

Isolation and Antibacterial Activity of Bacteriocins from Lactic Acid Bacteria Isolated from Red Cabbage Sauerkraut (*Brassica oleracea* L.) against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*

Isolasi dan Uji Antibakteri Bakteriosin Bakteri Asam Laktat (BAL) dari Sauerkraut Kubis Ungu (*Brassica oleracea* L) Terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*

Bunga Violetta Zulkaroza ^a, Yayuk Putri Rahayu ^{a*}, Haris Munandar Nasution ^a, Minda Sari Lubis ^a

^a Program Studi Farmasi, Fakultas Farmasi, Universitas Muslim Nusantara Al-Washliyah, Medan, Sumatera Utara, Indonesia.

*Corresponding Authors: yayukputri@umnaw.ac.id

Abstract

Background: Red cabbage sauerkraut (*Brassica oleracea* L.) is a fermented vegetable matrix that supports the growth of lactic acid bacteria (LAB), some of which produce bacteriocins with potential as natural food biopreservatives. **Objective:** This study aimed to isolate and phenotypically characterize LAB from red cabbage sauerkraut and evaluate the antibacterial activity and physicochemical stability of the partially purified bacteriocin against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. **Methods:** LAB were isolated on MRS agar, characterized by colony and cell morphology, Gram staining, catalase activity, and motility, and screened for antibacterial activity. Bacteriocin from the selected isolate was partially purified by ammonium sulfate precipitation and dialysis. Stability was evaluated across pH 2–11, temperatures of 30–121 °C, pepsin exposure, Tween 20 and Tween 80, and UV-C irradiation. Antibacterial activity was assessed by agar diffusion. **Results:** Three presumptive LAB isolates (BAL1, BAL2, and BAL3) were obtained, with BAL1 showing the greatest antibacterial activity. Untreated bacteriocin produced inhibition zones of 11.2 mm against *S. aureus* and 12.8 mm against *E. coli*. Activity was retained most strongly at pH 3–5 and 30–40 °C, decreased after pepsin and UV-C exposure, and increased in the presence of Tween 20 or Tween 80. **Conclusion:** BAL1 from red cabbage sauerkraut produces a proteinaceous antibacterial substance with stability under acidic and moderate-temperature conditions, supporting its further characterization as a candidate food biopreservative.

Keywords: Bacteriocin, lactic acid bacteria, sauerkraut, red cabbage, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*.

Abstrak

Latar Belakang: Sauerkraut kubis ungu (*Brassica oleracea* L.) merupakan matriks sayuran fermentasi yang mendukung pertumbuhan bakteri asam laktat (BAL), termasuk isolat yang berpotensi menghasilkan bakteriosin sebagai biopreservatif pangan alami. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan mengisolasi dan mengarakterisasi secara fenotipik BAL dari sauerkraut kubis ungu serta mengevaluasi aktivitas antibakteri dan kestabilan fisikokimia bakteriosin yang dimurnikan secara parsial terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. **Metode:** BAL diisolasi pada media MRS agar dan dikarakterisasi berdasarkan morfologi koloni dan sel, pewarnaan Gram, uji katalase, serta motilitas. Bakteriosin dari isolat terpilih dimurnikan secara parsial melalui presipitasi amonium sulfat dan dialisis. Kestabilannya dievaluasi pada pH 2–11, suhu 30–121 °C, paparan pepsin, Tween 20 dan Tween 80, serta iradiasi UV-C. Aktivitas antibakteri ditentukan dengan metode difusi agar. **Hasil:** Diperoleh tiga isolat BAL presumtif, yaitu BAL1, BAL2, dan BAL3, dengan BAL1 menunjukkan aktivitas antibakteri terbesar. Bakteriosin tanpa perlakuan menghasilkan zona hambat 11,2 mm terhadap *S. aureus* dan 12,8 mm terhadap *E. coli*. Aktivitas paling baik dipertahankan pada pH 3–5 dan suhu 30–40 °C, menurun setelah paparan pepsin dan UV-C, serta meningkat setelah penambahan Tween 20 atau Tween 80. **Kesimpulan:** BAL1 dari sauerkraut kubis ungu menghasilkan senyawa antibakteri bersifat protein yang relatif stabil pada kondisi asam dan suhu sedang sehingga layak dikarakterisasi lebih lanjut sebagai kandidat biopreservatif pangan.

