukkan bahwa *L. plantarum* memiliki kemampuan bertahan pada berbagai kondisi pH, mulai dari sangat asam hingga basa ringan, dengan viabilitas yang tetap terjaga meskipun terjadi penurunan jumlah sel pada kondisi ekstrem. Jumlah sel di kondisi awal (H0) yaitu $7,491 \pm 0,020$ log CFU/ml pada pH 2, $7,599 \pm 0,153$ log CFU/ml pada pH 7, dan $7,652 \pm 0,041$ log CFU/ml pada pH 8. Setelah inkubasi selama 3 jam, terjadi perubahan jumlah sel pada masing-masing perlakuan. Jumlah sel pada pH 2

mengalami penurunan $0,195 \log \text{ CFU/ml}$ menjadi $7,296 \pm 0,093 \log \text{ CFU/ml}$, dengan *survival rate* sebesar 97,39%. Nilai *survival rate* yang tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar sel masih mampu bertahan dan dalam batas toleransi terhadap kondisi asam. Hal ini sejalan dengan pernyataan Fatma dan Nuraida (2022) bahwa bakteri asam laktat dengan tingkat kelangsungan hidup $\geq 80\%$ pada pH rendah dikategorikan sangat toleran terhadap asam. Penurunan jumlah sel disebabkan oleh kondisi lingkungan yang sangat asam sehingga menyebabkan kerusakan membran sel, denaturasi protein, serta gangguan gradien proton yang penting dalam metabolisme sel. Sebagian besar sel yang bertahan menunjukkan kemampuan homeostasis *L. plantarum* MTA-1 melalui mekanisme pompa proton oleh enzim $\text{FoF}_1\text{-ATPase}$ untuk menjaga kestabilan pH intraseluler (Riani *et al.*, 2020).

Jumlah sel pada pH 7 mengalami peningkatan sebesar $0,022 \log \text{ CFU/ml}$ menjadi $7,577 \pm 0,093 \log \text{ CFU/ml}$, dengan *survival rate* 99,7%. Nilai *survival rate* yang sangat tinggi menunjukkan bahwa hampir seluruh sel mampu bertahan bahkan mengalami pertumbuhan selama inkubasi sehingga pH netral dapat dikategorikan sebagai kondisi optimum bagi *L. plantarum* MTA-1. Hal ini sesuai dengan penelitian Choi *et al.* (2021) yang menunjukkan bahwa pertumbuhan *L. plantarum* optimal pada pH mendekati netral, yaitu sekitar pH 6,5–7,0. Pada pH ini, tekanan stres terhadap sel relatif rendah sehingga sel mampu mempertahankan fungsi fisiologisnya dan aktivitas enzim tetap berlangsung secara optimal karena tidak terjadi kerusakan signifikan pada komponen seluler (Wu *et al.*, 2020). Kondisi ini menjaga integritas membran sel tetap stabil sehingga proses transport nutrisi dan metabolit dapat berlangsung secara efektif dan efisien. Peningkatan jumlah sel

setelah masa inkubasi menunjukkan bahwa kondisi pH netral mendukung isolat *L. plantarum* MTA-1 dalam mempertahankan keseimbangan pH intraseluler tanpa memerlukan mekanisme adaptasi yang intensif, sehingga energi sel dapat difokuskan untuk aktivitas metabolisme secara optimal.

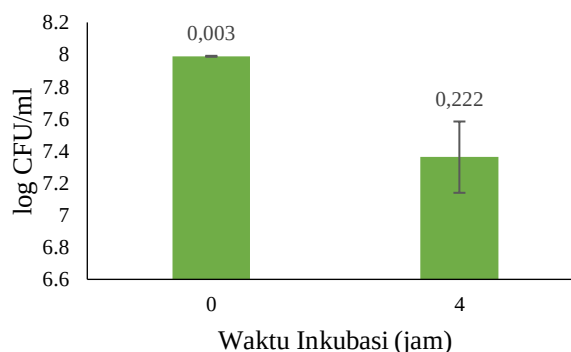
Sementara itu, pada pH 8 jumlah bakteri mengalami penurunan 0,122 log CFU/ml menjadi $7,530 \pm 0,054$ log CFU/ml, dengan *survival rate* 98,4%. Nilai *survival rate* yang tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar sel mampu mempertahankan viabilitas pada kondisi basa ringan (Ardhian *et al.*, 2019). Penurunan jumlah sel disebabkan oleh kondisi basa yang mulai memberikan tekanan terhadap sel, sehingga mengganggu kestabilan struktur protein dan membran sel. Kondisi basa juga mempengaruhi keseimbangan pH intraseluler, sehingga sel perlu melakukan mekanisme adaptasi untuk mempertahankan homeostasis (Wu *et al.*, 2020). Mekanisme adaptasi ini memerlukan energi tambahan sehingga sebagian energi sel dialihkan dari pertumbuhan ke mekanisme pertahanan, yang mengakibatkan aktivitas metabolisme tidak berlangsung optimal.

Berdasarkan nilai *survival rate* yang mendekati 100% dan penurunan jumlah sel ≤ 1 log CFU/ml pada setiap perlakuan, isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 memiliki ketahanan yang baik terhadap variasi pH. Hal ini sejalan dengan pernyataan Fatma dan Nuraida (2022) bahwa ketahanan bakteri terhadap pH yang baik ditunjukkan dengan penurunan jumlah isolat tidak lebih dari 1 log CFU/ml. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa isolat *L. plantarum* MTA-1 memenuhi salah satu syarat sebagai kandidat probiotik secara *in vitro* karena mampu bertahan pada kondisi ekstrem saluran pencernaan. Hal tersebut didukung oleh pernyataan

Suryani *et al.*, (2025) bahwa isolat BAL yang toleran terhadap pH 1–3 memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai probiotik dalam pangan fungsional karena berpeluang lebih tinggi untuk bertahan melewati kondisi asam lambung dan melanjutkan perjalanan ke usus halus dalam keadaan aktif.

4.1.2. Resistensi terhadap Garam Empedu (*bile salt*)

Resistensi terhadap garam empedu (*bile salt*) merupakan salah satu parameter penting dalam evaluasi potensi probiotik. Malo dan Moi (2026) menyatakan bahwa ketahanan terhadap garam empedu merupakan syarat suatu bakteri dapat digunakan sebagai probiotik karena mengindikasikan kemampuan bertahan hidup dalam saluran pencernaan. Garam empedu merupakan senyawa amfipatik yang disintesis di hati dan disekresikan ke dalam lumen usus untuk membantu proses emulsifikasi lemak, namun memiliki sifat deterjen yang dapat merusak membran sel bakteri. Pengujian resistensi terhadap garam empedu umumnya dilakukan dengan menginkubasi sel bakteri dalam media yang mengandung garam empedu dengan konsentrasi sekitar 0,3%-0,5% (b/v) sebagai simulasi kondisi di usus halus. Hanya isolat yang mampu bertahan pada kondisi tersebut yang dapat dikategorikan sebagai kandidat probiotik karena mampu melewati usus halus dan tetap aktif memberikan manfaat bagi inang. Hal ini didukung oleh pernyataan Priadi *et al.* (2020) bahwa mikroba probiotik yang mampu bertahan pada konsentrasi garam empedu 0,3% memiliki potensi untuk berkolonisasi di lingkungan pencernaan.



