

Kajian Pustaka: Bakteri Asam Laktat Halotoleran: Prospek Pengembangan Metoda Baru Untuk Menekan Pembentukan Histamin pada Hasil Laut

Luh Nyoman Ary Metta Andriani ^a, Anak Agung Sagung Alit Sukmaningsih ^a, Yan Ramona ^{a,b*}

^a Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Kabupaten Badung, Provinsi Bali-Negara Indonesia

^b Laboratorium Terpadu Biosains dan Bioteknologi, Universitas Udayana, Kabupaten Badung, Provinsi Bali-Negara Indonesia

*Email: yan_ramona@unud.ac.id

Diterima (received) 24 Juni 2024; disetujui (accepted) 30 Agustus 2024.; tersedia secara online (available online) 7 September 2024.

Abstract

Histamine is an amine biogenic compound, frequently reported to cause poisoning among people who consume fishes with high level of histamine. Such compound is produced by histamine producing bacteria (HPB) belong to family of Enterobacteriaceae. Histidine decarboxylase produced by HPB plays a central role to convert free histidine in the fish meat into histamine, resulting in accumulation of histamine in the fish meat. Many efforts, including low temperature storage, ozone, and brine treatment) have been applied to cope with/prevent histamine accumulation in seafood products. However, those methods have some disadvantages, such as costly or have potential to change texture or structure of the products being preserved. In this review therefore, some aspects (including application of lactic acid bacteria (LAB) to control histamine production, characteristics of LAB required, tolerance of LAB to high level of salt, and the role of LAB to suppress HPB growth, and suppression of histamine production) are comprehensively reviewed. All information was extracted from related scientific articles published in the last decade.

Keywords: *allergy; biogenic agent; histidine decarboxylase; lactic acid bacteria; tuna*

Abstrak

Histamin merupakan senyawa amina biogenik yang sering menyebabkan masalah keracunan pada manusia yang mengkonsumsi produk perikanan yang mengandung histamin konsentrasi tinggi. Senyawa ini dihasilkan oleh kelompok bakteri penghasil histamin (BPH) yang termasuk ke dalam famili Enterobacteriaceae. Enzim histidin dekarboksilase yang dihasilkan BPH berperan penting dalam mengubah histidin bebas pada daging ikan menjadi histamin, sehingga terjadi akumulasi histamin pada daging ikan. Berbagai upaya penanggulangan/pencegahan produksi histamin (seperti penyimpanan produk perikanan pada temperatur rendah, ozonisasi, penambahan garam konsentrasi tinggi) telah banyak dilakukan. Namun, metoda yang telah diterapkan mempunyai berbagai kelemahan, seperti biaya penyimpanan yang mahal serta merubah struktur produk yang diawetkan. Pada tulisan ini, pemanfaatan BAL dalam mengontrol produksi histamin, Karakteristik BAL yang diperlukan, Ketahanan Bakteri Asam Laktat Terhadap Variasi Kadar Garam, serta peran BAL dalam menekan pertumbuhan BPH dan produksi histamin ditelaah secara komprehensif. Semua informasi yang diperlukan dalam tulisan ini diekstrak dari berbagai artikel terkait yang dipublikasikan pada jurnal-jurnal ilmiah bereputasi yang diterbitkan dalam 1 dekade ini.

Kata Kunci: *alergi; agen biogenik; histidin dekarboksilase; bakteri asam laktat; tuna*

doi: <https://doi.org/10.24843/blje.2024.v024.i02.p02>



© 2019 by the authors; Content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 licence. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI. Published under licence by Udayana University, Indonesia.

1. Pendahuluan

Bakteri asam laktat (BAL) merupakan kelompok mikroorganisme yang dapat menghasilkan sejumlah senyawa antibakteri, seperti asam organik, hidrogen peroksida (H₂O₂), dan bakteriosin (Widodo, 2017). Dalam proses fermentasi, BAL dikenal sebagai *generally recognized as safe* (GRAS) mikroorganisme karena karakteristiknya yang aman untuk dikonsumsi (Carboni *et al.*, 2023). Selain itu, BAL juga dapat memperkaya nutrisi atau nilai gizi bahan pangan, sehingga akan memberi manfaat menyehatkan bagi orang yang mengkonsumsinya (Steele *et al.*, 2013). Dalam dekade terakhir, BAL mulai banyak dipakai sebagai komponen pengawet bahan pangan alami, karena kemampuannya dalam menghasilkan senyawa antimikroba. Bakteri asam laktat diharapkan dapat menjadi pelengkap metoda pengawetan dengan penggaraman yang secara umum sudah dilakukan dalam dunia perikanan (Nurdiani *et al.*, 2022). Secara tradisional proses penggaraman dilakukan oleh nelayan untuk mengawetkan produk perikanan (Nurdiani *et al.*, 2022). Garam merupakan pengawet kimiawi (Ananda *et al.*, 2022) yang dalam penerapannya digunakan untuk merendam ikan hasil panen, sehingga masa simpannya menjadi lebih panjang (Jasila and Ramli, 2021). Umumnya, konsentrasi garam yang digunakan dapat mencapai 30% - 35% (Naiu *et al.*, 2018).

Penggunaan garam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan perubahan tekstur dan warna ikan yang diawetkan (Saraswati *et al.*, 2022). Selain itu, garam dapat menimbulkan permasalahan pada kesehatan manusia, seperti meningkatkan tekanan darah pada penderita hipertensi. Menurut Aisyah *et al.* (2022), konsumsi garam berlebih dapat memperparah penyakit degeneratif seperti penyakit jantung, penyempitan pembuluh darah, penyakit penurunan gizi, nekrosis, dan obesitas. Oleh karena itu, penggunaan garam dalam proses pengawetan produk perikanan harus dikurangi dan perlu diteliti metode alternatifnya.

Pemanfaatan bakteri asam laktat (BAL) dalam menekan pertumbuhan bakteri penghasil enzim histidin dekarboksilase yang telah dilaporkan oleh Ramona *et al.* (2023). Berdasarkan laporan tersebut disebutkan bahwa BAL dari spesies *Lactiplantibacillus plantarum* sangat efektif dalam menekan pertumbuhan dan menekan pembentukan histamin pada ikan tuna. Spesies lain dari BAL yaitu *Lactobacillus plantarum* (Zhang *et al.*, 2022), *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides* (Domingos-Lopes *et al.*, 2020) dan *Lactobacillus casei* (Pištěková *et al.*, 2020) juga dilaporkan sangat efektif dalam menekan pembentukan histamin pada produk perikanan, terutama dari kelompok *Scombridae*. Pemakaian BAL yang dikombinasi dengan kadar garam rendah diharapkan dapat menekan pertumbuhan bakteri kelompok *Enterobacteriaceae* yang mengkontaminasi ikan pada fase post mortemnya, sehingga penggunaan garam dalam proses pengawetan ikan dapat dikurangi.