Kata Kunci: Bakteriosin, bakteri asam laktat, sauerkraut, kubis ungu, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*.



Copyright © 2020 The author(s). You are free to : **Share** (copy and redistribute the material in any medium or format) and **Adapt** (remix, transform, and build upon the material) under the following terms: **Attribution** — You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use; **NonCommercial** — You may not use the material for commercial purposes; **ShareAlike** — If you remix, transform, or build upon the material, you must distribute your contributions under the same license as the original. Content from this work may be used under the terms of the [a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\) License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

<https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v9i3.1870>

Article History:

Received: 27/07/2026,
Revised: 22/09/2026
Accepted: 24/09/2026,
Available Online: 30/09/2026.

QR access this Article



Pendahuluan

Bakteri asam laktat (BAL) merupakan kelompok bakteri fermentatif yang luas digunakan dalam pengolahan pangan karena mampu mengasamkan matriks, membentuk metabolit antimikroba, dan pada strain tertentu menghasilkan bakteriosin. Proses fermentasi menggunakan mikroba LAB probiotik menghasilkan produk dengan rasa yang khas: acar fermentasi probiotik [2]. Sejumlah BAL memiliki riwayat penggunaan yang aman dalam pangan, sehingga metabolitnya banyak dikaji sebagai alternatif biopreservatif alami [1,8,30,31]. Bakteriosin adalah peptida atau protein antimikroba yang disintesis secara ribosomal dan dapat menghambat mikroorganisme pembusuk maupun patogen pangan melalui mekanisme yang bergantung pada kelas dan struktur molekulnya [12–14,30–32].

Sauerkraut merupakan produk fermentasi sayuran yang secara alami menyeleksi komunitas BAL melalui kombinasi konsentrasi garam, penurunan pH, dan ketersediaan karbohidrat fermentabel [4,15]. Kubis ungu (*Brassica oleracea* L.) menyediakan substrat fermentasi yang kaya komponen bioaktif, termasuk pigmen antosianin, sehingga menarik sebagai sumber eksplorasi BAL dan metabolit antimikroba [5]. Pemanfaatan sumber hayati sebagai bahan fungsional juga sejalan dengan meningkatnya perhatian terhadap bahan alami pada bidang pangan dan kesehatan [6].

Keamanan mikrobiologis pangan tetap menjadi perhatian karena *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* dapat mencemari berbagai bahan pangan dan menimbulkan penyakit melalui mekanisme patogenesis yang berbeda [3,10,34]. *S. aureus* dikenal mampu menghasilkan toksin tertentu dan menunjukkan variasi resistensi antimikroba, sedangkan *E. coli* mencakup strain komensal dan patotipe yang dapat berperan pada penyakit saluran cerna [9–11,34]. Oleh karena itu, senyawa antimikroba alami yang aktif terhadap bakteri Gram-positif dan Gram-negatif mempunyai relevansi praktis untuk pengembangan sistem pengawetan berbasis hambatan ganda.

Bakteriosin memiliki keunggulan berupa aktivitas pada konsentrasi relatif rendah, sifat protein yang umumnya dapat didegradasi enzim proteolitik, serta peluang untuk dikombinasikan dengan pengasaman, suhu, surfaktan, kemasan aktif, atau teknologi pengawetan lain [12,13,30–32]. Meskipun banyak bakteriosin terutama efektif terhadap bakteri Gram-positif, permeabilisasi membran luar atau kombinasi dengan senyawa lain dapat memperluas aktivitas terhadap bakteri Gram-negatif [17,27,30]. Karakter kestabilan terhadap pH, suhu, enzim, surfaktan, dan radiasi menjadi parameter penting sebelum suatu bakteriosin dipertimbangkan untuk aplikasi pangan.