Ilustrasi 3. Hasil Uji Resistensi Isolat *L. plantarum* MTA-1 terhadap Garam Empedu (*Bile Salt*)

Berdasarkan hasil pengujian pada ilustrasi 3, terlihat bahwa paparan garam empedu memberikan pengaruh terhadap viabilitas bakteri. Jumlah sel *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 pada kondisi awal (H0) sebesar $7,989 \pm 0,003$ log CFU/ml dan setelah inkubasi selama 4 jam (H4) menurun menjadi $7,361 \pm 0,222$ log CFU/ml. Penurunan sebesar $0,628$ log CFU/ml menunjukkan bahwa hanya sedikit sel yang mengalami kerusakan atau kematian. Menurut Silaban *et al.* (2020) bakteri probiotik memiliki ketahanan yang baik terhadap garam empedu jika penurunan jumlah sel <1 log CFU/ml dan viabilitas bakteri >7 log CFU/ml. Penurunan disebabkan respon awal terhadap tekanan lingkungan akibat keberadaan garam empedu. Senyawa ini bersifat seperti deterjen yang dapat merusak integritas membran sel, meningkatkan permeabilitas, serta menyebabkan kebocoran komponen intraseluler (Theodore *et al.*, 2025). Hal ini menyebabkan kerusakan atau kematian sel selama masa inkubasi.

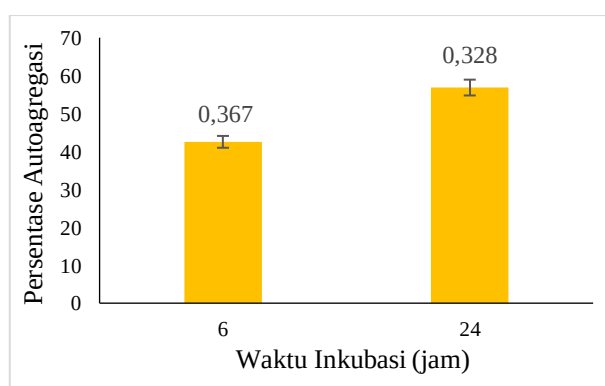
Nilai *survival rate* sebesar 92,13% masih tergolong tinggi dan menunjukkan bahwa isolat *L. plantarum* MTA-1 memiliki kemampuan adaptasi terhadap kondisi stres akibat paparan garam empedu. Kemampuan adaptasi ini berkaitan dengan

adanya mekanisme pertahanan sel, salah satunya melalui aktivitas enzim *bile salt hydrolase* (BSH). Hal ini sesuai menurut pernyataan Priadi *et al.* (2020) bahwa aktivitas BSH mampu meningkatkan kelangsungan hidup bakteri di usus halus. Enzim ini mengkatalisis reaksi dekonjugasi, yaitu pemutusan ikatan antara asam empedu dan asam amino (glisin atau taurin) sehingga menghasilkan asam empedu bebas. Asam empedu bebas cenderung kurang larut dalam lingkungan usus, tidak diserap oleh hati, serta lebih mudah mengendap dan memiliki afinitas yang lebih rendah untuk berinteraksi dengan membran sel sehingga daya toksiknya terhadap bakteri berkurang.

Perbandingan dengan berbagai penelitian lain menunjukkan adanya variasi tingkat ketahanan *L. plantarum* terhadap garam empedu, Penelitian yang dilakukan oleh Kaushik *et al.* (2024) melaporkan bahwa *L. plantarum* BG24 resistensi terhadap 0,3% garam empedu dengan *survival rate* di atas 90%. Sementara itu, penelitian oleh Fasha *et al.* (2025) menunjukkan bahwa isolat *L. plantarum* JBSxH.6.4 yang diuji pada 0,3% garam empedu hanya mampu bertahan dengan *survival rate* 53,1%. Studi lainnya melaporkan bahwa tingkat kelangsungan hidup bakteri pada konsentrasi 0,3% garam empedu umumnya berada pada kisaran 60–66% setelah inkubasi selama 4 jam, yang menunjukkan adanya variasi ketahanan antar isolat (Colin *et al.*, 2025). Perbandingan ini menunjukkan bahwa isolat *L. plantarum* MTA-1 memiliki ketahanan yang sebanding bahkan lebih unggul dari beberapa isolat yang telah diteliti sehingga mengindikasikan potensi yang sangat baik sebagai kandidat probiotik.

4.1.3. Kemampuan Autoagregasi dan Hidrofobisitas Permukaan Sel

Kemampuan autoagregasi dan hidrofobisitas permukaan sel merupakan parameter dalam evaluasi potensi probiotik yang berkaitan erat dengan kemampuan bakteri untuk berkolonisasi dan berinteraksi dengan mukosa usus. Autoagregasi merupakan kemampuan sel bakteri dari spesies yang sama untuk saling menempel dan membentuk agregat, yang berperan dalam meningkatkan stabilitas populasi serta membantu pembentukan biofilm pada permukaan usus (Panjaitan *et al.*, 2018). Sementara itu, hidrofobisitas permukaan sel merupakan kemampuan bakteri dalam berinteraksi dengan permukaan yang bersifat hidrofobik, termasuk sel epitel usus, sehingga mempengaruhi daya lekat (adhesi) bakteri terhadap jaringan inang. Pengujian autoagregasi pada isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 dilakukan dengan mengukur penurunan nilai absorbansi suspensi sel menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm setelah inkubasi selama 6 jam (H6) dan 24 jam (H24).



Ilustrasi 4. Hasil Uji Autoagregasi Isolat *L. plantarum* MTA-1

Berdasarkan hasil pengujian pada ilustrasi 4, isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 menunjukkan persentase autoagregasi sebesar $42,53\% \pm 22,15$

setelah 6 jam inkubasi (H6) dan meningkat menjadi $56,85\% \pm 24,07$ setelah 24 jam inkubasi (H24). Nilai tersebut telah memenuhi kriteria bakteri dengan kemampuan autoagregasi yang baik. Hal ini sejalan dengan pernyataan Asnita dan Meryandini (2023) bahwa bakteri dengan nilai autoagregasi $\geq 40\%$ merupakan bakteri dengan kemampuan autoagregasi yang baik. Nilai autoagregasi menunjukkan bahwa isolat *L. plantarum* MTA-1 memiliki kemampuan untuk saling berikatan dan membentuk agregat sehingga dapat meningkatkan stabilitas populasi. Peningkatan nilai autoagregasi sebesar 14,32% setelah inkubasi menunjukkan kemampuan interaksi antar sel semakin meningkat seiring bertambahnya waktu inkubasi. Hal ini sesuai dengan penelitian Priadi *et al.* (2020) yang melaporkan bahwa semakin lama waktu inkubasi maka nilai autoagregasi semakin tinggi. Selain itu, proses adaptasi sel terhadap lingkungan juga mendorong pembentukan agregat yang lebih stabil melalui interaksi komponen permukaan sel sehingga nilai autoagregasi menjadi lebih tinggi, yang sejalan dengan peran hidrofobisitas permukaan sel.

Pengujian hidrofobisitas menggunakan metode *Microbial Adhesion to Solvents* (MATS) dengan pelarut xylene menunjukkan hasil bahwa isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 memiliki nilai rata-rata hidrofobisitas sebesar 67,15% yang tergolong dalam kategori tinggi ($>60\%$). Nilai ini lebih tinggi dibandingkan penelitian oleh Ding *et al.* (2017) yang menguji beberapa isolat *L. plantarum* dengan nilai hidrofobisitas tertinggi hanya 60,97%. Hidrofobisitas yang tinggi menunjukkan bahwa permukaan sel bakteri memiliki afinitas terhadap xylene yang merupakan senyawa hidrofobik (Panjaitan *et al.*, 2018). Sifat ini berperan penting dalam meningkatkan kemampuan adhesi dan kolonisasi bakteri di saluran

pencernaan sehingga memungkinkan bakteri untuk bertahan lebih lama dan memberikan efek probiotik secara optimal. Kombinasi kemampuan autoagregasi dan hidrofobisitas yang tinggi menunjukkan bahwa isolat *L. plantarum* MTA-1 memiliki potensi yang sangat baik sebagai kandidat probiotik.