Berdasarkan pada latar belakang tersebut, maka pada kajian pustaka (*literature review*) ini dirangkum aspek-aspek terkait tentang toleransi bakteri asam laktat terhadap kadar garam dan potensinya sebagai biopreservatif dan probiotik. Penekanan dalam penulisan ini adalah kemampuan BAL dalam mentoleransi kadar garam yang relatif tinggi, sehingga diperoleh informasi komprehensif tentang kemungkinan dipakainya BAL dalam proses pengawetan ikan yang tanpa merusak tekstur dan tampilannya sebelum ikan tersebut dapat dipasarkan. Penulisan kajian pustaka ini mengacu pada artikel-artikel ilmiah dari jurnal-jurnal bereputasi yang diterbitkan dalam 10 tahun terakhir.

2. Metode Penelitian

Artikel-artikel ilmiah dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris diambil dari berbagai sumber, seperti www.google.com, www.sciencedirect.com, dan sumber lain yang valid. Kata kunci pencarian yang digunakan adalah bakteri asam laktat; pengaruh garam dalam pertumbuhan bakteri asam laktat; ketahanan bakteri asam laktat terhadap garam; *food grade microorganism*; *salt*; *salt tolerance*; *lactic acid bacteria*, *Lactobacillus* sp., *Lactococcus* sp., *Pediococcus* sp., *Weissella* sp, histamin, sifat histamin, histamin pada ikan, batas maksimum cemaran histamin pada ikan, biopreservatif, bakteriosin, probiotik, dan syarat probiotik. Seluruh artikel ilmiah diunduh, disortir, dan ditelaah bila berkaitan dengan topik tulisan ini.

3. Pembahasan

3.1 Bakteri asam laktat

Bakteri asam laktat (BAL) merupakan kelompok bakteri gram-positif, tidak berspora, berbentuk bulat atau batang, anaerob fakultatif, dan non motil (Nurhamidah *et al.*, 2019; Syah, 2022). Bakteri asam laktat optimal pertumbuhannya pada suhu 37°C, dan mampu tumbuh pada suhu 10°C sampai 45°C (Azhar *et al.*, 2020). Bakteri asam laktat dapat tumbuh pada pH 3,8 dan bersifat proteolitik dengan kebutuhan asam amino yang sangat spesifik (Widodo, 2017). Beberapa genera yang termasuk BAL antara lain *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Leuconostoc*, *Carnobacterium*, *Onococcus*, *Pediococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus*, dan *Weissella* (Plavec & Berlec, 2020).

Bakteri asam laktat berperan penting dalam proses fermentasi karena berperan dalam memperpanjang masa simpan makanan dengan cara menghambat pertumbuhan mikroba patogen (Nurhamidah *et al.*, 2019). Bakteri asam laktat yang terdapat di dalam bahan makanan hasil fermentasi dapat dikonsumsi karena BAL termasuk bakteri yang dikategorikan sebagai *foodgrade microorganism*, sehingga aman bagi kesehatan manusia (Zairinayati *et al.*, 2020).

Proses fermentasi yang dilakukan oleh BAL dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kondisi anaerobik, konsentrasi garam, dan suhu yang dapat mendukung pertumbuhan BAL tersebut (Hamidah *et al.*, 2019; Malaka *et al.*, 2023). Berdasarkan produk fermentasi yang dihasilkan oleh BAL, kelompok bakteri ini dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu kelompok BAL homofermentatif dan kelompok BAL heterofermentatif (Finanda *et al.*, 2021). Kelompok BAL homofermentatif adalah kelompok BAL yang hanya menghasilkan asam laktat sebagai produk utamanya dengan menggunakan jalur *Embden Meyerhof Parnas* (EMP) dalam proses fermentasi nya (Pradana *et al.*, 2022). Sedangkan, kelompok BAL heterofermentatif adalah kelompok BAL yang menghasilkan asam laktat, CO₂, dan etanol dari heksosa (Sine, 2022). Kelompok heterofermentatif memfermentasikan glukosa melalui jalur fosfoketolase (Nurhamidah *et al.*, 2019; Okoye *et al.*, 2022).

3.2 Histamin pada produk perikanan

Produk perikanan merupakan produk unggulan yang mengandung sumber nutrisi termasuk protein, vitamin, dan mineral (Ashraf *et al.*, 2020). Oleh karena itu, produk perikanan ini sangat mudah terkontaminasi dan mengalami kerusakan pada fase post mortemnya (Kuley *et al.*, 2017). Senyawa pembusuk seperti asam organik (aldehid dan keton), alkohol, sulfida, serta senyawa amina biogenik (histamin, tiramin, kadaverina, *putrescine*) sangat sering ditemukan pada ikan yang mengalami pembusukan (Visciano *et al.*, 2020; Weremfo *et al.*, 2020). Diantara senyawa-senyawa tersebut, histamin merupakan senyawa yang mendapat perhatian khusus pada ikan terutama yang akan diekspor.

Histamin yang bersifat sangat stabil pada temperatur tinggi merupakan senyawa beracun yang paling umum mengkontaminasi ikan (Oktariani *et al.*, 2022), sehingga keberadaannya pada produk perikanan akan tetap stabil, walaupun sudah diproses seperti dimasak, dibekukan, atau dikalengkan (Chung *et al.*, 2017; Visciano *et al.*, 2020; Ramona *et al.*, 2023). Batas standar keamanan histamin pada produk ikan sudah ditetapkan dengan tujuan untuk menghindari tingkat histamin berlebih pasca konsumsi. *The Food and Drug Administration* (FDA) menetapkan batas maksimum kandungan histamin adalah 5.0 mg/100 g (50ppm) pada produk ikan (Koral *et al.*, 2023). Sementara itu, Uni Eropa menetapkan kandungan histamin dalam ikan maksimal sebesar 10 mg/100 g (100 ppm) (Tahya *et al.*, 2023).

Histamin adalah senyawa amina biogenik yang dibentuk dari proses konversi histidin menjadi histamin yang dikatalis oleh enzim histidin dekarboksilase (HDC). Enzim ini dibentuk oleh gen *hdc* yang dimiliki oleh bakteri pembentuk histamin (Nevado *et al.*, 2023). Konversi histidin menjadi histamin digunakan oleh bakteri pembentuk histamin (BPH) untuk mengatur pH lingkungannya (Ferrario *et al.*, 2014; DeBeer *et al.*, 2021). Kadar histamin yang dibentuk oleh BPH cenderung mengalami peningkatan selama penyimpanan ikan karena enzim HDC masih tetap aktif walaupun produk perikanan tersebut disimpan pada suhu rendah. Menurut Visciano *et al.* (2020), tingkat akumulasi histamin pada ikan tergantung pada ketersediaan senyawa histidin bebas pada daging ikan, pertumbuhan dan aktivitas BPH,

serta faktor lingkungan yang mendukung pertumbuhan BPH. Faktor lingkungan yang mempengaruhi aktivitas BPH pada ikan antara lain suhu, pH, ketersediaan air dan O₂, dan konsentrasi NaCl (Visciano *et al.*, 2020; Meng *et al.*, 2023). Bakteri pembentuk histamin umumnya berasal dari kelompok *Enterobacteriaceae* yang termasuk bakteri mesofilik dan psikrotoleran. Beberapa genera yang termasuk kedalam BPH antara lain *Morganella*, *Photobacterium*, *Proteus*, *Enterobacter*, *Hafnia*, *Pseudomonas* spp. Beberapa strain dari BAL seperti *Lactobacillus* dan *Enterococcus* juga dilaporkan dapat membentuk histamin (Oktariani *et al.*, 2022; Visciano *et al.*, 2020).

