

Bakteri Asam Laktat Berpotensi Probiotik Unggulan dari Makanan Fermentasi Tradisional Naniura Berbahan Dasar Ikan Mas (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758)

Teresia Junetti Rajagukguk¹, Eko Prasetya¹

¹Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Medan, Sumatera Utara

Email Korespondensi: teresiajunettirajagukguk@gmail.com

Abstract

Naniura merupakan makanan fermentasi tradisional khas Batak berbahan dasar ikan mas (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) yang diolah melalui proses fermentasi menggunakan bumbu dapur khususnya asam jeruk. Proses unik ini menciptakan ekosistem mikroba yang berpotensi sebagai sumber probiotik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis profil metagenomik Naniura dan melakukan studi literatur untuk mengidentifikasi Bakteri Asam Laktat (BAL) yang berpotensi sebagai probiotik unggulan. Analisis metagenomik dilakukan menggunakan *Oxford Nanopore Technologies 16S Full Length Metagenomic Sequencing*. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan daftar bakteri hasil metagenomik terhadap kriteria probiotik standar FAO/WHO, mencakup ketahanan fisiologis, keamanan (status GRAS), dan fungsionalitas yang dilaporkan. Hasil analisis menunjukkan dominasi BAL dalam komunitas mikroba Naniura. Jenis BAL *Lactiplantibacillus plantarum* dan *Levilactobacillus brevis* terindikasi lebih unggul sebagai kandidat probiotik. Studi literatur mengonfirmasi bahwa banyak strain dari kedua spesies ini memiliki rekam jejak yang kuat dalam meningkatkan kesehatan pencernaan, memodulasi sistem imun, dan menghasilkan senyawa antimikroba. Kehadiran *L. plantarum* dan *L. brevis* dalam lingkungan asam ekstrem naniura secara inheren menunjukkan sifat tahan asam yang superior sebagai salah satu prasyarat utama probiotik. Genus fungsional lain seperti *Enterococcus*, *Leuconostoc*, *Lactococcus*, dan *Weissella* juga teridentifikasi, yang berkontribusi pada pembentukan rasa dan biopreservasi. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa Naniura merupakan reservoir yang sangat menjanjikan untuk isolasi strain BAL probiotik unggulan yang telah teradaptasi pada kondisi asam ekstrem. Penelitian lebih lanjut melalui isolasi dan karakterisasi *in vitro* diperlukan untuk memvalidasi potensinya sebagai kultur starter standar guna meningkatkan keamanan dan nilai fungsional Naniura.

Keywords:

Bakteri Asam Laktat,
Cyprinus carpio,
Metagenomik,
Naniura,
Probiotik.

Pendahuluan

Fermentasi merupakan salah satu teknik pengolahan pangan tertua yang telah digunakan manusia selama ribuan tahun untuk memperpanjang masa simpan bahan pangan, meningkatkan cita rasa, serta memperkaya nilai gizi produk. Fermentasi tidak hanya berfungsi sebagai cara pengawetan alami, tetapi juga menjadi sarana biotransformasi yang menghasilkan produk dengan cita rasa unik dan karakteristik fungsional yang tinggi (Sharma *et al.*, 2020; Voidarou *et al.*, 2021). Secara ilmiah, fermentasi diartikan sebagai proses biokimia yang melibatkan aktivitas mikroorganisme terutama bakteri, khamir,

dan kapang dalam mengonversi substrat organik menjadi berbagai metabolit sekunder, seperti asam organik, alkohol, dan senyawa volatil yang memengaruhi karakteristik sensori produk (Feng *et al.*, 2018; Tamang, Watanabe, *et al.*, 2016). Salah satu kelompok mikroorganisme yang dominan dalam fermentasi adalah Bakteri Asam Laktat (BAL) atau *lactic acid bacteria* (LAB). Kelompok bakteri ini memiliki kemampuan menghasilkan asam organik, terutama asam laktat, serta senyawa bioaktif seperti bakteriosin yang berfungsi sebagai agen penghambat mikroba patogen dan pembentuk aroma serta cita rasa produk fermentasi (Nuraida, 2015).

Dalam pengembangan ilmu pangan modern, BAL tidak hanya penting karena perannya dalam menjaga keamanan dan mutu sensori, tetapi juga karena potensinya sebagai probiotik. Menurut definisi FAO/WHO (2002), probiotik adalah mikroorganisme hidup yang apabila dikonsumsi dalam jumlah cukup dapat memberikan manfaat kesehatan bagi inangnya. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa berbagai strain BAL memiliki kemampuan adaptasi terhadap kondisi fisiologis ekstrem, seperti keasaman lambung dan keberadaan garam empedu, serta memiliki aktivitas antimikroba dan imunomodulator yang mendukung keseimbangan mikrobiota usus (Ngasotter *et al.*, 2020).

Indonesia dikenal sebagai negara dengan kekayaan kuliner fermentasi yang luar biasa, baik berbahan nabati maupun hewani. Salah satu kelompok yang menarik adalah makanan fermentasi ikan tradisional, seperti bekasam, budu, pekasam, dan naniura. Makanan-makanan ini tidak hanya memiliki nilai budaya tinggi, tetapi juga menyimpan potensi sebagai sumber mikroba fungsional yang unik. Hasil penelitian Marlida *et al.* (Marlida *et al.*, 2023) terhadap produk *budu* menggunakan pendekatan metagenomik menunjukkan bahwa BAL merupakan kelompok dominan yang berperan penting dalam proses fermentasi ikan. Hal ini sejalan dengan temuan Setiarto & Herlina (2024) dan Nuraida (2015) yang melaporkan bahwa fermentasi ikan tradisional Indonesia umumnya melibatkan genus BAL seperti *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Weissella*, dan *Enterococcus*. Genus-genus tersebut berkontribusi dalam pembentukan rasa, pengasaman alami, serta penghambatan mikroorganisme pembusuk dan patogen.

Naniura merupakan salah satu makanan fermentasi Indonesia yang unik. Makanan ini berasal dari masyarakat Batak dan berbahan dasar ikan mas (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) yang difermentasi tanpa pemasakan. Proses fermentasi *Naniura* menggunakan bumbu khas, terutama asam dari jeruk jungga (*Citrus jhambiri*), sebagai sumber pengasaman alami (Hang, 2021). Senyawa asam yang terkandung dalam asam jungga berperan dalam denaturasi protein ikan, sehingga menghasilkan tekstur yang lebih lunak serta mengurangi aroma amis. Proses pengolahan ini menciptakan kondisi yang memungkinkan terjadinya fermentasi alami dan pertumbuhan mikroorganisme, terutama bakteri asam laktat (BAL) (Simanjuntak & Naibaho, 2024).