4.1.4. Aktivitas Antimikroba

Pengujian aktivitas antimikroba dilakukan untuk mengetahui karakteristik isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 dalam menghambat pertumbuhan bakteri patogen. Bakteri patogen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*, dan *Escherichia coli*. Keempat bakteri tersebut merupakan penyebab umum penyakit bawaan pangan (*foodborne diseases*). *S. aureus* merupakan bakteri yang secara alami terdapat pada kulit, rongga hidung, tenggorokan, dan tangan manusia (Niken *et al.*, 2023). Kontaminasi pada pangan umumnya terjadi melalui kontak langsung dengan penjamah makanan yang kurang menerapkan higiene personal. Bakteri ini sering ditemukan pada produk daging, susu dan produk olahannya, makanan siap saji, serta produk *bakery* yang ditangani secara manual. *L. monocytogenes* umum ditemukan di lingkungan, seperti tanah, air, vegetasi, dan limbah pertanian (Novitasari dan Diptaningsari, 2022). Bakteri ini sering ditemukan pada susu dan produk susu yang tidak dipasteurisasi, daging olahan, ikan asap, serta sayuran segar. Keunikan bakteri ini adalah kemampuannya untuk tetap tumbuh pada suhu refrigerasi, sehingga berpotensi mengontaminasi pangan selama penyimpanan dingin.

S. Typhimurium merupakan bakteri yang berasal dari saluran pencernaan hewan dan manusia, kemudian dikeluarkan melalui feses. Bakteri ini sering ditemukan pada daging ayam, telur, susu, serta produk pangan yang mengalami kontaminasi silang (Putri *et al.*, 2022). Sementara itu, *E. coli* merupakan bakteri yang secara normal hidup di saluran pencernaan manusia dan hewan berdarah panas (Niken *et al.*, 2023). Kontaminasi umumnya berasal dari pencemaran pada air, tanah, atau peralatan pengolahan sehingga bakteri ini sering ditemukan pada daging, susu yang tidak dipasteurisasi, sayuran segar, serta air yang terkontaminasi.

L. plantarum MTA-1 mampu menekan pertumbuhan bakteri patogen melalui produksi senyawa antimikroba seperti asam organik, hidrogen peroksida, dan bakteriosin (Sulistiani, 2017). Kemampuan ini menunjukkan potensi isolat sebagai probiotik karena berperan dalam menjaga keseimbangan mikrobiota usus serta melindungi inang dari infeksi. Aktivitas antimikroba ditentukan berdasarkan diameter zona hambat (*clear zone*) yang terbentuk di sekitar area perlakuan pada media agar (Hasanuddin dan Salnus, 2020). Zona hambat merupakan area bening di sekitar *blank disk* yang menunjukkan adanya penghambatan pertumbuhan bakteri patogen akibat senyawa antimikroba yang dihasilkan oleh isolat.

Tabel 2. Diameter Zona Hambat terhadap patogen oleh *L. plantarum* MTA-1

Sampel Patogen	Diameter <i>Clear Zone</i> (mm)	Kategori
<i>Staphylococcus aureus</i>	22,413±0,128	Sangat Kuat
<i>Listeria monocytogenes</i>	13,520±0,065	Kuat
<i>Salmonella typhimurium</i>	6,670±0,113	Sedang
<i>Escherichia coli</i>	10,733±0,304	Sedang

Berdasarkan hasil pengujian aktivitas antimikroba, isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 memiliki kemampuan penghambatan terhadap bakteri patogen uji yang ditunjukkan melalui terbentuknya zona hambat (*clear zone*) di sekitar area perlakuan. Diameter zona hambat yang dihasilkan bervariasi pada masing-masing bakteri uji, yaitu sebesar $22,413 \pm 0,128$ mm terhadap *Staphylococcus aureus*, $13,520 \pm 0,065$ mm terhadap *Listeria monocytogenes*, $6,670 \pm 0,113$ mm terhadap *Salmonella typhimurium*, dan $10,733 \pm 0,304$ mm terhadap *Escherichia coli*. Kekuatan daya antimikroba dikategorikan berdasarkan diameter zona hambat, yaitu >20 mm sebagai sangat kuat, 11–20 mm sebagai kuat, 5–10 mm sedang, dan <5 mm lemah (Sudarmi *et al.*, 2017). Berdasarkan kategori tersebut, aktivitas antimikroba isolat *L. plantarum* MTA-1 terhadap *E. coli* dan *S. typhimurium* termasuk dalam kategori sedang, terhadap *S. aureus* termasuk kategori sangat kuat, dan terhadap *L. monocytogenes* termasuk kategori kuat. Kekuatan daya hambat dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti konsentrasi senyawa antimikroba, jumlah mikroba, suhu, waktu, jenis mikroba, pH dan zat, serta keberadaan bahan organik terlarut (Hamidah *et al.*, 2019).

Faktor utama yang menyebabkan perbedaan diameter zona hambat adalah perbedaan struktur dinding sel bakteri uji (Apriliantisya *et al.*, 2022). Bakteri Gram negatif seperti *E. coli* dan *S. typhimurium* memiliki struktur dinding sel yang lebih kompleks, yaitu terdiri atas lapisan peptidoglikan tipis yang dilapisi membran luar dengan kandungan lipopolisakarida (LPS) sehingga berfungsi sebagai penghalang tambahan terhadap masuknya senyawa antimikroba dan menyebabkan bakteri ini cenderung lebih resisten (Afifah *et al.*, 2024).

Salmonella typhimurium menunjukkan diameter zona hambat terendah dibandingkan bakteri uji lainnya. Hal ini diduga disebabkan oleh struktur membran luar *S. typhimurium* yang kaya akan lipopolisakarida (LPS) sehingga lebih efektif dalam menghambat penetrasi senyawa antimikroba (Halim *et al.*, 2025). Selain itu, bakteri ini memiliki berbagai mekanisme pertahanan, seperti sistem *efflux pump*, regulasi komposisi membran, dan protein porin yang selektif sehingga mampu mengurangi akumulasi senyawa antimikroba di dalam sel (Putri, 2026). Hal tersebut mengakibatkan efektivitas senyawa antimikroba yang dihasilkan *L. plantarum* MTA-1 menjadi lebih rendah dibandingkan terhadap bakteri uji lainnya.

Escherichia coli menghasilkan diameter zona hambat lebih besar dibandingkan *S. typhimurium* yang menunjukkan bahwa senyawa antimikroba yang dihasilkan *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 masih mampu menghambat pertumbuhan *E. coli*. Kemampuan tersebut berkaitan dengan produksi asam organik yang menurunkan pH lingkungan sehingga meningkatkan permeabilitas membran luar *E. coli*. Peningkatan permeabilitas membran akan mempermudah masuknya senyawa antimikroba ke dalam sel bakteri. Selain itu, bakteriosin yang dihasilkan *L. plantarum* dapat mengganggu integritas membran sitoplasma, menyebabkan kebocoran komponen intraseluler, dan akhirnya menghambat pertumbuhan atau menyebabkan kematian sel. Hal ini sejalan dengan pernyataan Nugrahani *et al.* (2021) bahwa bakteriosin *L. plantarum* mampu mengganggu struktur lipopolisakarida (LPS) dan merusak membran sel bakteri Gram negatif sehingga menyebabkan ketidakseimbangan membran dan kematian sel.