Kajian bakteriosin dari pangan fermentasi terus berkembang, tetapi karakterisasi isolat BAL yang berasal dari sauerkraut kubis ungu masih terbatas dibandingkan sumber fermentasi susu, daging, atau pangan fermentasi lainnya [8,30,31,33]. Penelitian ini berfokus pada isolasi BAL dari sauerkraut kubis ungu, seleksi isolat dengan aktivitas antibakteri, pemurnian parsial bakteriosin, serta evaluasi kestabilannya terhadap pH, suhu, pepsin, Tween 20, Tween 80, dan UV-C. Kontribusi utama penelitian ini adalah menyediakan karakterisasi awal kandidat bakteriosin dari matriks fermentasi kubis ungu terhadap *S. aureus* dan *E. coli* sebagai dasar untuk tahap identifikasi molekuler dan pengujian pada matriks pangan.

Metode Penelitian

Alat dan bahan

Peralatan utama yang digunakan meliputi timbangan analitik, peralatan gelas mikrobiologi, autoklaf, oven, inkubator, mikroskop, mikropipet, sentrifus, vortex, laminar air flow, lampu UV, serta perangkat pendukung kultur dan pengujian aktivitas antibakteri.

Bahan penelitian meliputi sauerkraut kubis ungu, bakteri uji *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*, de Man–Rogosa–Sharpe agar (MRS agar), de Man–Rogosa–Sharpe broth (MRSB), nutrient agar, Mueller–Hinton agar, media sulfide–indole–motility (SIM), Tween 20, Tween 80, H₂O₂ 3%, CaCO₃, amonium sulfat, DMSO, reagen pewarnaan Gram, NaCl fisiologis, etanol 96%, buffer asetat, buffer fosfat kalium, buffer Tris-HCl, buffer boraks–NaOH, pepsin, HCl, NaOH, dan akuades.

Pembuatan Sauerkraut dan Isolasi BAL

Kubis ungu dicuci, diiris dengan ketebalan sekitar 2 mm, kemudian difermentasi menggunakan NaCl 2% (b/v) selama 3–7 hari pada suhu ruang [15]. Sampel hasil fermentasi diencerkan secara berseri hingga 10⁻⁶, kemudian diinokulasikan pada MRS agar yang ditambahkan CaCO₃ 1% dan diinkubasi pada 37 °C selama 48 jam. Koloni dominan yang membentuk zona jernih dipilih dan dimurnikan dengan metode streak plate. Karakterisasi fenotipik meliputi morfologi koloni dan sel, pewarnaan Gram, uji katalase menggunakan H₂O₂ 3%, serta uji motilitas pada media SIM. Isolat dengan karakter Gram-positif, katalase-negatif, dan nonmotil dipertimbangkan sebagai BAL presumtif untuk tahap seleksi berikutnya.

Produksi Bakteriosin dan Pemurnian Parsial Bakteriosin

Isolat BAL dengan aktivitas antibakteri terbesar dikultur dalam 100 mL MRSB pada 37 °C selama 24 jam dengan agitasi 120 rpm. Kultur kemudian disentrifugasi pada 10.000 × g selama 15 menit pada 4 °C untuk memperoleh supernatan bebas sel sebagai fraksi awal yang mengandung senyawa antimikroba [16,17,33].

Pemurnian parsial dilakukan melalui presipitasi amonium sulfat hingga 70% kejenuhan. Amonium sulfat ditambahkan secara bertahap pada kondisi dingin, campuran diaduk selama 1 jam dan dibiarkan mengendap semalam pada 4 °C. Endapan protein dikumpulkan dengan sentrifugasi pada kondisi dingin, kemudian dilarutkan kembali dalam buffer natrium fosfat 50 mM pH 6,5 dan didialisis menggunakan membran dengan MWCO 3,5 kDa [16,17]. Fraksi hasil dialisis selanjutnya digunakan untuk pengujian aktivitas dan kestabilan bakteriosin.