Bakteri asam laktat merupakan kelompok Gram-positif, berspora, kokus atau batang, anaerobik atau aerob fakultatif mampu tumbuh pada pH rendah (pH 3,0) serta negatif reaksinya terhadap katalase (Simanjuntak & Naibaho, 2023). Mikroorganisme ini dikenal luas karena kemampuannya memproduksi asam laktat sebagai hasil utama dari proses metabolisme secara anaerob, serta menghasilkan beragam metabolit bermanfaat yang berkontribusi terhadap peningkatan kualitas nutrisi, karakteristik sensorik, dan sifat teknologi pada produk pangan fermentasi (Adesulu-Dahunsi *et al.*, 2022). BAL mampu mengasamkan, meningkatkan rasa, memperbaiki aroma dan flavour, melindungi makanan dari mikroorganisme patogen, menambah nutrisi makanan, mengurangi zat berbahaya dan meningkatkan umur simpan (Surbakti & Hasanah, 2021; Wang *et al.*, 2021).

Kajian literatur menunjukkan bahwa makanan fermentasi ikan di Asia Tenggara didominasi oleh BAL seperti *Lactiplantibacillus plantarum* dan *Levilactobacillus brevis*, dua spesies yang dikenal memiliki aktivitas probiotik kuat (Ngasotter *et al.*, 2020). Kedua spesies ini telah terbukti memiliki toleransi asam dan garam yang tinggi, kemampuan menghambat mikroba patogen melalui produksi bakteriosin, serta efek positif terhadap kesehatan pencernaan manusia. Chan *et al.*, (2023) juga

menegaskan bahwa BAL dari fermentasi ikan dapat berfungsi sebagai agen biopreservasi alami sekaligus sumber mikroba probiotik potensial.

Penelitian yang dilakukan oleh Aloysius *et al.* (Aloysius *et al.*, 2019) menguji aktivitas antimikroba BAL dari Naniura terhadap bakteri patogen seperti *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, dan *Salmonella typhi* dan menemukan bahwa beberapa isolat mampu menghambat pertumbuhan patogen tersebut (zona hambat berkisar 6,9–12,3 mm). Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Hang (2021) mengemukakan bahwa makanan fermentasi tradisional naniura memiliki potensi sebagai sumber probiotik. Hal ini didasarkan pada hasil kajian yang menunjukkan bahwa isolat BAL dari naniura memiliki aktivitas antimikroba, antioksidan, serta kemampuan menghambat enzim α -glukosidase yang berperan dalam pengaturan kadar glukosa darah. Temuan-temuan tersebut menunjukkan adanya peluang besar untuk mengidentifikasi dan mengembangkan BAL dari fermentasi ikan tradisional Indonesia, termasuk dari Naniura.

Sebagian besar spesies bakteri asam laktat (BAL) yang umum dimanfaatkan dalam produk pangan, seperti *Lactobacillus*, *Lactiplantibacillus*, *Levilactobacillus*, *Lactococcus*, dan *Leuconostoc*, telah memperoleh pengakuan keamanan dengan status GRAS (*Generally Recognized As Safe*) dari U.S. Food and Drug Administration (FDA) serta status *Qualified Presumption of Safety* (QPS) dari *European Food Safety Authority* (EFSA) (Colautti *et al.*, 2022; Koutsoumanis *et al.*, 2020). Penetapan status GRAS menandakan bahwa strain tersebut dianggap aman berdasarkan bukti ilmiah yang memadai serta sejarah penggunaannya yang panjang dalam konsumsi manusia. Meski demikian, pengakuan GRAS tidak dapat digeneralisasi untuk semua strain BAL, karena setiap isolat baru wajib menjalani pengujian toksisitas, resistensi terhadap antibiotik, dan identifikasi gen virulensi sebelum dinyatakan aman (Merenstein *et al.*, 2023; Plavec & Berlec, 2020)

Sampai saat ini, hanya sedikit laporan yang membahas secara mendalam mengenai keberagaman mikrobiota pada makanan fermentasi tradisional ikan mas naniura, khususnya melalui pendekatan molekuler. Metode konvensional hanya mampu mendeteksi mikroba yang dapat dikultur, sementara sebagian besar mikroorganisme di lingkungan alami bersifat nonkultural (Bodor *et al.*, 2020). Oleh karena itu, penelitian berbasis metagenomik menjadi penting untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai komunitas mikroba dalam Naniura, termasuk mikroorganisme yang tidak dapat dikultur secara konvensional.

Pendekatan metagenomik menghasilkan informasi komunitas mikroba secara utuh menunjukkan bahwa identifikasi genotipik menghasilkan informasi yang lebih dapat diandalkan dibandingkan dengan metode konvensional maupun fenotipik (Lee *et al.*, 2022). Dengan mempertimbangkan keterbatasan metode konvensional dan keunggulan metode NGS penerapan teknologi NGS sangat diperlukan sebagai metode yang lebih efektif, akurat, dan komprehensif dalam mengidentifikasi bakteri asam laktat. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diidentifikasi berbagai bakteri potensial yang terdapat dalam naniura, sehingga hasilnya dapat menjadi dasar bagi pengembangan inovasi teknologi fermentasi dan peningkatan nilai tambah produk naniura.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan deskriptif untuk mengidentifikasi serta menganalisis keberadaan BAL pada makanan fermentasi tradisional naniura melalui pendekatan metagenomik berbasis teknologi *Next Generation Sequencing* (NGS). Pendekatan ini dilakukan untuk mengeksplorasi keanekaragaman spesies BAL yang terdapat pada ikan mas naniura, sehingga dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai komunitas mikroba yang berperan dalam proses fermentasi tradisional tersebut.

Alat

Alat yang digunakan terdiri dari alat pengolahan naniuara terdiri dari kompor masak, kual, baskom, sendok, gunting, *erlenmeyer*, gelas piala, mikropipet, mikrotip, spatula, tabung *appendorf*, autoklaf, gelas beaker, Oxford Nanopore Technologies (ONT), *centrifuge*, *icebox*, *freezer*, filter Zymo-Spin™ III-F, collection tube, column tube, aluminium foil, plastik wrap, mortal dan alu, gunting, sarung tangan, masker, plastik ziplock, kertas label.