Staphylococcus aureus dan *Listeria monocytogenes* memiliki diameter zona hambat lebih tinggi dibandingkan bakteri Gram negatif. Hal tersebut disebabkan oleh struktur membran *S. aureus* dan *L. monocytogenes* yang terdiri dari lapisan peptidoglikan tebal tanpa membran luar, sehingga lebih sensitif terhadap senyawa antimikroba (Muharni *et al.*, 2017). Tidak adanya membran luar menyebabkan asam organik dan bakteriosin berinteraksi langsung dengan membran sitoplasma sehingga terjadi kebocoran komponen intraseluler dan mempercepat kerusakan sel (Rossalinda *et al.*, 2021). Akan tetapi, *S. aureus* menunjukkan diameter zona hambat yang lebih besar dibandingkan *L. monocytogenes* sehingga mengindikasikan tingkat sensitivitas yang lebih tinggi terhadap senyawa antimikroba. Hal tersebut menunjukkan bahwa meskipun keduanya merupakan bakteri Gram negatif, tingkat sensitivitas terhadap senyawa antimikroba yang dihasilkan akan berbeda. *S. aureus* diketahui memiliki kemampuan adaptasi yang lebih baik terhadap berbagai kondisi stres lingkungan, termasuk paparan senyawa antimikroba. Kemampuan tersebut didukung oleh perubahan komposisi membran sel dan aktivasi sistem regulasi stres yang membantu mempertahankan integritas sel, sehingga efektivitas senyawa antimikroba yang dihasilkan menjadi lebih rendah dibandingkan pada *S. aureus* (Dinev *et al.*, 2018; Olan, 2024).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa aktivitas antimikroba isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 lebih tinggi terhadap bakteri Gram positif dibandingkan bakteri Gram negatif. Namun, isolat ini tetap mampu menghambat pertumbuhan seluruh bakteri patogen uji dengan tingkat penghambatan yang luas. Hal ini didukung oleh pernyataan Hasan (2018) bahwa *L. plantarum* memiliki

kemampuan untuk menghambat bakteri patogen pada bahan pangan dengan daerah penghambatan terbesar dibandingkan dengan bakteri asam laktat lainnya. Perbedaan daya hambat yang diperoleh pada masing-masing bakteri uji menunjukkan bahwa efektivitas antimikroba tidak hanya dipengaruhi oleh struktur dinding sel bakteri target, tetapi juga oleh jenis dan konsentrasi senyawa antimikroba yang dihasilkan serta mekanisme adaptasi masing-masing bakteri (Handayani *et al.*, 2023). Oleh karena itu, secara keseluruhan isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 dapat dikategorikan memiliki potensi yang baik sebagai kandidat probiotik karena mampu menunjukkan aktivitas penghambatan yang luas terhadap berbagai bakteri patogen.

4.2 Evaluasi Keamanan dengan Resistensi terhadap Antibiotik

Evaluasi keamanan dilakukan dengan uji resistensi antibiotik sebagai salah satu parameter penting dalam penilaian kelayakan dan keamanan suatu bakteri untuk diaplikasikan sebagai probiotik atau dalam bidang pangan. Uji resistensi antibiotik bertujuan untuk mengetahui apakah isolat *L. plantarum* MTA-1 memiliki sifat resistensi terhadap antibiotik tertentu yang berpotensi ditransfer ke mikroorganisme lain sehingga dapat menimbulkan risiko kesehatan. Pengujian ini menggunakan metode difusi cakram (*Kirby-Bauer*), yaitu dengan menanamkan bakteri pada media agar, kemudian meletakkan cakram kertas yang telah mengandung antibiotik di permukaan media tersebut. Setelah inkubasi, akan terbentuk zona hambat di sekitar cakram apabila bakteri sensitif terhadap antibiotik yang diuji. Penelitian ini menggunakan lima jenis antibiotik, yaitu *Tetracycline*,

Clindamycin, *Erythromycin*, *Penicillin*, dan *Ampicillin*. Kelima jenis antibiotik ini mewakili dua mekanisme utama, yaitu penghambatan sintesis dinding sel oleh antibiotik β -laktam (*Penicillin* dan *Ampicillin*) serta penghambatan sintesis protein oleh antibiotik golongan makrolida dan lincosamide (*Erythromycin*, *Clindamycin*, dan *Tetracycline*) (Yanty dan Oktarlina, 2018). Tingkat sensitivitas bakteri dapat diamati berdasarkan besar kecilnya diameter zona hambat yang terbentuk di sekitar cakram antibiotik. Klasifikasi zona hambat bakteri menurut standar *Clinical and Laboratory Standards Institute* (CLSI) yaitu sensitif (≥ 21 mm), intermediet (15-20 mm), dan resisten (≤ 14 mm) (Astar *et al.*, 2022).

Tabel 3. Nilai Sensitivitas Antibiotik Isolat *L. plantarum* MTA-1

Sampel Antibiotik	Diameter <i>Clear Zone</i> (mm)
TE (<i>Tetracycline</i>)	21,83 $\pm$ 2,29
DA (<i>Clindamycin</i>)	22,33 $\pm$ 1,40
E (<i>Erythromycin</i>)	30,29 $\pm$ 1,34
P (<i>Penicilin</i>)	21,76 $\pm$ 3,51
AMP (<i>Ampicilin</i>)	32,85 $\pm$ 2,49

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 2, isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 menunjukkan tingkat sensitivitas yang berbeda terhadap beberapa jenis antibiotik yang diuji berdasarkan diameter zona hambat (*clear zone*) yang terbentuk (Bhagaskara *et al.*, 2023). Ampisilin menghasilkan diameter zona hambat sebesar 32,85 $\pm$ 2,49 mm, eritromisin sebesar 30,29 $\pm$ 1,34 mm, klindamisin sebesar 22,33 $\pm$ 1,40 mm, tetrasiklin sebesar 21,83 $\pm$ 2,29 mm, dan penisilin sebesar 21,76 $\pm$ 3,51 mm. Perbedaan diameter zona hambat menunjukkan bahwa efektivitas masing-masing antibiotik dalam menghambat pertumbuhan bakteri tidak sama. Semakin besar diameter zona hambat maka pertumbuhan bakteri semakin

terhambat (Safitri *et al.*, 2024). Berdasarkan klasifikasi, seluruh antibiotik yang diuji pada penelitian ini menunjukkan diameter di atas 21 mm sehingga dikategorikan sebagai sensitif. Hal ini menunjukkan bahwa isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 tidak memiliki kemampuan resistensi terhadap antibiotik tersebut dan pertumbuhannya dapat dihambat secara efektif.

Antibiotik β -laktam khususnya ampisilin menunjukkan diameter zona hambat terbesar dibandingkan antibiotik lainnya karena sangat efektif terhadap target utama bakteri, yaitu dinding sel. Ampisilin bekerja dengan mengganggu sintesis dinding sel melalui mekanisme penghambatan sintesis peptidoglikan. Hal ini menunjukkan bahwa isolat *L. plantarum* MTA-1 tidak menunjukkan adanya mekanisme resistensi terhadap antibiotik β -laktam sehingga antibiotik dapat bekerja secara optimal dalam menghambat sintesis dinding sel bakteri. Hal ini sejalan dengan penelitian Campedelli *et al.* (2019) yang melaporkan bahwa sebagian besar isolat *L. plantarum* menunjukkan sensitivitas terhadap antibiotik β -laktam dan tidak menunjukkan aktivitas enzim β -laktamase yang signifikan. Penghambatan ini menyebabkan terganggunya pembentukan peptidoglikan yang merupakan komponen utama dinding sel sehingga struktur sel menjadi lemah dan mengalami lisis (Admi *et al.*, 2021). Sementara itu, kelompok antibiotik penghambat sintesis protein juga menunjukkan aktivitas yang tinggi, terutama eritromisin yang memiliki zona hambat besar, diikuti klindamisin dan tetrasiklin dengan nilai yang lebih rendah. Mekanisme kerja antibiotik kelompok ini adalah menargetkan proses sintesis protein bakteri dengan cara berikatan dengan ribosom bakteri (eritromisin dan klindamisin berikatan dengan subunit 50S, sedangkan tetrasiklin berikatan