3.3 Pengendalian kadar histamin pada produk perikanan

Kadar histamin pada ikan dapat ditekan dengan cara menghambat pertumbuhan bakteri pembentuk histamin (BPH). Penggaraman atau menambahkan garam merupakan salah satu metode yang paling umum dipakai untuk menghambat pertumbuhan bakteri pembentukan histamin pada ikan. Penerapan penggaraman dengan konsentrasi tinggi sudah menjadi tradisi di masyarakat (Naiu *et al.*, 2018; Ramona *et al.*, 2023). Namun, BPH yang halofilik masih dapat ditemukan pada ikan yang dipelakukan dengan garam sampai konsentrasi 5% (Hamidah *et al.*, 2019).

Metode lain yang sering digunakan untuk mengendalikan pertumbuhan BPH adalah menurunkan temperatur penyimpanan dibawah titik beku air, sehingga nilai aktivitas air (AW) mendekati nol (DeBeer *et al.*, 2021). Pada kondisi beku, BPH tidak menunjukkan aktivitas pertumbuhan, walaupun enzim HDC yang sudah dilepas pada daging ikan masih tetap aktif sampai temperatur 15°C (DeBeer *et al.*, 2021).

3.4 Pemanfaatan BAL dalam mengontrol produksi histamin

Pemanfaatan bakteri asam laktat (BAL) dalam menekan pertumbuhan Bakteri Penghasil Histamin (BPH) telah dilaporkan oleh Ramona *et al.* (2023). Dalam laporannya disebutkan bahwa BAL dari spesies *Lactiplantibacillus plantarum* yang dikombinasikan dengan garam (sampai konsentrasi 4% b/v) sangat efektif dalam menekan pertumbuhan dan pembentukan histamin pada ikan tuna. Spesies BAL lain seperti *Lactobacillus plantarum* (Chen *et al.*, 2022), *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides* (Domingos-Lopes *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2022) dan *Lactobacillus casei* (Pištěková *et al.*, 2020) juga dilaporkan berpotensi dalam menghambat BPH dan menekan histamin pada produk perikanan.

Penelitian serupa yang menyatakan bahwa bakteri asam laktat (BAL) sangat efektif dalam menghambat pertumbuhan BPH juga telah dilaporkan oleh Rocha-Ramírez *et al.* (2023). Dalam laporan tersebut dinyatakan bahwa *Lactobacillus casei* berperan penting dalam menghambat pertumbuhan *Escherichia coli* yang berpotensi dalam menghasilkan histamin pada daging ikan (Rocha-Ramírez *et al.*, 2023). Kemampuan *Lactobacillus plantarum* dan *Lactobacillus fermentatum* dalam menghambat pertumbuhan *Morganella morganii* juga dilaporkan oleh Karaseva *et al.* (2022).

Penghambatan atau penekanan produksi histamin oleh BPH yang berasosiasi dengan BAL pada produk perikanan disebabkan oleh beberapa kemungkinan, seperti senyawa antibakteri yang dihasilkan oleh BAL. Senyawa-senyawa toksik tersebut dapat berupa asam laktat dan senyawa-senyawa antimikroba lain seperti diasetil, hidrogen peroksida, bakteriosin, dan reuterin (Riadi *et al.*, 2020). Asam laktat yang dihasilkan oleh BAL akan menurunkan pH lingkungan dan berperan penting dalam menghambat pertumbuhan bakteri patogen (Manalu *et al.*, 2020). Pada kondisi pH rendah, kematian bakteri penghasil enzim HDC disebabkan oleh ketidakmampuan bakteri-bakteri tersebut dalam mempertahankan pH sitoplasmanya lebih tinggi daripada pH lingkungannya (Ahsan *et al.*, 2016).

3.5 Karakteristik BAL yang diperlukan dalam menekan produksi histamin pada ikan

Bakteri asam laktat (BAL) yang dijadikan sebagai agen biokontrol dalam produk makanan harus menunjukkan karakteristik tertentu yang diperlukan. Persyaratan utama yang harus dipenuhi oleh kandidat kultur bakteri terpilih diatur oleh Ghanbari *et al.* (2013) dan Shi & Maktabdar (2022) yang meliputi: (1) Strain BAL harus GRAS; (2) Resisten terhadap antibiotik dan pembekuan; (3) Tidak

memproduksi zat berbahaya bagi kesehatan manusia seperti pembentukan senyawa amina biogenik; dan (4) Tidak mempengaruhi rasa dan tekstur makanan (Shi and Maktabdar, 2022).

3.6 Ketahanan bakteri asam laktat terhadap variasi kadar garam

3.6.1 Dampak fisiologis konsentrasi garam terhadap sel bakteri asam laktat

Dampak fisiologis BAL terhadap lingkungan dengan konsentrasi yang bervariasi telah banyak dilakukan. Li *et al.* (2019) misalnya mempelajari dampak kadar garam terhadap perubahan morfologi dari *L. plantarum* FS5-5. Pada penelitian ini dilaporkan bahwa pada konsentrasi garam dibawah 1,5%, 3%, 4%, dan 5% (b/v) mulai terbentuk rongga pada dinding sel BAL. Sementara itu, pada konsentrasi 6%, 7%, dan 8% (b/v) NaCl, sel mengalami kerusakan secara signifikan, dan hal ini tidak teramati pada medium yang tidak ditambahkan NaCl.

Garam (NaCl) di dalam air akan terdisosiasi menjadi ion Na^+ dan Cl^- yang akan meningkatkan osmolaritas larutan secara signifikan. Kondisi ini akan menyebabkan sel kehilangan banyak air yang tertarik ke arah lingkungannya. Pada kondisi yang sangat kritis, sel-sel bakteri akan mengalami krenasi (plasmolisis) dan akhirnya mengalami kematian. Ion Cl^- yang dihasilkan dari disosiasi NaCl mengakibatkan penurunan kelarutan oksigen sehingga ketersediaan oksigen menjadi sangat terbatas (anoksik) dan hal ini akan mempengaruhi pertumbuhan bakteri (Sahubawa, 2014). Secara umum dapat disimpulkan bahwa peningkatan konsentrasi garam pada lingkungan sel bakteri akan menurunkan laju pertumbuhan sel BAL, dan pada kadar tertentu bahkan membunuh sel BAL tersebut (Murti *et al.* 2021).