Bahan

Bahan yang digunakan untuk pembuatan naniura terdiri dari ikan mas (*Cyprinus carpio*) yang masih hidup dan segar, utte (jeruk) jungga, andaliman, cabai merah, cabai rawit, garam, jahe, kunyit, lengkuas, kemiri, rias (batang kecombrang), bawang merah, bawang putih, dan kencur, ZymoBIOMICS DNA miniprep KIT, ZR BashingBead™™ Lysis Tubes, 600µl DNA/RNA Shield, ZymoBIOMICSTM DNA Binding Buffer, DNA Wash Buffer, tissue, blanko (elution), 600µl ZymoBIOMICST™ HRC Prep Solution, primer 16S (314F-806R).

Hasil dan Pembahasan

Ekstraksi DNA Ikan Mas Naniura

Proses ekstraksi DNA menghasilkan data kuantitatif dan kualitatif. Nilai konsentrasi dari ekstraksi DNA dinyatakan melalui data kuantitatif, sementara data kualitatif digunakan untuk menunjukkan nilai kemurnian DNA yang diekstraksi. Nilai kemurnian hasil ekstraksi DNA ditentukan dengan memeriksa absorbansi nanospektrometer pada panjang gelombang A260/280 dan A260/230, sedangkan pengukuran konsentrasi DNA dilakukan dengan Qubit, yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap DNA untai ganda (double-stranded DNA). Dari hasil pemurnian DNA didapat hasil konsentrasi pada Nanodrop yaitu 49,8 ng/µl dengan volume 60 µl rasio absorbansi A260/280 berada pada angka 1,91 dan rasio absorbansi A260/230 berada pada angka 1,09. Nilai Qubit berada pada 45 ng/µl dengan status (pass QC). DNA berkualitas baik berdasarkan uji nanodrop A260/280 memiliki kemurnian 1,8-2,0 (Košir *et al.*, 2023), sehingga dapat dilanjutkan untuk tahap sekuensing.

Amplifikasi PCR dan Elektroforesis

DNA hasil ekstraksi dari naniura diamplifikasi menggunakan metode Polymerase Chain Reaction (PCR) dengan pasangan primer universal 27F (5'-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3') dan 1492R (5'-TACGGYTACCTTGTTACGACTT-3'). Reaksi PCR dilakukan menggunakan Phusion Plus PCR Master Mix (Thermo Scientific™, F6315). Hasil visualisasi produk PCR diperoleh dengan ukuran fragmen ±1.500 bp, sesuai dengan panjang fragmen gen bakteri 16S rRNA yang umum digunakan sebagai marker identifikasi molekuler.

Komposisi Bakteri Asam Laktat

Fermentasi naniura yang dilakukan secara tradisional tanpa penambahan kultur starter memungkinkan terjadinya fermentasi secara spontan. Proses ini bergantung pada mikroflora alami dari bahan baku ikan, bumbu rempah, serta lingkungan pengolahan. Keberadaan berbagai spesies BAL menunjukkan interaksi mikrobiota yang saling mendukung dalam menciptakan kondisi fermentatif yang stabil dan aman.

Tabel 1. Spesies bakteri asam laktat yang diidentifikasi dari Ikan Mas Naniura

No	Spesies	Jumlah Bacaan	Kelimpahan Relatif (%)
1	<i>Enterococcus casseliflavus</i>	40	0,74
2	<i>Lactiplantibacillus pentosus</i>	7	0,13

No	Spesies	Jumlah Bacaan	Kelimpahan Relatif (%)
3	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	339	6,24
4	<i>Lactobacillus acetotolerans</i>	9	0,17
5	<i>Lactobacillus kitasatonis</i>	7	0,13
6	<i>Lactococcus lactis</i>	14	0,26
7	<i>Leuconostoc citreum</i>	58	1,07
8	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	195	3,59
9	<i>Levilactobacillus brevis</i>	28	0,51
10	<i>Tetragenococcus halophilus</i>	5	0,09
11	<i>Weissella confusa</i>	100	1,84

Analisis metagenomik berhasil mengidentifikasi sebelas spesies utama bakteri dalam produk fermentasi tradisional Naniura berbahan dasar ikan mas (*Cyprinus carpio*). Spesies yang terdeteksi antara lain *Enterococcus casseliflavus*, *Lactiplantibacillus pentosus*, *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactobacillus acetotolerans*, *Lactobacillus kitasatonis*, *Lactococcus lactis*, *Leuconostoc citreum*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Levilactobacillus brevis*, *Tetragenococcus halophilus*, dan *Weissella confusa*, dengan dominasi tertinggi secara berurutan adalah *Lactiplantibacillus plantarum* (339 sekuens), diikuti oleh *Leuconostoc mesenteroides* (195 sekuens) dan *Weissella confusa* (100 sekuens).

Bakteri asam laktat merupakan kelompok mikroorganisme yang paling dominan dan fungsional dalam sebagian besar makanan fermentasi, termasuk naniura. Kelompok ini tidak hanya bertanggung jawab atas proses pengasaman dan pengawetan, tetapi juga merupakan sumber utama kandidat probiotik. Analisis terhadap daftar bakteri yang ditemukan dalam naniura mengungkapkan kehadiran beberapa genus BAL yang terkenal memiliki potensi probiotik.

Tabel 2. Bakteri Asam Laktat (BAL) dari Naniura Berdasarkan Kriteria Probiotik

Spesies	Bukti sebagai Probiotik	Produksi Antimikroba	Potensi Fungsional	Status Keamanan
<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	Sangat kuat; banyak studi klinis untuk IBS (Q. Yao <i>et al.</i> , 2025), kolesterol (Zheng <i>et al.</i> , 2023), imunitas (S. Li <i>et al.</i> , 2025)	Ya, Plantaricin; spektrum luas melawan patogen (Todorov, 2009).	Degradasi amina biogenik, produksi peptida bioaktif, antioksidan (Zare <i>et al.</i> , 2024)	GRAS
<i>Levilactobacillus brevis</i>	Kuat; terbukti meningkatkan fungsi imun dan kesehatan usus (K. T. Kim <i>et al.</i> , 2021; Sreepathi <i>et al.</i> , 2023)	Ya, beberapa strain memproduksi bakteriosin (Venegas-Ortega <i>et al.</i> , 2019)	Produksi GABA, antioksidan, anti-inflamasi (Kwun <i>et al.</i> , 2024).	GRAS
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Terbatas; lebih dikenal sebagai kultur starter untuk fermentasi. Studi	Ya, Leucocin; spektrum sempit	Produksi aroma (diasetil), eksopolisakarida (dekstran)	GRAS