Uji Aktivitas Antibakteri

Aktivitas antibakteri fraksi bakteriosin dievaluasi dengan metode difusi agar pada media Mueller–Hinton agar terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Diameter zona jernih di sekitar area aplikasi sampel diukur dalam milimeter dan digunakan sebagai parameter aktivitas antibakteri. Metode difusi agar digunakan sebagai uji skrining semikuantitatif untuk membandingkan aktivitas relatif antarperlakuan; penetapan konsentrasi hambat minimum (MIC) dan konsentrasi bakterisidal minimum (MBC) memerlukan uji dilusi terpisah.

Uji Kestabilan Bakteriosin Terhadap pH

pH meter dikalibrasi menggunakan buffer standar pH 4 dan 7 sebelum pengukuran [18]. Stabilitas bakteriosin diuji pada pH 2–11 menggunakan buffer yang sesuai: asetat untuk kondisi asam, fosfat kalium untuk rentang mendekati netral, Tris-HCl untuk kondisi basa ringan, dan boraks–NaOH untuk pH basa. Sebanyak 5 mL larutan bakteriosin pada setiap kondisi diinkubasi selama 4 jam pada 30 °C, kemudian pH dikembalikan mendekati netral sebelum aktivitas antibakteri diuji kembali [19].

Uji Kestabilan Bakteriosin terhadap Suhu

Sebanyak 5 mL larutan bakteriosin diberi perlakuan suhu 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, dan 121 °C selama 30 menit. Setelah perlakuan, sampel didinginkan hingga mendekati suhu ruang dan aktivitas antibakterinya diuji kembali menggunakan prosedur yang sama [19].

Uji Kestabilan Bakteriosin Terhadap Enzim

Stabilitas terhadap enzim proteolitik dievaluasi menggunakan pepsin. Sepuluh mililiter larutan bakteriosin dicampur dengan 10 mg pepsin dan diinkubasi pada 37 °C selama 60 menit. Aktivitas antibakteri setelah perlakuan dibandingkan dengan aktivitas bakteriosin tanpa perlakuan enzim [19].

Uji Kestabilan Bakteriosin Terhadap Surfaktan

Pengaruh surfaktan dievaluasi dengan menambahkan Tween 20 atau Tween 80 hingga konsentrasi akhir 1% ke dalam larutan bakteriosin. Campuran diinkubasi pada 37 °C selama 60 menit, kemudian aktivitas antibakterinya diuji kembali dan dibandingkan dengan bakteriosin tanpa surfaktan [19].

Pengaruh Penyinaran UV Terhadap Kestabilan Bakteriosin

Stabilitas terhadap radiasi ultraviolet dievaluasi dengan menempatkan 5 mL larutan bakteriosin pada cawan Petri dan memaparkannya terhadap UV-C 254 nm menggunakan lampu 15 W dari jarak 30 cm selama 15 menit. Setelah paparan, aktivitas antibakteri diuji kembali dengan prosedur yang sama [19].

Analisis Data

Data diameter zona hambat pada setiap kondisi disajikan sebagai **rerata $\pm$ simpangan baku (SD)** berdasarkan tiga pengukuran yang tersedia. Besarnya aktivitas antibakteri dievaluasi berdasarkan diameter zona hambat yang terbentuk. Kategori *susceptible*, *intermediate*, dan *resistant* tidak digunakan karena kriteria interpretatif CLSI maupun EUCAST ditetapkan untuk pengujian kepekaan terhadap agen antimikroba tertentu dan tidak memiliki *breakpoint* yang tervalidasi untuk preparat bakteriosin yang digunakan dalam penelitian ini. Oleh karena itu, interpretasi hasil dilakukan secara deskriptif dengan membandingkan besarnya zona hambat serta pola perubahan aktivitas bakteriosin pada masing-masing kondisi perlakuan.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Pembuatan Sauerkraut

Fermentasi kubis ungu dengan NaCl 2% menghasilkan karakteristik sensori khas sauerkraut, berupa jaringan yang melunak, warna ungu kebiruan, rasa asin-asam, dan aroma fermentatif. Perubahan tersebut konsisten dengan proses osmosis dan aktivitas mikroba selama fermentasi sayuran, ketika garam membantu menekan mikroorganisme yang tidak diinginkan sekaligus menyeleksi BAL yang toleran terhadap kondisi fermentasi [15].