3.6.2 Pengaruh variasi garam terhadap pertumbuhan bakteri asam laktat

Penelitian Wang *et al.* (2020) melaporkan bahwa penambahan garam dapat mempengaruhi fase pertumbuhan kelompok BAL, terutama *Lactobacillus delbrueckii*. Pada perlakuan garam, fase lag dan fase logaritmik pertumbuhan isolat ini berlangsung lebih lama dibandingkan dengan perlakuan tanpa garam. Pada penambahan NaCl 2%, fase lagnya berlangsung sekitar 8 jam lebih lambat dibandingkan dengan perlakuan tanpa penambahan garam. Laju pertumbuhan yang diukur dari nilai *optical density* (OD) nya menunjukkan bahwa penambahan garam (NaCl) pada konsentrasi 1% sampai 6% secara konsisten menurunkan laju pertumbuhan *L. delbrueckii* jika dibandingkan dengan kontrol (tanpa perlakuan garam). Pertumbuhan *L. delbrueckii* terhambat secara total pada kadar garam 5% dan 6%.

Menurut Wahono *et al.* (2022), penambahan garam dapat menyebabkan meningkatnya tekanan osmotik pada media. Adanya zat terlarut (termasuk garam) pada media pertumbuhan BAL akan menurunkan potensial air medium, sehingga media tumbuh BAL menjadi relatif hipertonis terhadap sitoplasma sel (Barcenilla *et al.*, 2022). Pada kondisi seperti ini, air dari sitoplasma akan keluar dari sel menuju lingkungannya yang hipertonis melalui proses osmosis (Kurniati, 2020). Berkurangnya air sitoplasma akan menurunkan aktivitas metabolisme sel yang dikatalis oleh enzim dan sel akan mengalami defisit energi (ATP) untuk mempertahankan laju pertumbuhannya (Chamberlain and Sheng, 2019). Pada kondisi kadar air yang sangat minimal, sel bakteri dapat mengalami kematian pada lingkungan yang hipertonis.

3.7 Perbedaan toleransi kadar garam antar genus bakteri asam laktat

Ketahanan bakteri asam laktat terhadap kadar garam merupakan karakteristik penting yang harus dipenuhi oleh BAL yang akan digunakan secara sinergis dengan garam dalam pengawetan produk perikanan (Rahmiati dan Simanjuntak, 2019). Kedua peneliti ini menyatakan bahwa secara umum BAL dapat mentoleransi kadar garam 1% hingga 3%. Genus *Lactobacillus* umumnya dapat tumbuh optimal pada kadar garam 1% hingga 3%. Kemampuan beberapa strain BAL untuk bertahan hidup pada kadar garam tinggi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kemampuan toleransi strain *Lactobacillus* sp. terhadap variasi kadar garam.

Jenis Bakteri Asam Laktat	Kadar Garam (%)										Asal Strain	Sumber
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
<i>Lactobacillus sakei</i>			++			+			+		Jinmi Kimchi Korea	(Wu <i>et al.</i> , 2021).
<i>Lactobacillus sakei</i>			++			+			+		Kimchi Korea dari perkebunan Seoul	(Wu <i>et al.</i> , 2021).
<i>Lactobacillus sakei</i>			++			+			+		Kimchi Korea pilihan	(Wu <i>et al.</i> , 2021).
<i>Lactobacillus plantarum</i>		++		+		+		+		+	Susu Sapi	(Vanniyasingam <i>et al.</i> , 2019).
<i>Lactobacillus salivarius</i>		++		+				+		+	Mukosa ampela, jejunum, dan sekum ayam kreol	(Betancur-Hurtado <i>et al.</i> , 2022)
<i>Lactobacillus fermentum</i>		++		+				+		+	Mukosa ampela, jejunum, dan sekum ayam kreol	(Betancur-Hurtado <i>et al.</i> , 2022)
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>Bulgaricus</i>		++		+				+		+	Mukosa ampela, jejunum, dan sekum ayam kreol	(Betancur-Hurtado <i>et al.</i> , 2022)
<i>Lactobacillus casei</i>			++			+				+	University Hong Kong; ATCC: <i>American type culture collection</i>	(Wu <i>et al.</i> , 2021).
<i>Lactobacillus paracasei</i>			++			+				+	University Hong Kong; ATCC: <i>American type culture collection</i>	(Wu <i>et al.</i> , 2021).
<i>Lactobacillus paracasei</i> Shirota			++			+				+	Yakult	(Wu <i>et al.</i> , 2021).
<i>Lactobacillus paracasei</i> subsp. <i>paracaseii</i>	++	+	++	+	+						Larutan fermentasi ubi jalar	(Xu <i>et al.</i> , 2019)
<i>Lactobacillus plantarum</i>			++			+				+	Kimchi	(Wu <i>et al.</i> , 2021).
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>Bulgaricus</i>			++			+				+	Yogurt	(Wu <i>et al.</i> , 2021).
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>			++			+				+	Feses bayi	(Wu <i>et al.</i> , 2021).
<i>Lactobacillus</i> sp.		+		+						-	Pekasam	(Nofiani <i>et al.</i> , 2022).

dimana, (++) merupakan pertumbuhan optimal; (+) merupakan adanya pertumbuhan; (-) merupakan tidak ada pertumbuhan; tidak ada keterangan adalah tidak dilakukan pengujian pada kadar garam tersebut.

Tabel 1 menunjukkan bahwa setiap strain *Lactobacillus* sp. memiliki perbedaan kemampuannya untuk bertahan hidup pada variasi konsentrasi garam. Penelitian yang dilakukan oleh Betancur-Hurtado *et al.* (2022) menyebutkan bahwa *L. delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* yang diisolasi dari mukosa ampela, jejunum, dan sekum ayam kreol memiliki kemampuan toleransi terhadap garam sampai 10%. Sementara itu penelitian Wu *et al.* (2021) melaporkan *L. delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* yang diisolasi dari yoghurt memiliki kemampuan toleransi terhadap garam sampai 9%.

BAL dari genus *Lactococcus* sp. juga banyak dipelajari kemampuannya bertahan hidup pada lingkungan kadar garam tinggi. Kazancigil *et al.* (2019) misalnya menyebutkan bahwa *Lactococcus* sp. dapat mentoleransi kadar garam hingga 10%. Kemampuan toleransi beberapa isolate BAL yang termasuk ke dalam genus *Lactococcus* terhadap variasi kadar garam dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Toleransi beberapa strain BAL (yang termasuk genus *Lactococcus*) terhadap kadar garam yang bervariasi.

Jenis Bakteri Asam Laktat	Kadar Garam (%)										Asal Strain	Sumber	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
<i>Lactococcus lactis</i>				++	++	++					++	Keju Tulum	(Kazancigil <i>et al.</i> , 2019).
<i>Lactococcus lactis</i>				+	+	+						Keju Mozzarella	(Ramalho <i>et al.</i> , 2019).
<i>Lactococcus garvieae</i>				++	++	++					++	Keju Tulum	(Kazancigil <i>et al.</i> , 2019).

dimana, (++) merupakan pertumbuhan optimal; (+) merupakan adanya pertumbuhan; (-) merupakan tidak ada pertumbuhan; tidak ada keterangan adalah tidak dilakukan pengujian pada kadar garam tersebut.