Spesies	Bukti sebagai Probiotik	Produksi Antimikroba	Potensi Fungsional	Status Keamanan
	terbaru pada jus tebu menunjukkan potensi probiotik dari <i>L. mesenteroides</i> (Su <i>et al.</i> , 2024)	(Tamang, Shin, <i>et al.</i> , 2016)	(Jurášková <i>et al.</i> , 2024)	
<i>Lactococcus lactis</i>	Terbatas sebagai probiotik; utama sebagai kultur starter misalnya yoghurt/keju (Kondrotiene <i>et al.</i> , 2024) dengan aplikasi probiotik dan biofilm (Capri <i>et al.</i> , 2024)	Ya, Nisin; spektrum luas, digunakan sebagai pengawet makanan komersial (Peres Fabbri <i>et al.</i> , 2024).	Produksi peptida bioaktif (penghamb at ACE) (Rubak <i>et al.</i> , 2022).	GRAS
<i>Weissella confusa</i>	Menjanjikan ; beberapa strain menunjukkan sifat probiotik yang baik (Dimofte <i>et al.</i> , 2022).	Ya, Weissellin (Thant <i>et al.</i> , 2024).	Produksi eksopolisakarida (Dimofte <i>et al.</i> , 2022)	Belum ada (bukan GRAS/QPS)
<i>Tetragenococcus halophilus</i>	Sangat terbatas; lebih dikenal sebagai bakteri halofilik. Probiotik starter untuk fermentasi garam tinggi, strain EFEL7002 menunjukkan karakteristik probiotik (D. H. Kim <i>et al.</i> , 2022)	Ya, beberapa strain memproduksi bakteriosin	Efek antioksidan, anti-inflamasi dalam makanan fermentasi garam tinggi (D. H. Kim <i>et al.</i> , 2022)	Dianggap aman dalam konteks makanan tradisional.

Lactiplantibacillus dan Levilactobacillus: Kandidat Probiotik Unggulan

Genus *Lactiplantibacillus* dan *Levilactobacillus*, yang sebelumnya termasuk dalam kelompok *Lactobacillus*, menonjol sebagai bakteri probiotik (Fidanza *et al.*, 2021) paling potensial dalam komunitas bakteri yang ditemukan pada naniura. Spesies yang berhasil diidentifikasi mencakup *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactiplantibacillus pentosus*, *Levilactobacillus brevis*, *Lactobacillus acetotolerans*, dan *Lactobacillus kitasatonis*.

Lactiplantibacillus plantarum dikenal luas sebagai salah satu spesies probiotik dengan kemampuan adaptasi yang tinggi dan merupakan salah satu yang paling banyak diteliti dalam berbagai studi ilmiah. Banyak strain dari spesies ini telah terbukti memberikan manfaat kesehatan, termasuk meredakan gejala *Irritable Bowel Syndrome* (IBS), membantu menurunkan kadar kolesterol, dan memodulasi sistem kekebalan tubuh. Bakteri ini ditemukan di berbagai habitat, termasuk saluran pencernaan manusia dan beragam jenis makanan fermentasi, menunjukkan adaptabilitasnya yang luar

biasa (Zare *et al.*, 2024). Salah satu keunggulan utamanya adalah kemampuannya menghasilkan bakteriosin, yang dikenal sebagai plantaricin. Senyawa ini memiliki aktivitas antimikroba yang kuat terhadap berbagai patogen bawaan makanan, sehingga memberikan fungsi biopreservatif alami dalam makanan fermentasi (Todorov, 2009). Selain itu, hal yang sangat penting terkait dengan aspek keamanan pada produk ikan fermentasi adalah bahwa beberapa strain *Lactiplantibacillus plantarum* terbukti mampu mendegradasi amina biogenik, yaitu senyawa yang berpotensi toksik seperti putresin, kadaverin, dan tiramin, melalui aktivitas enzim amino oksidase (Capozzi *et al.*, 2012).

Levilactobacillus brevis juga merupakan probiotik yang diakui dengan rekam jejak manfaat kesehatan, termasuk peningkatan fungsi imun dan kesehatan periodontal. Sebagai bakteri heterofermentatif obligat, *L. brevis* memfermentasi gula menghasilkan asam laktat, etanol atau asam asetat, dan karbon dioksida (CO₂), yang berkontribusi pada profil sensorik yang kompleks, termasuk rasa asam dan sedikit efervesen. Strain dari spesies ini menunjukkan ketahanan yang baik terhadap kondisi saluran pencernaan dan aktivitas antagonis terhadap patogen, menjadikannya kandidat probiotik yang valid (Okoth *et al.*, 2023).

Spesies lain seperti *Lactiplantibacillus pentosus* sangat berkerabat dekat dengan *L. plantarum* dan seringkali menunjukkan sifat probiotik dan teknologis yang serupa. =]merupakan salah satu spesies bakteri asam laktat yang memiliki potensi probiotik menjanjikan dan telah banyak diteliti karena kemampuannya dalam mendukung kesehatan saluran pencernaan serta menekan aktivitas mikroba patogen. Sejumlah studi menunjukkan bahwa *L. pentosus* memiliki kemampuan bertahan terhadap kondisi ekstrem saluran pencernaan, seperti keasaman lambung dan garam empedu, serta mampu beradhesi kuat pada sel epitel usus. Selain itu, beberapa strain seperti *L. pentosus* SLC13 diketahui memiliki aktivitas antimikroba dan anti-inflamasi yang signifikan terhadap *Helicobacter pylori* dengan menurunkan ekspresi gen interleukin-8 (IL-8), yang berperan dalam respon peradangan (Thuy *et al.*, 2022).

***Leuconostoc* dan *Lactococcus*: Peran Fungsional dalam Fermentasi dan Keamanan Pangan**

Genus *Leuconostoc* dan *Lactococcus* adalah BAL yang sangat penting dalam industri makanan, dan kehadiran mereka dalam Naniura menunjukkan peran fungsional yang signifikan. *Leuconostoc mesenteroides* dan *Leuconostoc citreum* adalah bakteri heterofermentatif yang dikenal sebagai inisiator fermentasi pada banyak produk sayuran, seperti sauerkraut dan kimchi. Mereka mampu tumbuh cepat pada tahap awal fermentasi, menghasilkan asam laktat untuk menurunkan pH, serta menghasilkan CO₂ dan etanol. Genus *Leuconostoc* merupakan bakteri yang tergolong GRAS (*Generally Recognized as Safe*), kehadirannya dianggap aman dan kemungkinan besar berkontribusi pada pembentukan profil rasa dan aroma Naniura pada tahap awal fermentasi (Sutcliffe *et al.*, 2022).