dengan subunit 30S) sehingga menghambat proses translasi dan akhirnya menghambat pertumbuhan bakteri (Anggita *et al.*, 2022). Perbedaan efektivitas ini menunjukkan bahwa meskipun kedua mekanisme kerja antibiotik mampu menghambat pertumbuhan bakteri, respons isolat *L. plantarum* MTA-1 terhadap masing-masing mekanisme tidak sama.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 secara fenotip memiliki sensitivitas yang baik terhadap berbagai jenis antibiotik sehingga memperkuat bahwa isolat tidak menunjukkan sifat resistensi dan berpotensi tinggi untuk diaplikasikan pada bidang pangan maupun sebagai kandidat probiotik. Sensitivitas terhadap antibiotik menjadi parameter penting karena bakteri yang tidak resisten cenderung tidak membawa gen resistensi yang berpotensi ditransfer ke bakteri lain. Keamanan probiotik juga berkaitan dengan kemampuan bakteri berinteraksi secara seimbang dengan mikrobiota usus tanpa menimbulkan efek merugikan. Hal ini penting karena mikrobiota usus dapat menjadi *reservoir gen* resistensi yang dapat berpindah secara horizontal ke bakteri lain, termasuk bakteri patogen (Kurnianto dan Syahbanu, 2023). Penyebaran gen resistensi antibiotik secara horizontal dapat terjadi melalui *mobile genetic elements* seperti transposon, plasmid, dan integron, melalui proses transformasi, transduksi, ataupun konjugasi (Khoerunnisa *et al.*, 2022). Isolat *L. plantarum* MTA-1 yang sensitif terhadap antibiotik menunjukkan tingkat keamanan yang baik karena memiliki risiko yang lebih rendah dalam menyebarkan gen resistensi di saluran pencernaan. Oleh karena itu, berdasarkan uji sensitivitas antibiotik, isolat ini

memenuhi salah satu aspek penting dalam penilaian keamanan probiotik dan berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut dalam produk pangan fungsional.

4.3 Evaluasi Aktivitas Antioksidan terhadap Isolat *L. plantarum* MTA-1

Evaluasi aktivitas antioksidan dilakukan untuk mengetahui kemampuan isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 dalam menghasilkan senyawa bioaktif yang berperan sebagai penangkal radikal bebas. Radikal bebas merupakan molekul yang memiliki elektron tidak berpasangan sehingga cenderung tidak stabil dan dapat merusak komponen sel seperti lipid, protein, dan DNA (Jusman *et al.*, 2025). Uji aktivitas antioksidan pada penelitian ini menggunakan metode DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). Pengujian dilakukan dengan menilai kemampuan isolat dalam mendonorkan elektron atau atom hidrogen untuk menetralkan radikal bebas yang menunjukkan adanya aktivitas antioksidan (Susanto *et al.*, 2025).

Berdasarkan hasil pengujian, isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 menunjukkan nilai inhibisi sebesar 45,636% hingga 45,942% dengan rata-rata sebesar 45,789%. Persentase inhibisi mencerminkan sejauh mana sampel mampu menetralkan radikal bebas dalam larutan DPPH (Susanto *et al.*, 2025). Semakin besar nilai persentase inhibisi suatu senyawa, maka semakin tinggi pula aktivitas antioksidannya (Batistuta *et al.*, 2022). Nilai yang diperoleh mengindikasikan bahwa isolat *L. plantarum* MTA-1 mampu mereduksi radikal DPPH melalui mekanisme donasi elektron atau atom hidrogen. Penurunan nilai absorbansi sampel dibandingkan blanko menunjukkan bahwa metabolit yang dihasilkan oleh isolat mampu menangkal radikal bebas (Nurhasnawati *et al.*, 2017). Aktivitas ini

dipengaruhi oleh produksi senyawa bioaktif seperti asam organik, peptida bioaktif, eksopolisakarida, maupun enzim antioksidan seperti superoksida dismutase (SOD) yang umum dihasilkan oleh bakteri asam laktat.

Aktivitas antioksidan isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 dengan nilai inhibisi sebesar 45,789% termasuk dalam kategori sedang. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan penelitian oleh Wang *et al.* (2018) yang melaporkan bahwa aktivitas penangkapan radikal DPPH oleh isolat *L. plantarum* AR113 sebesar 35,72%, *L. plantarum* AR269 sebesar 11,81%, *L. plantarum* AR300 sebesar 5,73%, serta *L. plantarum* AR501 sebesar 21,03%. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Li *et al.* (2018) menunjukkan bahwa isolat *L. plantarum* C88 memiliki aktivitas antioksidan sebesar 58,1%. Perbedaan tingkat aktivitas antioksidan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti perbedaan isolat bakteri, kondisi pertumbuhan, jenis substrat, serta parameter fermentasi yang mempengaruhi aktivitas metabolik isolat (Maghfirah *et al.*, 2025). Selain itu, kemampuan antioksidan pada bakteri asam laktat juga bersifat isolat-*dependent* sehingga setiap isolat dapat menunjukkan potensi yang berbeda meskipun berasal dari spesies yang sama. Berdasarkan hasil pengujian, isolat *L. plantarum* MTA-1 tidak hanya berpotensi sebagai probiotik, tetapi juga sebagai agen fungsional yang mampu memberikan perlindungan terhadap stres oksidatif. Hal ini menjadi nilai tambah dalam pengembangan produk pangan fungsional yang tidak hanya menyehatkan, tetapi juga memiliki kemampuan dalam menjaga kualitas dan kestabilan produk.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 mampu bertahan hidup pada kondisi pH ekstrim dan garam empedu, memiliki aktivitas antimikroba yang kuat terhadap berbagai bakteri patogen, memiliki kemampuan autoagregasi dan hidrofobisitas yang tinggi, serta bersifat sensitif terhadap antibiotik dan memiliki aktivitas antioksidan yang baik. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa isolat *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 memenuhi kriteria sebagai kandidat probiotik yang aman dan berpotensi dikembangkan dalam aplikasi pangan fungsional.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini adalah perlu dilakukan pengujian lanjutan secara *in vivo*, karakterisasi molekuler, serta analisis genomik untuk memastikan keamanan dan potensi probiotik *Lactiplantibacillus plantarum* MTA-1 dalam sistem biologis yang lebih kompleks. Selain itu, isolat ini perlu diuji lebih lanjut dalam berbagai matriks pangan untuk menilai kestabilan, viabilitas, serta konsistensi aktivitas fungsionalnya selama proses pengolahan dan penyimpanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, S. H., Apriliana, E., Setiawan, G., dan Berawi, K. N. 2024. Aktivitas antibakteri epigallocatechin gallate (egcg) teh hijau pada bakteri gram positif dan bakteri gram negatif. *Medical Profession Journal of Lampung*. 14(12): 2330-2335.
- Aini, M., Rahayuni, S., Mardina, V., Quranayati, Q., dan Asiah, N. 2021. Bakteri *Lactobacillus spp.* dan peranannya bagi kehidupan. *Jurnal Jeumpa*. 8(2): 614-624.
- Al Azim, M. R., Azriz, H., dan Fauziah, R. 2025. Potensi probiotik *Lactobacillus casei* dari dadih yogurt minangkabau untuk restorasi mikrobiota usus pada irritable bowel syndrome: sebuah tinjauan literatur. *Jurnal Ilmiah Ilmu Kesehatan*. 11(2): 276-283.
- Albarracin, L., Raya Tonetti, F., Fukuyama, K., Suda, Y., Zhou, B., Baillo, A. A., ... dan Villena, J. 2022. Genomic characterization of *Lactiplantibacillus plantarum* isolats possessing differential antiviral immunomodulatory activities. *Journal of Bacteria*. 1(3): 136-160.
- Anindita, N. S. 2022. Isolasi dan identifikasi fenotipik bakteri asam laktat (BAL) indigenous asal air susu ibu (ASI). *Jurnal Teknologi Pangan*. 5(1): 18-23.
- Ardhian, K., Kartika, D. P., dan Dunuaji, A. S. 2019. Studi viabilitas *Lactobacillus plantarum* FNCC-0027 pada sari buah apel (*Malus silvestris* Mill) dengan varietas yang berbeda. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian*. 8(4): 440-447.
- Arianti, N. L. D., dan Astuti, K. W. 2025. Potensi tanaman matoa (*Pometia pinnata*) sebagai alternatif alami antidiabetes mellitus. *Jurnal Ilmu Farmasi Nusantara*. 1(2): 59-73.
- Asnita, D., dan Meryandini, A. 2023. Bakteri asam laktat kandidat probiotik dari susu kuda bima. *Jurnal Sumberdaya Hayati*. 9(2): 49-54.
- Badri, A. A., Dewi, N. N. A., dan Wahyuniari, I. A. I. 2024. Peran probiotik dalam regulasi kolagen dan melanin: systematic review. *Jurnal Kesehatan Andalas*. 13(3): 111-118.
- Batistuta, M. A., Zulfa, A. F., dan Kustiawan, P. M. 2022. Aktivitas antioksidan fraksi n-heksan propolis lebah kelulut (*Geniotrigona thoracica*). *Medical Sains: Jurnal Ilmiah Kefarmasian*. 7(2): 217-224.
- Campedelli, I., Mathur, H., Salvetti, E., Clarke, S., Rea, M. C., Torriani, S., Ross, R. P., Hill, C., dan O'Toole, P. W. 2021. Genus-wide assessment of antibiotic