Seperti terlihat pada Tabel 2 bahwa *Lactococcus lactis* yang diisolasi dari keju oleh Kazancigil *et al.* (2019), dapat tumbuh maksimal dan toleran terhadap kadar garam hingga 10%. Temuan ini menunjukkan bahwa isolat *L. lactis* yang diisolasi dari keju Tulum cenderung tumbuh paling baik pada konsentrasi garam tinggi, sehingga berpotensi untuk digunakan dalam pembuatan beberapa bahan makanan yang mengandung kadar garam tinggi atau digunakan secara sinergis dengan garam dalam proses pengawetan produk perikanan.

Selain kedua genera yang disebutkan diatas, kelompok BAL dari genus lain, seperti *Pediococcus*, *Weissella*, *Streptococcus*, dan *Enterococcus* juga banyak dilaporkan mempunyai toleransi terhadap lingkungan kadar garam tinggi. Beberapa strain dari genera tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kemampuan toleransi jenis BAL terhadap variasi kadar garam.

Jenis Bakteri Asam Laktat	Kadar Garam (%)										Asal Strain	Sumber	
	1	2	3	4	5	6	6,5	7	8	10			
<i>Pediococcus pentosaceus</i>		++		+		+					+	Sosis kering Harbin	(Zhang <i>et al.</i> , 2020).
<i>Pediococcus</i> sp. strain A1			+		+						-	Buduk, ale-ale, dan pekasam	(Nofiani <i>et al.</i> , 2022).
<i>Pediococcus</i> sp. strain A3			+		+						+	Buduk, ale-ale, dan pekasam	(Nofiani <i>et al.</i> , 2022).
<i>Weissella confusa</i>									++		-	Feses manusia	(Lee <i>et al.</i> , 2012).
<i>Weissella confusa</i>		+				+						Fermented sour rice	(Nath <i>et al.</i> , 2021).

Jenis Bakteri Asam Laktat	Kadar Garam (%)										Asal Strain	Sumber
	1	2	3	4	5	6	6,5	7	8	10		
<i>Streptococcus</i> sp.		+		+			-				Buduk, ale-ale, dan pekasam	(Nofiani <i>et al.</i> , 2022)
<i>Enterococcus</i> sp.		+		+			+				Buduk, ale-ale, dan pekasam	(Nofiani <i>et al.</i> , 2022)

dimana, (++) merupakan pertumbuhan optimal; (+) merupakan adanya pertumbuhan; (-) merupakan tidak ada pertumbuhan; tidak ada keterangan adalah tidak dilakukan pengujian pada kadar garam tersebut.

3.8 Faktor penyebab perbedaan kemampuan toleransi BAL terhadap garam

Adanya perbedaan kemampuan toleransi strain bakteri asam laktat (BAL) terhadap variasi kadar garam tergantung pada kondisi wilayah asal isolat, faktor tekanan lingkungan, perbedaan jenis dan perbedaan strain spesifik dari BAL (Guo *et al.*, 2015; Le *et al.*, 2021). Hal ini berkaitan dengan kemampuan berbagai strain BAL untuk tumbuh dan bertahan hidup pada lingkungannya (Widodo, 2017). Konsentrasi garam yang tinggi dapat merusak morfologi dan fisiologi sel. Oleh karena itu, adaptasi strain terhadap tekanan garam penting dilakukan untuk bertahan dan tumbuh di lingkungannya, sehingga dapat diaplikasikan dalam industri (Terpou *et al.*, 2019).

Strategi adaptasi yang dilakukan oleh *Lactobacillus plantarum* misalnya, terjadi melalui beberapa protein membran yang secara langsung atau tidak langsung dapat mengatur permeabilitas membran sel terhadap ion-ion yang terbentuk melalui disosiasi garam (Li *et al.*, 2019). Membran sel dapat menyerap atau mensintesis asam amino, peptida kecil, poliol, dan disakarida untuk menjaga keseimbangan tekanan osmotik intraseluler dan ekstraseluler dalam bertahan pada berbagai tekanan lingkungan (Xu *et al.*, 2022). Pada tekanan osmotik yang tinggi, enzim yang kompatibel untuk mengkatabolisme zat terlarut akan terhambat, sehingga zat terlarut yang kompatibel tersebut akan terakumulasi di dalam sel. Selain itu, strain BAL dapat menjaga keseimbangan tekanan osmotik dengan cara mengatur ekspresi protein stres tertentu dan mengubah komposisi membran selnya (Li *et al.*, 2019).

3.9 Perubahan ekspresi gen pada BAL dibawah tekanan variasi kadar garam

Bakteri asam laktat akan mengubah ekspresi gen nya dengan cara membentuk komponen utama yang dapat mengubah biosintesis eksopolisakarida, sehingga dapat bertahan hidup dalam kondisi lingkungan yang ekstrim. Eksopolisakarida adalah komponen struktural penting dari dinding sel BAL (Nguyen *et al.*, 2020). Untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang ekstrim, BAL dapat mengubah permukaan selnya dengan cara membentuk lebih banyak eksopolisakarida (Nguyen *et al.*, 2014). Pembentukan eksopolisakarida menghasilkan dinding sel yang lebih tebal, sehingga dapat meningkatkan ketahanan BAL terhadap tekanan lingkungan. Beberapa peneliti melaporkan bahwa BAL yang sebelumnya ditumbuhkan pada lingkungan yang tertekan, menunjukkan viabilitas yang meningkat secara signifikan ketika dipaparkan pada lingkungan serupa (Desmond *et al.*, 2001; Nguyen *et al.*, 2014). Hal ini menunjukkan bahwa BAL tersebut telah mengembangkan mekanisme adaptasi pada lingkungan dengan tekanan osmotik tinggi. Menurut Nguyen *et al.* (2020) BAL akan mensintesis eksopolisakarida yang lebih banyak pada lingkungan kadar garam tinggi untuk melindungi sel dari kekurangan air (dehidrasi) dan menahan air yang ada di sekitar sel.

4. Simpulan

Bakteri asam laktat (BAL) sering dimanfaatkan sebagai agen pengawet atau sebagai probiotik karena dapat menekan pertumbuhan mikroba penyebab penyakit yang mengkontaminasi makanan. Dalam industri perikanan dan hasil laut lainnya, peluang dipakainya BAL sebagai agen pengawet menjadi sangat terbuka dalam dekade terakhir ini. Banyak spesies BAL telah terbukti menunjukkan karakteristik resisten

terhadap lingkungan kadar garam tinggi. Hal ini membuka peluang diaplikasikannya BAL secara sinergis dengan perlakuan garam untuk menekan pembentukan histamin pada produk hasil laut. Pemanfaatan BAL dalam pengawetan ikan berpotensi mengurangi penggunaan garam yang cenderung merusak tekstur ikan dalam proses pengawetan.

Ucapan terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua staf yang bekerja di Laboratorium Terpadu Biosain dan Bioteknologi Universitas Udayana dan Laboratorium PT Intimas Surya Bali, atas semua kritik dan masukannya pada artikel ini, sebelum dipublikasi.