Lactococcus lactis adalah salah satu kultur starter yang paling banyak digunakan di industri susu untuk pembuatan keju dan mentega, dan juga memiliki status GRAS (Zapašnik *et al.*, 2022). Perannya yang paling signifikan dalam konteks keamanan pangan adalah kemampuannya untuk memproduksi nisin. Nisin adalah bakteriosin kelas I yang sangat kuat, dengan spektrum aktivitas yang luas terhadap banyak bakteri Gram-positif, termasuk patogen berbahaya seperti *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, dan spora *Clostridium botulinum*. Nisin disetujui sebagai pengawet makanan alami di banyak negara (Harshita, 2025). Kehadiran strain *L. lactis* penghasil nisin dalam Naniura, bahkan dalam jumlah yang relatif kecil, dapat memberikan kontribusi yang sangat besar terhadap keamanan mikrobiologis produk dengan secara aktif menekan pertumbuhan patogen Gram-positif yang mungkin masuk dari bahan baku atau lingkungan pengolahan.

***Weissella*: Potensi Probiotik dengan Catatan Keamanan**

Genus *Weissella*, khususnya *Weissella confusa*, semakin diakui perannya dalam berbagai makanan fermentasi, dari produk nabati hingga daging. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa strain *W. confusa* memiliki karakteristik probiotik yang menjanjikan. Ini termasuk ketahanan yang tinggi

terhadap pH rendah dan garam empedu, kemampuan adhesi pada sel usus, serta aktivitas antioksidan dan produksi eksopolisakarida (EPS) yang dapat memberikan manfaat fungsional (Lakra *et al.*, 2020; Thant *et al.*, 2024; Thuy *et al.*, 2022). Namun, genus *Weissella* berada dalam posisi yang ambigu. Tidak seperti *Lactobacillus* atau *Lactococcus*, *Weissella* belum mendapatkan status GRAS dari FDA AS atau QPS dari EFSA (Nath *et al.*, 2020). Keraguan terhadap keamanannya muncul akibat beberapa laporan yang menunjukkan bahwa *Weissella confusa* dapat bertindak sebagai patogen oportunistik, yang berpotensi menyebabkan infeksi serius seperti bakteremia, khususnya pada individu dengan sistem imun lemah atau memiliki penyakit bawaan tertentu (Fairfax *et al.*, 2014). Kondisi ini menjadikan *W. confusa* dikategorikan sebagai mikroorganisme yang bersifat kontroversial. Meskipun demikian, potensi probiotiknya sangat ditentukan oleh spesifisitas strain yang digunakan. Dengan demikian, setiap strain *W. confusa* yang diisolasi dari naniura perlu menjalani evaluasi keamanan komprehensif, termasuk analisis genomik untuk mendeteksi faktor virulensi, sebelum dapat dinyatakan layak untuk dikembangkan sebagai kandidat probiotik.

***Tetragenococcus*: Spesialis Lingkungan Salinitas Tinggi**

Keberadaan *Tetragenococcus halophilus* dalam komunitas mikrobiota Naniura memberikan indikasi penting mengenai kondisi mikro-lingkungan yang terbentuk selama proses fermentasi. Spesies ini dikenal sebagai bakteri halofilik atau halotoleran, yang mampu tumbuh optimal pada lingkungan dengan kandungan garam tinggi (He *et al.*, 2017). Kehadiran *T. halophilus* dapat menunjukkan adanya mikro-niche dengan konsentrasi garam lokal yang lebih tinggi di permukaan ikan atau kemampuannya beradaptasi terhadap berbagai bentuk stres lingkungan (S. Yao *et al.*, 2022). Meskipun perannya dalam Naniura mungkin tidak dominan dibandingkan dengan BAL lain, spesies ini berkontribusi pada pengembangan rasa melalui aktivitas proteolitik dan lipolitiknya dalam lingkungan yang sedikit asin.

Bakteri Kontroversial: Analisis Risiko dan Manfaat Genus *Enterococcus*

Genus *Enterococcus*, yang diwakili oleh *Enterococcus casseliflavus* dalam daftar bakteri Naniura, merupakan salah satu genus yang paling kontroversial dalam mikrobiologi pangan. *Enterococcus casseliflavus* merupakan salah satu spesies bakteri asam laktat yang memiliki posisi kontroversial dalam penelitian mikrobiologi dan kesehatan. Studi oleh Akbari *et al.* (2021) melaporkan bahwa *E. casseliflavus* yang diisolasi dari usus ikan mampu meningkatkan pertumbuhan dan respons imun ikan mas (*Cyprinus carpio*), serta menurunkan tingkat mortalitas setelah infeksi patogen. Selain itu, beberapa isolat diketahui menghasilkan metabolit antimikroba seperti bakteriosin dan asam organik yang dapat berperan sebagai agen biopreservatif dalam produk fermentasi (Sakoui *et al.*, 2024). Sebuah studi pada strain *E. casseliflavus* yang diisolasi dari saluran empedu manusia juga menunjukkan sifat-sifat probiotik yang menjanjikan, seperti aktivitas antimikroba spektrum luas dan kemampuan anti-inflamasi (X. Y. Li *et al.*, 2025). Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa bakteri ini memiliki potensi fungsional sebagai kultur pelindung maupun probiotik.

Penemuan BAL *E. casseliflavus* pada naniura menunjukkan bahwa suplementasi *Enterococcus casseliflavus* strain EC-001 mampu meningkatkan performa pertumbuhan, parameter hematologis/imun, dan menurunkan mortalitas setelah infeksi patogen *Aeromonas hydrophila* (Akbari *et al.*, 2021). Selain itu, *Enterococcus casseliflavus* dari ulat sutera menunjukkan kemampuan menghasilkan L-tryptofan dan menunjukkan potensi kolonisasi usus (Liang *et al.*, 2022). Namun demikian, beberapa *Enterococcus* spp. juga dilaporkan membawa resistensi antibiotik atau gen virulensi, sehingga keamanan harus ditelaah secara spesies/strain-spesifik (Pandova *et al.*, 2024).

Meskipun demikian, *E. casseliflavus* juga dikategorikan sebagai bakteri oportunistik yang dapat menyebabkan infeksi. Studi klinis oleh Choi *et al.* (2004) dan tinjauan oleh Yoshino *et al.* (2023) melaporkan kasus bakteremia dan endokarditis akibat *E. casseliflavus*, menunjukkan bahwa meskipun jarang, spesies ini memiliki potensi patogenik yang nyata. Risiko utama dari genus ini berkaitan dengan keberadaan gen *vanC* yang memberikan sifat resistensi intrinsik tingkat rendah terhadap antibiotik

vancomycin. Meskipun tingkat resistensinya tidak sekuat yang ditemukan pada *E. faecium* atau *E. faecalis*, keberadaan gen tersebut tetap menjadi perhatian penting dalam upaya pengendalian resistensi antimikroba (Yoshino *et al.*, 2023).