- resistance in *Lactobacillus spp.* American Society for Microbiology Journal. 87(1): 32-53.
- Colin, V., Suandy, S., dan Chiuman, L. 2025. Plant-based matrix-derived lactic acid bacteria isolat sbm10 from fermented red rice syrup: in vitro safety assessment and characterization. Journal of Pharmaceutical and Sciences. 8(4):2409-2419.
- Dharmawan, A., Agista, D. G. D., Sinsanta, S., Layanto, N., dan Deby, D. 2022. Pengaruh pemberian probiotik pada infeksi clostridium difficile. Jurnal MedScientiae. 1(2): 48-53.
- Di Chiano, M., Sallustio, F., Fiocco, D., Rocchetti, M. T., Spano, G., Pontrelli, P., ... dan Gallone, A. 2024. Psychobiotic properties of *Lactiplantibacillus plantarum* in neurodegenerative diseases. International Journal of Molecular Sciences. 25(17): 9489.
- Dimas Anugrahillah. 2024. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Asam Laktat dari Buah Matoa (*Pometia pinnata*) dan Sifat Fungsionalnya. Skripsi, Universitas Diponegoro.
- Dinev, T., Beev, G., Tzanova, M., Denev, S., Dermendzhieva, D., dan Stoyanova, A. 2018. Antimicrobial activity of *Lactobacillus plantarum* against pathogenic and food spoilage microorganisms: a review. Bulgarian Journal of Veterinary Medicine. 21(3): 253-268.
- Ding, W., Shi, C., Chen, M., Zhou, J., Long, R., dan Guo, X. 2017. Screening for lactic acid bacteria in traditional fermented Tibetan yak milk and evaluating their probiotic and cholesterol-lowering potentials in rats fed a high-cholesterol diet. Journal of Functional Foods. 32: 324-332.
- Elidar, Y., dan Purwati, P. 2022. Budidaya tanaman matoa (*Pometia pinnata*) di pekarangan dan manfaatnya untuk kesehatan keluarga. Jurnal Pengabdian Kreativitas Pendidikan Mahakam (JPKPM). 2(2): 206-209.
- Dwijastuti, N. M. S., Dewi, I. G. A. A. S., Septiasari, N. P. S., dan Widianari, N. P. 2025. Karakterisasi isolat bakteri asam laktat asal urutan sebagai kandidat probiotik dengan ketahanan asam dan aktivitas antibakteri. Jurnal Media Analis Kesehatan. 16(2): 85-96.
- Farida, E., Jenie, B. S. L., Nuraida, L., dan Giriwono, P. E. 2019. Aktivitas antioksidan dan penghambatan α -glukosidase oleh ekstrak etanol bakteri asam laktat indigenus. Jurnal Teknologi dan Industri Pangan. 30(1): 56-63.
- Fasha, G. N. A., Nur, H. S., dan Rahmi, N. 2025. Uji potensi probiotik isolat *Lactobacillus plantarum* JBSxH. 6.4 asal fermentasi Tigarun (*Crateva nurvala* Buch-Ham.) secara in vitro. Herbal Medicine Journal. 8(1): 59-67.

- Fatma, I. I., dan Nuraida, L. 2022. Potensi probiotik bakteri asam laktat asal madu dari tiga jenis lebah yang berbeda. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 33(2):188-199.
- Febrina, N. N. T., Bahri, S., dan Rasmi, D. A. C. 2019. Potensi probiotik bakteri asam laktat dari susu segar kambing etawa yang difermentasi dalam bambu betung (*Dendrocalamus asper*) dan bambu tali (*Gigantochloa apus*). *Jurnal Ilmiah Pendidikan Indonesia*. 1(1): 7-14.
- Hajar, S., Rahmah, W., Putri, E. M., Ressandy, S. S., dan Hamzah, H. 2021. Potensi ekstrak buah matoa (*Pometia pinnata*) sebagai sumber antioksidan. *Jurnal Farmasi Sains dan Praktis*. 7(1): 59-66.
- Halim, V., Lister, G., dan Angie, E. 2025. Uji aktivitas antibakteri ekstrak kulit buah pepaya terhadap diameter zona hambat pertumbuhan bakteri *Escherichia Coli*, *Staphylococcus Aureus* dan *Salmonella Typhimurium*. *Jurnal Locus Penelitian dan Pengabdian*. 4(11): 10326-10345.
- Hamidah, M. N., Rianingsih, L., dan Romadhon, R. 2019. Aktivitas antibakteri isolat bakteri asam laktat dari peda dengan jenis ikan berbeda terhadap *E. coli* dan *S. aureus*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan*. 1(2): 11-21.
- Handayani, E. S., Handayani, D., Irdawati, I., dan Violita, V. 2023. Potency of yeast from orange peel's coenzyme as antimicrobe. *Jurnal Serambi Biologi*. 8(3): 274–279.
- Harmoko, D., Ningrum, R. K., dan Pati, A. A. U. 2024. Aktivitas probiotik bakteri *Enterococcus lactis* SA8 asal susu kerbau Sumbawa (*Bubalus bubalis*). *Jurnal SainHealth*. 8(2): 70–75.
- Hasan, A. 2018. Penentuan waktu produksi optimum bakteriosin asal *Lactobacillus plantarum* b1765 berdasarkan aktivitas penghambatannya terhadap *Staphylococcus aureus*. *UNESA Journal of Chemistry*. 7(1): 5-20.
- Hasanuddin, A. P., dan Salnus, S. 2020. Uji bioaktivitas minyak cengkeh (*Syzygium aromaticum*) terhadap pertumbuhan bakteri *Streptococcus mutans* penyebab karier gigi. *BIOMA: Jurnal Biologi Makassar*. 5(2): 241-250.
- Indrawati, Y., Datta, F. U., dan Detha, A. I. 2023. Studi literatur pengaruh penambahan bakteri asam laktat dalam pakan formulasi lokal atau pakan komersial terhadap profil mikrobiota *Salmonella* sp. pada saluran pencernaan ayam broiler. *Jurnal Veteriner Nusantara*. 6(2): 382–394.
- Irawan, C., Sirait, S. M., Sulistiawaty, L. I. L. I. S., dan Setyawati, S. R. 2020. Toxicity test with BSLT (*brine shrimp lethality test*) method on methanol, ethyl acetate extract, hexane on seeds and rind of matoa extract (*Pometia pinnata*). *Oriental Journal of Chemistry*. 36(6): 1143.