Hasil Isolasi Bakteri Asam Laktat

Isolasi pada MRS agar yang mengandung CaCO_3 1% menghasilkan koloni dengan zona jernih di sekitarnya. Zona tersebut terbentuk akibat produksi asam organik yang melarutkan CaCO_3 , sehingga dapat digunakan sebagai indikator awal isolat penghasil asam [20]. Populasi yang terhitung sebesar 999 CFU/mL. MRS merupakan media yang kaya sumber karbon, nitrogen, vitamin, dan mineral serta dirancang untuk mendukung pertumbuhan BAL; komponen penyangga dan faktor pertumbuhannya membantu mempertahankan kondisi yang sesuai untuk bakteri fermentatif [21].

Hasil Identifikasi Bakteri Asam Laktat

Tiga isolat, yaitu BAL1, BAL2, dan BAL3, menunjukkan karakter fenotipik yang konsisten dengan BAL presumtif. Karakter makroskopik dan hasil pewarnaan Gram, uji katalase, serta uji motilitas disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik fenotipik bakteri asam laktat presumtif dari sauerkraut kubis ungu

Isolat	Makroskopik Koloni					Uji Pewarnaan	Uji	Uji
	Bentuk	Tepi	Elevasi	Ukuran	Warna	Gram	Katalase	Motilitas
BAL1	Sirkular	Rata	Cembung	Sedang	Putih Kekuningan	Gram-positif	Negatif	Negatif
BAL2	Sirkular	Rata	Cembung	Sedang	Putih Kekuningan	Gram-positif	Negatif	Negatif
BAL3	Sirkular	Rata	Cembung	Kecil	Putih Kekuningan	Gram-positif	Negatif	Negatif

Ketiga isolat menunjukkan koloni sirkular berwarna putih kekuningan, Gram-positif, katalase-negatif, dan nonmotil. Karakter tersebut selaras dengan ciri umum banyak anggota BAL [21]. BAL1 dipilih untuk tahap produksi bakteriosin karena menunjukkan zona hambat terbesar terhadap kedua bakteri indikator. Meskipun karakterisasi fenotipik memadai untuk seleksi awal, identitas taksonomi pada tingkat spesies memerlukan konfirmasi molekuler, misalnya melalui sekuensing gen 16S rRNA atau pendekatan genomik [31,33].

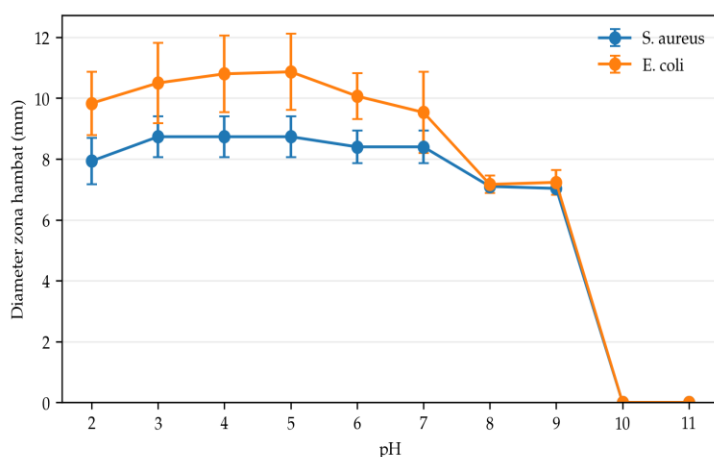
Hasil katalase-negatif menunjukkan tidak terbentuknya gelembung setelah penambahan H_2O_2 , yang mengindikasikan tidak terdeteksinya aktivitas katalase pada isolat. Pada uji motilitas, pertumbuhan yang tetap mengikuti jalur inokulasi tanpa penyebaran nyata pada media semipadat mendukung sifat nonmotil. Kombinasi ciri ini memperkuat penetapan isolat sebagai BAL presumtif, tetapi tidak menggantikan identifikasi molekuler [21,33].