Daftar Pustaka

- Ahsan, U., Cengiz, Ö., Raza, I., Kuter, E., Chacher, M. F. A., Iqbal, Z., Umar, S., & Çakir, S. (2016). Sodium butyrate in chicken nutrition: The dynamics of performance, gut microbiota, gut morphology, and immunity. *World's Poultry Science Journal*, **72**, 266-278. DOI: 10.1017/S0043933916000210.
- Aisyah, I. S., Kamaruddin, I., Siburian, U. D., Wahyuni, L. E. T., Amanda, E., Agustina, M., Astuti, I. D., Rahmawati, & Kartikasari, M. N. D. (2022). *Gizi Kesehatan*. Padang, Indonesia: PT Global Eksekutif Teknologi.
- Ananda, N. T. (2022). Studi karakteristik kimiawi garam dari daun tua tanaman mangrove (*Sonneratia alba*). *Marinade*, **5**(02), 117-124. DOI: 10.31629/marinade.v5i02.4858.
- Ashraf, S. A., Adnan, M., Patel, M., Siddiqui, A. J., Sachidanandan, M., Snoussi, M., & Hadi, S. (2020). Fish-based bioactives as potent nutraceuticals: exploring the therapeutic perspective of sustainable food from the sea. *Marine Drugs*, **18**(5), 1-20. DOI: 10.3390/md18050265.
- Azhara, I., Rais, M., Sukainah, A., & Putra, R. P. (2020). Isolasi dan identifikasi bakteri asam laktat pada fermentasi spontan biji kopi robusta. *Jurnal Teknologi Pertanian*, **23**(1), 49-60. DOI: 10.21776/ub.jtp.2022.023.01.5.
- Barcenilla, C., Álvarez-Ordóñez, A., López, M., Alvseike, O., & Prieto, M. (2022). Microbiological safety and shelf-life of low-salt meat products—a review. *Foods*, **11**(15), 1-24. DOI: 10.3390/foods11152331.
- Betancur-Hurtado, C. A., Lopez, L. M. B., Castillo, A. J. R., Trujillo-Peralta, M. C., Hernandez-Velasco, X., Tellez-Isaias, & G., Graham, B. D. (2022). An in vivo pilot study on probiotic potential of lactic acid bacteria isolated from the gastrointestinal tract of Creole Hens (*Gallus gallus domesticus*) Native to Montería, Córdoba, Colombia in Broiler Chickens. *Poultry*, **1**, 157-168. DOI: 10.3390/poultry1030014.
- Carboni, A. D., Martins, G. N., Gómez-Zavaglia, A., & Castilho, P. C. (2023). Lactic acid bacteria in the production of traditional fermented foods and beverages of latin America. *Fermentation*, **9**(4), 1-11. DOI: 10.3390/fermentation9040315.
- Chamberlain, K. A. & Sheng, Z. H. 2019. Mechanisms for the maintenance and regulation of axonal energy supply. *Journal of Neuroscience Research*, **97**(8), 897-913. DOI: 10.1002/jnr.24411.
- Chen, Y., Wu, C., Xu, W., Lu, Z., Fu, R., He, X., Ma, Z., & Zhang, H. (2021). Evaluation of degradation capability of nitrite and biogenic amines of lactic acid bacteria isolated from pickles and potential in sausage fermentation. *Journal Food Process Preservation*, **46**(1), 1-8. DOI: 10.1111/jfpp.16141.

- Chung, B. Y., Park, S. Y., Byun, Y. S., Son, J. H., Choi, Y. W., Cho, Y. S., Kim, H. O., & Park, C. W., (2017). Effect of different cooking methods on histamine levels in selected foods. *Annals of Dermatology*, **29**(6), 706-714. DOI: 10.5021/ad.2017.29.6.706.
- DeBeer, J., Nolte, F., Lord, C. W. and Colley, J. (2021). Tempering large tuna prior to thawing to minimize histamine formation. *Food Protection Trends*, **41**(1), 38-45. DOI: 10.4315/1541-9576-41.1.36.
- Desmond, C., Stanton, C., Fitzgerald, G. F., Collins, K., and Ross, R. P. (2001). Environmental adaptation of probiotic *Lactobacilli* towards improvement of performance during spray drying. *International Dairy Journal*, **11**(10), 801–808. DOI: 10.1016/S0958-6946(01)00121-2.
- Domingos-Lopes, M. F. P., Stanton, C., Ross, R. P., & Silva, C. C. G. (2020). Histamine and cholesterol lowering abilities of lactic acid bacteria isolated from artisanal pico cheese. *Journal of Applied Microbiology*, **129**(6), 1428-1440. DOI: 10.1111/jam.14733.
- Ferrario, C., Borgo, F., de Las Rivas, B., Munoz, R., Ricci, G. & Fortina, M. G. (2014). Sequencing, characterization, and gene expression analysis of the histidine decarboxylase gene cluster of *Morganella morganii*. *Current Microbiology*, **68**, 404-411. DOI: 10.1007/s00284-013-0490-7.
- Finanda, A., Mukarlina, & Rahmawati. (2021). Isolasi Dan Karakterisasi Genus Bakteri Asam Laktat Dari Fermentasi Daging Buah Pisang Kepok (*Musa paradisiaca* L.). *Jurnal Protobiont*, **10**(2), 37-41. DOI: 10.26418/protobiont.v10i2.53897.
- Ghanbari, M., Jami, M., Domig, K. J., & Kneifel, W. (2013). Seafood biopreservation by lactic acid bacteria—a review. *LWT-Food Science and Technology*, **54**(2), 315-324. DOI: 10.1016/j.lwt.2013.05.039.
- Guo, C. F., Zhang, S., Yuan, Y. H., Yue, T. L., & Li, J. Y. (2015). Comparison of *Lactobacilli* isolated from chinese suan-tsai and koumiss for their probiotic and functional properties. *Journal of Functional Foods*, **12**, 294-302. DOI: 10.1016/j.jff.2014.11.029.
- Hamidah, M. N., Rianingsih, L., & 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. DOI: 10.14710/jitpi.2019.6742.
- Karaseva, O. S., Yudina, Y. S., Nikitina, E. V., Minulina, L. F., & Yarulina, D. R. (2022). Antagonistic activity of newly isolated *Lactobacillus* strains against *Morganella morganii*. *Opera Med Physiol*. **9**(3), 62-76. DOI: 10.24412/2500-2295-2022-3-62-76.
- Kazancıgil, E., Demirci, T., Öztürk-Negiş, H. İ. & Akın, N. (2019). Isolation, technological characterization and in vitro probiotic evaluation of *Lactococcus* strains from traditional turkish skin bag tulum cheeses. *Annals Microbiology*, **69**, 1275–1287. DOI: 10.1007/s13213-019-01512-4.
- Kuley, E., Durmus, M., Balıkcı, E., Ucar, Y., Regenstein, J. M., & Özoğul, F. (2017). Fish spoilage bacterial growth and their biogenic amine accumulation: inhibitory effect of olive by-products. *International Journal Food Properties*, **20**, 1029–1043. DOI: 10.1080/10942912.2016.1193516.
- Kurniati, T. 2020. Biologi Sel. Bandung, Indonesia: CV Cendekia Press.
- Koral, S., Köse, S., Pompe, M. & Koçar, D. (2023). The Effect Of Freezing Raw Material On The Quality Changes And Safety Of Salted Anchovies (*Engraulis encrasicolus*, Linnaeus, 1758) at cold storage conditions. *Applied Sciences*, **13**(10), 1-23. DOI: 10.3390/app13106200.
- Lee, K. W., Park, J. Y., Jeong, H. R., Heo, H. J., Han, N. S., & Kim, J. H. (2012). Probiotic properties of *Weissella* strains isolated from human faeces. *Anaerobe*, **18**(1), 96–102. DOI: 10.1016/j.anaerobe.2011.12.015.
-