- Iskandar, D. V., Juwitasari, K. S., Pasha, E. I., Sari, E. T., dan Arini, L. D. D. 2025. Studi toksikologi biokimia: dampak senyawa beracun terhadap proses metabolisme seluler dan kesehatan manusia. *Student Scientific Creativity Journal*. 3(2): 84–96.
- Jusman, N. H., Wikandari, P. R., dan Saputri, R. D. 2025. Kajian peningkatan aktivitas antioksidan pada umbi-umbian melalui fermentasi. *Jurnal Ilmiah Pangan Halal*. 7(2): 220-234.
- Khaerunnisa, K., Dwyana, Z., dan Sulfahri, S. 2024. Bioprospecting of potential probiotic lactic acid bacteria from the gut of native chickens (*Gallus domesticus*) in the antang landfill ecosystem. *Indonesian Journal of Ecology and Conservation*. 1(2): 42-56.
- Khoerunnisa, S. F., Balia, R. L., dan Pradini, G. W. 2022. Mekanisme resistensi antibiotik pada *Lactobacillus* dan potensinya untuk mengatasi *Salmonellosis* pada ayam broiler. *Jurnal Acta Veterinaria Indonesiana*. 10(2): 111-123.
- Kurnianto, M. A., dan Syahbanu, F. 2023. Resistensi antibiotik pada rantai pasok pangan: tren, mekanisme resistensi, dan langkah pencegahan. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 17(3): 608–621.
- Kusmarwati, A. 2017. Resistensi antibiotik pada *Vibrio parahaemolyticus* dari udang vaname asal pantai utara Jawa untuk pasar ekspor. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. 12(2): 91–106.
- Limtrakul, A., Kovitkulanuchit, K., Kanthawang, P., Poopan, B., Vitheejongjaroen, P., Puttarat, N., Jamjuree, P., dan Taweechotipatr, M. 2024. Isolation and identification of bile salt hydrolase-producing lactic acid bacteria with cholesterol-lowering potential probiotics in raw milk from dairy farms in Thailand. *Journal of Medicine and Health Sciences*. 31(1): 76–94.
- Li, S., Zhao, Y., Zhang, L., Zhang, X., Huang, L., Li, D., ... dan Wang, Q. 2018. Antioxidant activity of *Lactobacillus plantarum* isolats isolated from traditional Chinese fermented foods. *Food chemistry*. 135(3): 1914-1919.
- Lin, X., Xia, Y., Wang, G., Yang, Y., Xiong, Z., Lv, F., ... dan Ai, L. 2018. Lactic acid bacteria with antioxidant activities alleviating oxidized oil induced hepatic injury in mice. *Frontiers in microbiology*. (9)2684: 1-10.
- Liyantifa, B., dan Afryansyah, A. 2025. Peran mikrobiota usus dalam homeostasis imun: pendekatan kritis untuk inovasi kesehatan di era society 5.0. *Jurnal Penelitian Sains*. 27: 1-8.

- Maghfirah, D., Pulungan, A. F., Ridwanto, R., dan Yuniarti, R. 2025. Perbandingan kandungan fenolik dan aktivitas antioksidan pada varian seduhan teh dan varian teh kombucha secara spektrofotometri visible. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*. 8(3): 1384-1397.
- Malo, A. I. S., dan Moi, M. Y. 2026. Karakterisasi dan uji ketahanan garam empedu isolat bakteri asam laktat air rendaman kacang merah (*Phaseolus Vulgaris*). *Jurnal Biogenerasi*. 11(1): 88-95.
- Mansur, D. S., dan Hidayat, M. N. 2019. Ketahanan bakteri asam laktat asal saluran pencernaan broiler terhadap pH dan garam empedu. *Jurnal Ilmu dan Industri Peternakan*. 5(1): 27-37.
- Meradji, M., Bachtarzi, N., Mora, D., & Kharroub, K. 2023. Characterization of lactic acid bacteria isolates isolated from Algerian honeybee and honey and exploration of their potential probiotic and functional features for human use. *Foods*. 12(12): 2312.
- Moghimani, M., Onyeaka, H., Hashemi, M., dan Afshari, A. 2024. Evaluation of the probiotic, technological, safety attributes, and GABA-producing capacity of microorganisms isolated from Iranian milk kefir beverages. *Frontiers in Microbiology*. 15: 1385301.
- Mubarok, H., Nocianitri, K. A., dan Permana, I. D. G. M. 2019. Aktivitas antioksidan *Lactobacillus rhamnosus* FBB secara in vitro. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno*. 4(1): 1-8.
- Nasution, A. Y., Rasyidah, R., dan Mayasari, U. 2022. Potensi bakteri asam laktat sebagai penghasil eksopolisakarida dari dekke na niura. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains Dan Teknologi*. 7(3): 214.
- Niaga, J. T. 2019. Sosialisasi bahaya radikal bebas dan fungsi antioksidan alami bagi kesehatan. *Jurnal Vokasi*. 3(1): 1–7.
- Niken, N., Arman, E., Pebriansyah, R., dan Yusuf, R. N. 2023. Uji efektivitas antibakteri ekstrak kulit jeruk manis (*Citrus sinensis*) terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Kesehatan Saintika Meditory*. 6(2): 296-305.
- Novitasari, E., dan Diptaningsari, D. 2022. Patogen pembawa penyakit *Staphylococcus aureus* dan prevalensinya pada pangan hasil pertanian. *Jurnal Riset Agribisnis dan Peternakan*. 7(1): 1-13.
- Nugrahani, G., Apridamayanti, P., dan Sari, R. 2021. Aktivitas antibakteri yogurt hasil fermentasi *Lactobacillus plantarum* terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Cerebellum*. 6(2): 55-58.