Kesimpulan

Hasil analisis menunjukkan dominasi BAL dalam komunitas mikroba Naniura. Jenis BAL *Lactiplantibacillus plantarum* dan *Levilactobacillus brevis* terindikasi lebih unggul sebagai kandidat probiotik. Studi literatur mengonfirmasi bahwa banyak strain dari kedua spesies ini memiliki rekam jejak yang kuat dalam meningkatkan kesehatan pencernaan, memodulasi sistem imun, dan menghasilkan senyawa antimikroba. Genus fungsional lain seperti *Enterococcus*, *Leuconostoc*, *Lactococcus*, dan *Weissella* juga teridentifikasi, yang berkontribusi pada pembentukan rasa dan biopreservasi. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa Naniura merupakan reservoir yang sangat menjanjikan untuk isolasi strain BAL probiotik unggulan yang telah teradaptasi pada kondisi asam ekstrem.

References

- Adesulu-Dahunsi, A. T., Dahunsi, S. O., & Ajayeoba, T. A. (2022). Co-occurrence of Lactobacillus Species During Fermentation of African Indigenous Foods: Impact on Food Safety and Shelf-Life Extension. *Frontiers in Microbiology*, 13(April), 1–14.
- Akbari, H., Shekrabi, S. P. H., Soltani, M., & Mehran, M. S. (2021). Effects of Potential Probiotic *Enterococcus casseliflavus* (EC-001) on Growth Performance, Immunity, and Resistance to *Aeromonas hydrophila* Infection in Common Carp (*Cyprinus carpio*). *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 13(5), 1316–1325.
- Aloysius, A., Ulfa, A., Situmorang, A. K. F., Harmileni, & Fachrial, E. (2019). AKTIVITAS ANTIMIKROBA BAKTERI ASAM LAKTAT YANG DIISOLASI DARI MAKANAN TRADISIONAL FERMENTASI KHAS BATAK “NANIURA.” *BIOLINK (Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan)*, 6(1), 8–15.
- Bodor, A., Bounedjoum, N., Vincze, G. E., Erdeiné Kis, Á., Laczi, K., Bende, G., Szilágyi, Á., Kovács, T., Perei, K., & Rákhely, G. (2020). Challenges of unculturable bacteria: environmental perspectives. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 19(1), 1–22.
- Capozzi, V., Russo, P., Ladero, V., Fernández, M., Fiocco, D., Alvarez, M. A., Grieco, F., & Spano, G. (2012). Biogenic amines degradation by *Lactobacillus plantarum*: Toward a potential application in wine. *Frontiers in Microbiology*, 3(APR), 1–6.
- Capri, F. C., Gaglio, R., Botta, L., Settanni, L., & Alduina, R. (2024). Selection of starter lactic acid bacteria capable of forming biofilms on wooden vat prototypes for their future application in traditional Sicilian goat's milk cheese making. *International Journal of Food Microbiology*, 419(May), 110752.
- Chan, S. X. Y., Fitri, N., Mio Asni, N. S., Sayuti, N. H., Azlan, U. K., Qadi, W. S. M., Dawoud, E. A. D., Kamal, N., Sarian, M. N., Mohd Lazaldin, M. A., Low, C. F., Harun, S., Hamezah, H. S., Rohani, E. R., & Mediani, A. (2023). A Comprehensive Review with Future Insights on the Processing and Safety of Fermented Fish and the Associated Changes. *Foods*, 12(3).
- Choi, S. H., Lee, S. O., Kim, T. H., Chung, J. W., Choo, E. J., Kwak, Y. G., Kim, M. N., Kim, Y. S., Woo, J. H., Ryu, J., & Kim, N. J. (2004). Clinical Features and Outcomes of Bacteremia Caused by *Enterococcus casseliflavus* and *Enterococcus gallinarum*: Analysis of 56 Cases. *Clinical Infectious Diseases*, 38(1), 53–61.