- Le, T. S., Nguyen, P. T., Nguyen-Ho, S. H., Nguyen, T. P., Nguyen, T. T., Thai, M. N., Nguyen-Thi, T. U., Nguyen M. C., Hoang, Q. K., & Nguyen, H. T. (2021). Expression of genes involved in exopolysaccharide synthesis in *Lactiplantibacillus plantarum* VAL6 under environmental stresses. *Archives Microbiology*, **203**, 4941–4950. DOI: 10.1007/s00203-021-02479-0.
- Li, M., Wang, Q., Song, X., Guo, J., Wu, J., & Wu, R. (2019). iTRAQ-based proteomic analysis of responses of *Lactobacillus plantarum* FS5-5 to salt tolerance. *Annals of Microbiology*, **69**, 377–394. DOI: 10.1007/s13213-018-1425-0.
- Malaka, R., Marrudin, F., & Baco, S. (2023). *Dangke: Keju Tradisional Enrekang, Sulawesi Selatan*. Makassar, Unhas Press.
- Manalu, R. T., Bahri, S., Melisa, M., and Sarah, S. (2020). Isolasi dan karakterisasi bakteri asam laktat asal feses manusia sebagai antibakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *Sainstech Farma, Jurnal Ilmu Kefarmasian*, **13**(1), 55-59. DOI: 10.37277/sfj.v13i1.525.
- Meng, J., Yang, Q., Wan, W., Zhu, Q., & Zeng, X., (2022). Physicochemical properties and adaptability of amine-producing *Enterobacteriaceae* isolated from traditional chinese fermented fish (Suan Yu). *Food Chemistry*, **369**, 1-13. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130885.
- Murti, R. W., Sumardianto, & Purnamayati, L. (2021). Pengaruh perbedaan konsentrasi garam terhadap asam glutamat terasi udang rebon (*Acetes* sp.). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, **24**(1), 50-59. DOI: 10.17844/jphpi.v24i1.33201.
- Naiu, A. S., Koniyo, Y., Nurssinar, S., & Kasim, F. (2018). *Penanganan dan Pengolahan Hasil Perikanan*. Gorontalo, Indonesia: CV. Artha Samudra.
- Nath, S., Roy a, M., Sikidar a, J., Deb, B., Sharma d, I., & Guha, A. (2021). Characterization and in-vitro screening of probiotic potential of novel *Weissella confusa* strain GCC_19R1 isolated from fermented sour rice. *Current Research in Biotechnology*, **3**, 99–108. DOI: 10.1016/j.crbiot.2021.04.001.
- Nevado, D. L., Santos, S. D., Bastian, G., Deyta, J., Managuelod, E. J., Fortaleza, J. A. & De Jesus, R., (2023). Detection, identification, and inactivation of histamine-forming bacteria in seafood: a mini-review. *Journal of Food Protection*, **86**, 1-8. DOI: 10.1016/j.jfp.2023.100049.
- Nguyen, P. T., Nguyen, T. T., Bui, D. C., Hong, P. T., Hoang, Q. K., & Nguye, H. T. (2020). Exopolysaccharide production by lactic acid bacteria: the manipulation of environmental stresses for industrial applications. *AIMS Microbiology*, **6**(4), 451–469. DOI: 10.3934/microbiol.2020027.
- Nguyen, H. T., Razafindralambo, H., Blecker, C., N'Yapo, C., Thonart, P., & Delvigne, F. (2014). *Biochemical Engineering Journal*, **88**, 85–94. DOI: 10.1016/j.bej.2014.04.005.
- Nofiani, R., Ardinarsih, P., Adhitiyawardman, & Sarwiyati. (2022). Characteristics of lactic acid bacteria isolated from traditional fermented fish. *Biodiversitas*. **23**(11), 5662-5669. DOI: 10.13057/biodiv/d231116.
- Nurdiani, R., Yufidasari, H. S., Kusuma, B., Astuti, R. T., & Perdana, A. W. (2022). *Teknologi Pengolahan Produk Perikanan*. Malang, Universitas Brawijaya Press.
- Nurhamidah, A., Warsidah, & N. Idiawati. (2019). Isolasi dan karakterisasi bakteri asam laktat (BAL) dari ale-ale dan cincalok. *Jurnal Laut Khatulistiwa*. **2**(3), 85-90. DOI: 10.26418/lkuntan.v2i3.34780.
- Oktariani, A. F., Ramona, Y., Sudaryatma, P. E., Dewi, I. A. M. M. and Shetty, K. (2022). Role of marine bacterial contaminants in histamine formation in seafood products: a review. *Microorganisms*, **10**(6), 1-14. DOI: 10.3390/microorganisms10061197.