- Nurhasnawati, H., Sukarmi, S., dan Handayani, F. 2017. Perbandingan metode ekstraksi maserasi dan sokletasi terhadap aktivitas antioksidan ekstrak etanol daun jambu bol (*Syzygium malaccense* L.). Jurnal Ilmiah Manuntung. 3(1): 91-95.
- Nuryadi, A. M., Silaban, D. P., Manurung, S., dan Apriani, S. W. 2019. Pemanfaatan buah matoa sebagai cita rasa es krim yang baru. Jurnal Penelitian Teknologi Industri. 11(2): 55-62.
- Okfrianti, Y., Darwis, D., dan Pravita, A. 2018. Bakteri asam laktat *Lactobacillus plantarum* C410LI dan *Lactobacillus rossiae* LS6 yang diisolasi dari lemea rejang terhadap suhu, pH dan garam empedu berpotensi sebagai prebiotik. Jurnal Ilmu Teknologi. 6(1): 49-58.
- Panjaitan, R., Nuraida, L., dan Dewanti-Hariyadi, R. 2018. Seleksi isolat bakteri asam laktat asal tempe dan tape sebagai kandidat probiotik. Jurnal Teknologi dan Industri Pangan. 29(2): 175-184.
- Priadi, G., Setiyoningrum, F., Afiati, F., Irzaldi, R., dan Lisdiyanti, P. 2020. Studi in vitro bakteri asam laktat kandidat probiotik dari makanan fermentasi Indonesia. Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan. 31(1): 21-28.
- Putri, C. A. 2026. Literature review: mekanisme resistensi antibiotik pada bakteri patogen. Jurnal Biogenerasi. 11(1): 19-24.
- Putri, D. N., Rahmahani, J., & Yunita, M. N. 2022. Isolasi dan identifikasi salmonella spp. pada daging broiler di pasar tradisional banyuwangi dan blambangan, kabupaten banyuwang. Jurnal Medik Veterinar. 5(2).
- Ramadhani, O. S., Chotimah, L., Huda, R. N., Salim, R. N., dan Arini, L. D. D. 2024. Literatur review manfaat makanan mengandung probiotik bagi kesehatan. Jurnal Ilmu Kesehatan. 1(4): 34-43
- Riadi, S. 2022. Isolasi dan uji potensi bakteri asam laktat asal kimchi dan teh kombucha dalam menghambat bakteri patogen. Jurnal Kesmas Prima Indonesia. 2(1): 25-29.
- Riani, C. R., Nuraida, L., dan Meryandini, A. 2020. Isolasi bakteri asam laktat asal jus nanas sebagai kandidat probiotik. Jurnal Teknologi dan Industri Pangan. 31(2): 103-112.
- Risna, Y. K., Sri-Harimurti, S. H., Wihandoyo, W., dan Widodo, W. 2022. Kurva pertumbuhan isolat bakteri asam laktat dari saluran pencernaan itik lokal asal aceh. Jurnal Peternakan Indonesia. 24(1): 1-7.
- Safitri, S., dan Mustakim, A. 2025. Isolasi dan identifikasi mikroorganisme dari tempoyak: produk fermentasi tradisional dari jambi. Jurnal Matematika, Ilmu pengetahuan Alam, Kebumian dan Angkasa. 3(5): 84-90.

- Sharma, H., Upadhyay, A. K., Singh, N. K., Nagpal, A., Dhial, K., dan Kumari, R. 2024. Antibiotic resistance profile and safety assessment of *Lactobacillus plantarum* isolated from milk. *Journal of Scientific Research and Reports*. 30(7): 938–945.
- Silaban, B. J. S., Nurhayati, L., dan Hartanti, A. W. 2020. Viabilitas probiotik *Lactobacillus acidophilus* DLBSD102 setelah mikroenkapsulasi. *Jurnal Sains Natural*. 10(1): 6.
- Sine, Y. 2022. Potensi bakteri asam laktat pada makanan fermentasi. *Jurnal Saintek Lahan Kering*. 5(2): 21-23.
- Sudarmi, K., Darmayasa, I. B. G., dan Muksin, I. K. 2017. Uji fitokimia dan daya hambat ekstrak daun juwet (*Syzygium cumini*) terhadap pertumbuhan *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* ATCC. *Jurnal symbiosis*. 5(2): 47-51.
- Sukarya, I. B. J., Pratiwi, I. D. P. K., Hapsari, N. M. I., dan Puspawati, N. N. 2021. Ketahanan isolat bakteri asam laktat indigenus kombucha dan dadih terhadap antibiotik. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*. 10(4): 734-745.
- Sulistiani, S. 2017. Senyawa antibakteri yang diproduksi oleh *Lactobacillus plantarum* dan aplikasinya untuk pengawetan bahan ikan. *Indonesian Journal of Biology*. 13(2): 233-240.
- Sumarna, D., dan Kadriah, A. 2023. Penelitian kualitatif terhadap hukum empiris. *Jurnal Penelitian Serambi Hukum*. 16(2): 101-113.
- Theodore, F., Nocianitri, K. A., dan Hatiningsih, S. 2025. Skrining isolat bakteri asam laktat dari feses luwak sebagai kandidat probiotik. *Itepa: Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*. 14(4): 834-847.
- Tian, H., Hang, S., Huang, N., Yu, H., Chen, C., dan Ge, C. 2025. Isolat-level variation in diacetyl production by *Lactiplantibacillus plantarum* reveals genetic drivers of flavor in fermented dairy. *Journal of Dairy Science*. 108(10): 10869-10699.
- Tsania, I. L., Hidayati, I., dan Jariyah, I. A. 2021. Uji prebiotik mangga manalagi (*Mangifera indica* L. var *manalagi*) terhadap pertumbuhan *Lactobacillus plantarum* secara in vitro. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*. 6(2): 102-107.
- Tulasi, M. I., Foeh, N. D., dan Detha, A. I. 2024. Studi literatur senyawa metabolit bakteri asam laktat dan kegunaannya dalam mengoptimalkan kesehatan hewan. *Jurnal Veteriner Nusantara*. 7(2): 262-274.
- Ubaidilah, A. 2025. Peran probiotik dalam kesehatan pencernaan manusia. *Journal of Science and Technology*. 1(3): 69-75.

- Ugi, D., dan Hambali, H. 2019. Uji kepekaan bakteri asam laktat kandidat probiotik terhadap antibiotik kanamisin, oleandomisin, dan polimiksin B. *Journal Kedokteran Indonesia*. 7(1): 378-823.
- Uminyati, S., Astuti, Oktavi, B., dan Pramiadi, D. 2019. Pengaruh garam empedu terhadap pertumbuhan dan produksi asam laktat *Streptococcus sp.* *Jurnal Pendidikan dan Penerapan MIPA*. 8(2): 166–181.
- Wiraguna, S. A. 2024. Metode normatif dan empiris dalam penelitian hukum: studi eksploratif di Indonesia. *Jurnal Sosial Politik, Pemerintahan Dan Hukum*. 3(3): 57-65.
- Wu, L., Wang, W., Wu, Z., Pan, D., Zeng, X., Guo, Y., dan Lian, L. 2020. Effect of acid and alkali stress on extracellular metabolite profile of *Lactobacillus plantarum* ATCC 14917. *Journal of basic microbiology*. 60(8): 722-729.
- Wulandani, B. D., Kisworo, D., Bulkaini, B., Yulianto, W., dan Haryanto, H. 2022. The potential of indigenous lactic acid bacteria *Lactobacillus plantarum* dad 13 in ice cream as probiotic food. *Jurnal Biologi Tropis*. 22(4): 1445-1454.
- Wulandari, K., Adi, N. W., Prawitasari, I. A. A., Fatmawati, N. N. D., Nocianitri, K. A., dan Sujaya, I. N. 2024. Bile salt hydrolase pada probiotik sebagai agen penurun kolesterol: kajian pustaka. *Metamorfosa: Journal of Biological Sciences*. 11(2): 107–122.
- Yufidasari, H. S., Nursyam, H., dan Della GB, J. 2021. Isolasi bakteri asam laktat dari bekasam ikan patin dan potensi antimikrobanya terhadap beberapa bakteri patogen. *Journal of Fisheries and Marine Research*. 5(3): 578-585.
- Zhao, X., Ding, L., Ye, Q., Zhang, H., Yin, J., Li, P., ... dan Han, J. 2025. Highly adhesive *Lactiplantibacillus plantarum* ZJ316: structural insights of lipoteichoic acid and its anti-inflammatory properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 73(12): 7244-7255.
- Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C. M., Harris, H. M., Mattarelli, P., ... & Lebeer, S. 2020. A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*. 70(4): 2782-2858.