Hasil Karakterisasi Bakteriosin terhadap pH

Stabilitas terhadap pH dievaluasi untuk menentukan rentang kondisi asam-basa yang masih mempertahankan aktivitas antibakteri. Data menunjukkan bahwa aktivitas tetap terdeteksi pada pH 2–9, dengan nilai tertinggi pada pH 3–5, sedangkan pada pH 10 dan 11 tidak terbentuk zona hambat. Rerata $\pm$ SD ditampilkan pada Tabel 2 dan Gambar 1.

Tabel 2. Pengaruh pH terhadap aktivitas antibakteri bakteriosin pada *S. aureus* dan *E. coli*

Bakteri Uji	pH	Zona Hambat (mm)			Rerata $\pm$ SD (mm)	Deskripsi
		I	II	III		
<i>Staphylococcus aureus</i>	2	8,8	7,6	7,4	$7,9 \pm 0,8$	Terdeteksi
	3	9,5	8,4	8,3	$8,7 \pm 0,7$	Terdeteksi
	4	9,5	8,4	8,3	$8,7 \pm 0,7$	Terdeteksi
	5	9,5	8,4	8,3	$8,7 \pm 0,7$	Terdeteksi
	6	9,0	8,2	8,0	$8,4 \pm 0,5$	Terdeteksi
	7	9,0	8,2	8,0	$8,4 \pm 0,5$	Terdeteksi
	8	7,1	7,1	7,1	$7,1 \pm 0,0$	Terdeteksi
	9	7,0	7,1	7,0	$7,0 \pm 0,1$	Terdeteksi
	10	0,0	0,0	0,0	$0,0 \pm 0,0$	Tidak terdeteksi
	11	0,0	0,0	0,0	$0,0 \pm 0,0$	Tidak terdeteksi
<i>Escherichia coli</i>	2	11,0	9,5	9,0	$9,8 \pm 1,0$	Terdeteksi
	3	12,0	10	9,5	$10,5 \pm 1,3$	Terdeteksi
	4	12,0	10,9	9,5	$10,8 \pm 1,3$	Terdeteksi
	5	12,1	10,9	9,6	$10,9 \pm 1,3$	Terdeteksi
	6	10,5	10,5	9,2	$10,1 \pm 0,8$	Terdeteksi
	7	10,2	10,4	8,0	$9,5 \pm 1,3$	Terdeteksi
	8	7,0	7,5	7,0	$7,2 \pm 0,3$	Terdeteksi
	9	7,0	7,7	7,0	$7,2 \pm 0,4$	Terdeteksi
	10	0,0	0,0	0,0	$0,0 \pm 0,0$	Tidak terdeteksi
	11	0,0	0,0	0,0	$0,0 \pm 0,0$	Tidak terdeteksi



Gambar 1. Pengaruh pH terhadap aktivitas antibakteri bakteriosin. Titik menunjukkan rerata dan error bar menunjukkan SD dari tiga pengukuran.

Pada *S. aureus*, zona hambat maksimum tercatat $8,7 \pm 0,7$ mm pada pH 3–5, sedangkan pada *E. coli* nilai tertinggi mencapai $10,9 \pm 1,3$ mm pada pH 5. Aktivitas menurun pada kondisi semakin basa dan hilang pada pH 10–11. Pola ini menunjukkan bahwa fraksi bakteriosin BAL1 lebih sesuai dengan lingkungan asam sampai mendekati netral. Stabilitas pada kondisi asam penting untuk aplikasi pada pangan fermentasi, saus, dan produk ber-pH rendah, karena banyak bakteriosin BAL mempertahankan aktivitas melalui interaksi elektrostatis dan kestabilan konformasi yang lebih baik pada pH asam [19,30,32].