- Okoye, C. O., Dong, K., Wang, Y., Gao, L., Li, X., Wu, Y., & Jiang, J. (2022). Comparative genomics reveals the organic acid biosynthesis metabolic pathways among five lactic acid bacterial species isolated from fermented vegetables. *New Biotechnology*, **70**, 73–83. DOI: 10.1016/j.nbt.2022.05.001.
- Pišťeková, H., Jančová, P., Berčíková, L., Buňka, F., Sokolová, I., Šopík, T., Maršálková, K., de Amaral, O. M. R. P., & Buňková, L. (2020). Application of qPCR for multicopper oxidase gene (MCO) in biogenic amines degradation by *Lactobacillus casei*. *Food Microbiology*, **91**, 1-8. DOI: 10.1016/j.fm.2020.103550.
- Plavec, T. V., & Berlec, A. (2020). Safety aspects of genetically modified lactic acid bacteria. *Microorganisms*, **8**(297), 1-21. DOI: 10.3390/microorganisms8020297.
- Pradana, T., Putra, A., Kurniawan, M. & Wicaksono, A. (2022). Penyusunan media poster dalam pembelajaran biologi: mikroorganisme lokal (Mol) pada tanaman jagung sebagai bioaktivator pakan ternak. *Bioilmi: Jurnal Pendidikan*, **8**(2), 91-100. DOI: 10.19109/bioilmi.v8i2.13654.
- Rahmiati, & Simanjuntak, H. A. (2019). Kemampuan bakteri asam laktat dalam menghambat *Salmonella thypii*. *Jurnal Jeumpa*, **6**(2), 257-264. DOI: 10.34007/jns.v1i3.25.
- Ramalho, J. B., Soares, M. B., Spiazzi, C. C., Bicca, D. F., Soares, V. M., Pereira, J. G., da Silva, W. P., Sehn, C. P., & Cibin, F. W. S. (2019). In vitro probiotic and antioxidant potential of *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* LL95 and its effect in mice behaviour. *Nutrients*. **11**(4), 1-7. DOI: 10.3390/nu11040901.
- Ramona, Y., Oktariani, A. F., Wirasuta, I. M. A. G., Teriyani, N. M., Sarkar, D., & Shetty, K. (2023). Suppression of histamine formation in processed tuna fish using probiotic (*Lactiplantibacillus plantarum* BY-45) approach. *NFS Journal*. **31**, 133-141. DOI: 10.1016/j.nfs.2023.05.001.
- Riadi, S., Setiyawati, D., & Situmeang, S. (2020). Isolasi dan uji potensi bakteri asam laktat asal kimchii dan teh kombucha dalam menghambat bakteri patogen. *Jurnal Kesmas Prima Indonesia*, **2**(1), 25-29. DOI: 10.34012/jkpi.v2i1.891.
- Rocha-Ramírez, L. M., Hernández-Chiñas, U., Moreno-Guerrero, S. S., Ramírez-Pacheco, A., & Eslava, C. A., (2023). In vitro effect of the cell-free supernatant of the *Lactobacillus casei* strain IMAU60214 against the different pathogenic properties of diarrheagenic *Escherichia coli*. *Microorganisms*, **11**(5), 1-18. DOI: 10.3390/microorganisms11051324.
- Sahubawa, L. (2014). *Teknologi Pengawetan dan Pengolahan Hasil Perikanan*. Yogyakarta, Gadjah Mada University Press.
- Saraswati, E. Purwangka, F., Mustaruddin, & Darmawan. (2022). Analisis risiko penurunan mutu ikan lemuru selama aktivitas penanganan di UD. Duta Quraesy, Jember. *ALBACORE Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, **6**(2), 111-122. DOI: 10.29244/core.6.2.111-122.
- Shi, C., & Maktabdar, M. (2022). Lactic acid bacteria as biopreservation against spoilage molds in dairy products—a review. *Frontiers in Microbiology*. **12**, 1-18. DOI: 10.3389/fmicb.2021.819684.
- Sine, Y. (2022). Potensi bakteri asam laktat pada makanan fermentasi. *Jurnal Saintek Lahan Kerin*, **5**(2), 21-23. DOI: 10.32938/slk.v5i2.1915.
- Steele, J., Broadbent J., & Kok, J. (2013). Perspectives on the contribution of lactic acid bacteria to cheese flavor development. *Current Opinion in Biotechnology*, **24**, 1-7. DOI: 10.1016/j.copbio.2012.12.001.
- Syah, S. P. (2022). *Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Asam Laktat Asal Dangke*. Pekalongan, PT. Nasya Expanding Management.
-

- Tahya, C. Y., Karnelasatri, K., & Gaspersz, N. (2023). Chemical profiling and histamine inhibitory activity assessment of merremia vitifolia and bidens pilosa extracts. *Molekul*, **18**(1), 117-130. DOI: 10.20884/1.jm.2023.18.1.6833.
- Vanniyasingam, J., Kapilan, R., & Vasantharuba, S. (2019). Isolation and characterization of potential probiotic lactic acid bacteria isolated from cow milk and milk products. *Agri east*, **13**(1), 32-43. DOI: 10.4038/agri east.v13i1.62.
- Visciano, P., Schirone, M. & Paparella, A. (2020). An overview of histamine and other biogenic amines in fish and fish products. *Foods*. **9**(12), 1-15. DOI: 10.3390/foods9121795.
- Wahono, F., Gz, M., Rianingsih, L., & Pi, S. (2022). Pengaruh perbedaan jenis garam terhadap karakteristik fisikokimia dan sensori terasi udang rebon (*Mysis relicta*). *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*. **18**(2), 130-137. DOI: 10.14710/ijfst.18.2.130-137.
- Wang, J., Lu, S., Mao, S., & Li, Y. 2020. Effects of NaCl on gene expression of agmatine deiminase pathway genes of putrescine in *Lactobacillus delbrueckii* and *Escherichia coli*. *Journal of Food Processing and Preservation*, **44**, 1-11. DOI: 10.1111/jfpp.14875.
- Weremfo, A., Eduafo, M. K., Gyimah, H. A., & Abassah-Oppong, S. (2020). Monitoring the levels of biogenic amines in canned fish products marketed in Ghana. *Journal of Food Quality*, 2020, 1-6. DOI: 10.1155/2020/2684235.
- Widodo. (2017). *Bakteri Asam Laktat Strain Lokal: Isolasi Sampai Aplikasi Sebagai Probiotik Dan Starter Fermentasi Susu*. Yogyakarta, Indonesia: Gadjah Mada University Press.
- Wu, D., Zhang, M., Chen, H. & Bhandari, B. (2021). Freshness monitoring technology of fish products in intelligent packaging. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **61**(8), 1279-1292. DOI: 10.1080/10408398.2020.1757615.
- Wu, H., Shum, T.-F., & Chiou, J. (2021). Characterization of the probiotic potential of lactic acid bacteria isolated from kimchi, yogurt, and baby feces in hong kong and their performance in soymilk fermentation. *Microorganisms*, **9**(2544), 1-18. DOI: 10.3390/microorganisms9122544.
- Xu, Y., Tian, Y., Cao, Y., Li, J., Guo, H., Su, Y., Tian, Y., Wang, C., Wang, T., & Zhang, L. (2019). Probiotic properties of *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* L1 and its growth performance-promotion in chicken by improving the intestinal microflora. *Frontiers in Physiology*, **10**(937), 1-14. DOI: 10.3389/fphys.2019.00937.
- Xu, Y., Wu, S., Wang, P., Wei, L., & Li, H. (2022). Label-free quantitative proteomic analysis of the mechanism of salt stress promoting selenium enrichment in *Lactobacillus rhamnosus*. *Journal of Proteomics*, **265**, 104663. DOI: 10.1016/j.jpro.2022.104663.
- Zairinayati, M. Rifal, Handoko, R. N. S., Sele, Y., Radjawane, L. E., Purwanto, N., Bire, W. L. O. R., Olli, M. R., Fahmi, A., Mustakim, A., & R. Pakaya. (2020). *Pencemaran Lingkungan*. Bandung, Media Sains Indonesia.
- Zhang, H., Wang, Q., Liu, H., Kong, B., ad Chen, Q. (2020). In vitro growth performance, antioxidant capacity and cell surface physiological characteristics of *Pediococcus pentosaceus* R1 and *Lactobacillus fermentum* R6 stressed under different NaCl concentrations. *Food & Function*, **7**,1-16. DOI: 10.1039/C9FO02309G.
- Zhang, Y., Zhang, J., Lin, X., Liang, H., Zhang, S. & Ji, C. (2022). *Lactobacillus* strains inhibit biogenic amine formation in salted mackerel (*Scomberomorus niphonius*). *LWT*, **155**, 1-7. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112851.
-