- Colautti, A., Arnoldi, M., Comi, G., & Iacumin, L. (2022). Antibiotic resistance and virulence factors in lactobacilli: something to carefully consider. *Food Microbiology*, 103(February 2021), 103934.
- Dimofte, A., Simionescu, N., Petrovici, A. R., & Spiridon, I. (2022). Probiotic Properties of *Weissella confusa* PP29 on *Hibiscus sabdariffa* L. *Media. Fermentation*, 8(10).
- Fairfax, M. R., Lephart, P. R., & Salimnia, H. (2014). *Weissella confusa*: Problems with identification of an opportunistic pathogen that has been found in fermented foods and proposed as a probiotic. *Frontiers in Microbiology*, 5(JUN), 1–5.
- Feng, R., Chen, L., & Chen, K. (2018). Fermentation trip: amazing microbes, amazing metabolisms. *Annals of Microbiology*, 68(11), 717–729.
- Fidanza, M., Panigrahi, P., & Kollmann, T. R. (2021). *Lactiplantibacillus plantarum*–Nomad and Ideal Probiotic. *Frontiers in Microbiology*, 12(October), 1–13.
- Hang, M. (2021). The probiotic potential of lactic acid bacteria (LAB) isolated from naniura (a traditional Batak food). *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary Journal*, 4(1), 68–74.
- Harshita. (2025). Bioactive Peptides from Fermented Foods as Natural Antimicrobials and Antioxidants. *Acta Pharma Reports*, 4(1), 20–25. <https://doi.org/10.51470/apr.2025.04.01.20>
- He, G., Deng, J., Wu, C., & Huang, J. (2017). A partial proteome reference map of *Tetragenococcus halophilus* and comparative proteomic and physiological analysis under salt stress. *RSC Advances*, 7(21), 12753–12763.
- Jurášková, D., Ribeiro, S. C., Bastos, R., Coelho, E., Coimbra, M. A., & Silva, C. C. G. (2024). Exopolysaccharide (EPS) Produced by *Leuconostoc mesenteroides* SJC113: Characterization of Functional and Technological Properties and Application in Fat-Free Cheese. *Macromol*, 4(3), 680–696.
- Kim, D. H., Kim, S. A., Jo, Y. M., Seo, H., Kim, G. Y., Cheon, S. W., Yang, S. H., Jeon, C. O., & Han, N. S. (2022). Probiotic potential of *Tetragenococcus halophilus* EFEL7002 isolated from Korean soy Meju. *BMC Microbiology*, 22(1), 1–17.
- Kim, K. T., Yang, S. J., & Paik, H. D. (2021). Probiotic properties of novel probiotic *Levilactobacillus brevis* KU15147 isolated from radish kimchi and its antioxidant and immune-enhancing activities. *Food Science and Biotechnology*, 30(2), 257–265.
- Kondrotiene, K., Zavistanaviciute, P., Aksomaitiene, J., Novoslavskij, A., & Malakauskas, M. (2024). *Lactococcus lactis* in Dairy Fermentation—Health-Promoting and Probiotic Properties. *Fermentation*, 10(1), 1–39.
- Košir, A. B., Lužnik, D., & Tomič, V. (2023). Evaluation of DNA Extraction Methods for Reliable Biosensors, 13(463), 1–15.
- Koutsoumanis, K., Allende, A., Alvarez-Ordóñez, A., Bolton, D., Bover-Cid, S., Chemaly, M., Davies, R., De Cesare, A., Hilbert, F., Lindqvist, R., Nauta, M., Peixe, L., Ru, G., Simmons, M., Skandamis, P., Suffredini, E., Cocconcelli, P. S., Fernández Escámez, P. S., Maradona, M. P., ... Herman, L. (2020). Update of the list of QPS-recommended biological agents intentionally added to food or feed as notified to EFSA 12: suitability of taxonomic units notified to EFSA until March 2020. *EFSA Journal*, 18(7).
- Kwon, S. Y., Yoon, J. A., Kim, G. Y., Bae, Y. W., Park, E. H., & Kim, M. D. (2024). Isolation of a Potential Probiotic *Levilactobacillus brevis* and Evaluation of Its Exopolysaccharide for Antioxidant and α -Glucosidase Inhibitory Activities. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34(1), 167–175.
- Lakra, A. K., Domdi, L., Hanjon, G., Tilwani, Y. M., & Arul, V. (2020). Some probiotic potential of *Weissella confusa* MD1 and *Weissella cibaria* MD2 isolated from fermented batter. *Lwt*, 125(October 2019), 109261.
- Lee, I. K., Chang, J. P., Huang, W. C., Tai, C. H., Wu, H. T., & Chi, C. H. (2022). Comparative of clinical performance between next-generation sequencing and standard blood culture diagnostic

- method in patients suffering from sepsis. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, 55(5), 845–852.
- Li, S., Zheng, A., Chen, Z., Wang, X., Chen, J., Zou, Z., & Liu, G. (2025). Lactobacillus plantarum-Derived Inorganic Polyphosphate Regulates Immune Function via Inhibiting M1 Polarization and Resisting Oxidative Stress in Macrophages. *Antioxidants*, 14(4).
- Li, X. Y., Liu, Y., Weng, S. N., Chen, W., Ju, G., Peng, C. Y., Zhou, Q., Yao, J., & Tang, W. (2025). Phenotypic and genomic analyses of the probiotic *Enterococcus casseliflavus* SHAMU-QH-02. *Frontiers in Microbiology*, 16(August), 1–15.
- Liang, X., He, J., Zhang, N., Muhammad, A., Lu, X., & Shao, Y. (2022). Probiotic potentials of the silkworm gut symbiont *Enterococcus casseliflavus* ECB140, a promising L-tryptophan producer living inside the host. *Journal of Applied Microbiology*, 133(3), 1620–1635.
- Marlida, Y., Susalam, M. K., Harnentis, H., Jamsari, J., Huda, N., Noordin, W. N. M., Anggraini, L., & Ardani, L. R. (2023). Metagenomic analysis and biodiversity of bacteria in traditional fermented fish or Budu from West Sumatera, Indonesia. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 10(4), 801–808.
- Merenstein, D., Pot, B., Leyer, G., Ouwehand, A. C., Preidis, G. A., Elkins, C. A., Hill, C., Lewis, Z. T., Shane, A. L., Zmora, N., Petrova, M. I., Collado, M. C., Morelli, L., Montoya, G. A., Szajewska, H., Tancredi, D. J., & Sanders, M. E. (2023). Emerging issues in probiotic safety: 2023 perspectives. *Gut Microbes*, 15(1), 1–22.
- Nath, S., Roy, M., Sikidar, J., & Deb, B. (2020). Evaluation of the Probiotic Potential of *Weissella Confusa* Isolated From Traditional Fermented Rice.
- Ngasotter, S., Waikhom, D., Mukherjee, S., Devi, M. S., & Singh, A. S. (2020). Diversity of Lactic Acid Bacteria (LAB) in Fermented Fish Products: A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(5), 2238–2249.
- Nuraida, L. (2015). A review: Health promoting lactic acid bacteria in traditional Indonesian fermented foods. *Food Science and Human Wellness*, 4(2), 47–55.
- Okoth, R. A., Matofari, J. W., & Nduko, J. M. (2023). Characterization of potential probiotic and safety properties of *Levilactobacillus brevis* isolated from traditionally fermented milk, Amabere amaruranu. *Journal of Food Safety and Hygiene*, 2.
- Pandova, M., Kizheva, Y., Tsenova, M., Rusinova, M., Borisova, T., & Hristova, P. (2024). Pathogenic Potential and Antibiotic Susceptibility: A Comprehensive Study of Enterococci from Different Ecological Settings. *Pathogens*, 13(1).
- Peres Fabbri, L., Cavallero, A., Vidotto, F., & Gabriele, M. (2024). Bioactive Peptides from Fermented Foods: Production Approaches, Sources, and Potential Health Benefits. *Foods*, 13(21).
- Plavec, T. V., & Berlec, A. (2020). Safety Aspects of Genetically Modified Lactic Acid Bacteria. *Microorganism*, 8(2), 297.
- Rubak, Y. T., Nuraida, L., Iswantini, D., & Prangdimurti, E. (2022). Angiotensin-I-Converting Enzyme Inhibitory Peptides in Goat Milk Fermented by Lactic Acid Bacteria Isolated from Fermented Food and Breast Milk. *Food Science of Animal Resources*, 42(1), 46–60.
- Sakoui, S., Derdak, R., Pop, O. L., Vodnar, D. C., Jouga, F., Teleky, B. E., Addoum, B., Simon, E., Suharoschi, R., Soukri, A., & El Khalfi, B. (2024). Exploring Technological, Safety and Probiotic Properties of *Enterococcus* Strains: Impact on Rheological Parameters in Fermented Milk. *Foods*, 13(4).
- Setiarto, R. H. B., & Herlina, V. T. (2024). Exploring bekasam, an indigenous fermented fish product of Indonesia: original South Sumatra region. *Journal of Ethnic Foods*, 11(1).

- Sharma, A., Lee, S., & Park, Y. S. (2020). Molecular typing tools for identifying and characterizing lactic acid bacteria: a review. In *Food Science and Biotechnology* (Vol. 29, Issue 10, pp. 1301–1318). The Korean Society of Food Science and Technology.
- Simanjuntak, R., & Naibaho, B. (2023). Karakterisasi Bakteri Asam Laktat dari Dengke Naniura. *Jurnal Riset Teknologi Pangan Dan Hasil Pertanian (RETIPA)*, 4, 61–69.
- Simanjuntak, R., & Naibaho, B. (2024). Identifikasi Bakteri yang Menguntungkan dan Merugikan dari Dengke Naniura. *Jurnal Riset Teknologi Pangan Dan Hasil Pertanian (RETIPA)*, 4(2), 92–99.
- Sreepathi, N., Kumari, V. B. C., Huligere, S. S., Al-Odayni, A.-B., Lasehinde, V., Jayanthi, M. K., & Ramu, R. (2023). Screening for potential novel probiotic *Levilactobacillus brevis* RAMULAB52 with antihyperglycemic property from fermented *Carica papaya* L. *Frontiers in Microbiology*, 14.
- Su, H., Guo, Y., Cheng, H., Hu, S., Zhang, P., & Yang, Z. (2024). Probiotic and fermentation properties of *Leuconostoc mesenteroides* strain I1/53 from sugarcane juice by a multi-omics approach. *Lwt*, 211(May), 116897.
- Surbakti, F., & Hasanah, U. (2021). IDENTIFIKASI DAN KARAKTERISASI BAKTERI ASAM LAKTAT PADA ACAR KETIMUN (*Cucumis sativus* L.) SEBAGAI AGENSI PROBIOTIK. *Jurnal Teknologi Pangan Dan Kesehatan (The Journal of Food Technology and Health)*, 1(1), 31–37.
- Sutcliffe, I., Gomila, M., Felis, G. E., Gupta, R. S., Raimondi, S., Candeliere, F., Amaretti, A., Costa, S., Vertuani, S., Spampinato, G., & Rossi, M. (2022). Phylogenomic analysis of the genus *Leuconostoc*. *Frontiers in Microbiology*.
- Tamang, J. P., Shin, D. H., Jung, S. J., & Chae, S. W. (2016). Functional properties of microorganisms in fermented foods. *Frontiers in Microbiology*, 7(APR), 1–13.
- Tamang, J. P., Watanabe, K., & Holzapfel, W. H. (2016). Review: Diversity of microorganisms in global fermented foods and beverages. *Frontiers in Microbiology*, 7(MAR). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00377>
- Thant, E. P., Surachat, K., Chusri, S., Romyasamit, C., Pomwised, R., Wonglapsuwan, M., Yaikhan, T., Suwannasin, S., & Singkhamanan, K. (2024). Exploring *Weissella confusa* W1 and W2 Strains Isolated from Khao-Mahk as Probiotic Candidates: From Phenotypic Traits to Genomic Insights. *Antibiotics*, 13(7).
- Thuy, T. T. D., Kuo, P. Y., Lin, S. M., & Kao, C. Y. (2022). Anti-*Helicobacter pylori* activity of potential probiotic *Lactiplantibacillus pentosus* SLC13. *BMC Microbiology*, 22(1), 1–11.
- Todorov, S. D. (2009). Bacteriocins from *Lactobacillus plantarum* production, genetic organization and mode of action: produção, organização genética e modo de ação. *Brazilian Journal of Microbiology*, 40(2), 209–221.
- Venegas-Ortega, M. G., Flores-Gallegos, A. C., Martínez-Hernández, J. L., Aguilar, C. N., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2019). Production of Bioactive Peptides from Lactic Acid Bacteria: A Sustainable Approach for Healthier Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1039–1051.
- Voidarou, C., Antoniadou, M., Rozos, G., Tzora, A., Skoufos, I., Varzakas, T., Lagiou, A., & Bezirtzoglou, E. (2021). Fermentative foods: Microbiology, biochemistry, potential human health benefits and public health issues. *Foods*, 10(1), 1–27.
- Wang, Y., Wu, J., Lv, M., Shao, Z., Hungwe, M., Wang, J., Bai, X., Xie, J., Wang, Y., & Geng, W. (2021). Metabolism Characteristics of Lactic Acid Bacteria and the Expanding Applications in Food Industry. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9.
- Yao, Q., Zhang, W., Wang, Y., Shi, L., Zhao, Y., Liang, J., Zhao, Y., Kang, J., Zheng, X., Guo, R., Yuan, T., She, Y., & Liu, Z. (2025). *Lactobacillus plantarum* and Galacto-Oligosaccharides Synbiotic Relieve Irritable Bowel Syndrome by Reshaping Gut Microbiota and Attenuating Mast Cell Hyperactivation. *Nutrients*, 17(10), 1–19.

- Yao, S., Hao, L., Zhou, R., Jin, Y., Huang, J., & Wu, C. (2022). Formation of Biofilm by *Tetragenococcus halophilus* Benefited Stress Tolerance and Anti-biofilm Activity Against *S. aureus* and *S. Typhimurium*. *Frontiers in Microbiology*, 13(March), 1–15.
- Yoshino, Y. (2023). *Enterococcus casseliflavus* Infection: A Review of Clinical Features and Treatment. *Infection and Drug Resistance*, 16(January), 363–368. <https://doi.org/10.2147/IDR.S398739>
- Zapaśnik, A., Sokołowska, B., & Bryła, M. (2022). Role of Lactic Acid Bacteria in Food Preservation and Safety. *Foods*, 11(9), 1–17.
- Zare, D., Aryaee, H., Mirdamadi, S., & Shir Khan, F. (2024). The Benefits and Applications of *Lactobacillus plantarum* in Food and Health: A Narrative Review. *Iranian Journal of Public Health*, 53(10), 2201–2213.
- Zheng, M., Ma, M., Wang, L., Yang, X., Zhang, Y., Man, C., Zhao, Q., & Jiang, Y. (2023). *Lactobacillus plantarum* J26 postbiotics alleviate high-fat and high-cholesterol diet-induced hypercholesterolemia via regulating the LXR α -CYP7A1-bile acid-excretion pathway. *Food Frontiers*, 4(4), 2045–2057.