Hasil tersebut sejalan dengan laporan bahwa sejumlah bakteriosin BAL menunjukkan aktivitas optimum pada pH asam dan mengalami penurunan aktivitas pada pH alkalis [19,22,30]. Perbedaan rentang stabilitas antar-bakteriosin dapat berkaitan dengan komposisi asam amino, muatan bersih, struktur sekunder,

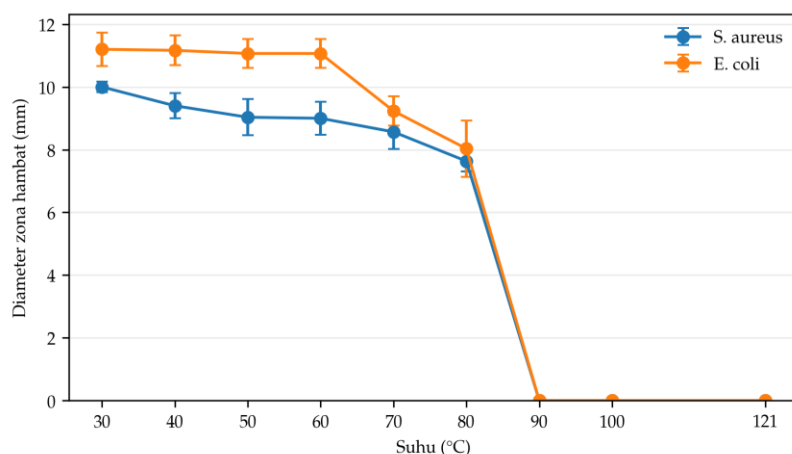
serta ikatan intramolekuler yang menentukan kestabilan peptida [30–33]. Karena identitas molekuler fraksi BAL1 belum ditentukan, mekanisme spesifik yang mendasari profil pH pada penelitian ini belum dapat dipastikan.

Hasil Karakterisasi Bakteriosin terhadap Suhu

Stabilitas terhadap suhu dievaluasi pada 30–121 °C selama 30 menit. Aktivitas tertinggi ditemukan pada suhu 30–40 °C dan secara bertahap menurun sampai 80 °C. Pada 90, 100, dan 121 °C tidak terdeteksi zona hambat pada kedua bakteri uji. Data rerata $\pm$ SD disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 2.

Tabel 3. Pengaruh suhu terhadap aktivitas antibakteri bakteriosin pada *S. aureus* dan *E. coli*

Bakteri Uji	Suhu (°C)	Zona Hambat (mm)			Rerata $\pm$ SD (mm)	Deskripsi
		I	II	III		
<i>Staphylococcus aureus</i>	30	10,1	10,1	9,8	10,0 $\pm$ 0,2	Terdeteksi
	40	9,8	9,0	9,4	9,4 $\pm$ 0,4	Terdeteksi
	50	9,7	8,7	8,7	9,0 $\pm$ 0,6	Terdeteksi
	60	9,6	8,7	8,7	9,0 $\pm$ 0,5	Terdeteksi
	70	9,2	8,2	8,3	8,6 $\pm$ 0,6	Terdeteksi
	80	8,0	7,4	7,5	7,6 $\pm$ 0,3	Terdeteksi
	90	0,0	0,0	0,0	0,0 $\pm$ 0,0	Tidak terdeteksi
	100	0,0	0,0	0,0	0,0 $\pm$ 0,0	Tidak terdeteksi
	121	0,0	0,0	0,0	0,0 $\pm$ 0,0	Tidak terdeteksi
<i>Escherichia coli</i>	30	11,8	10,8	11,0	11,2 $\pm$ 0,5	Terdeteksi
	40	11,7	10,8	11,0	11,2 $\pm$ 0,5	Terdeteksi
	50	11,6	10,8	10,8	11,1 $\pm$ 0,5	Terdeteksi
	60	11,6	10,8	10,8	11,1 $\pm$ 0,5	Terdeteksi
	70	9,6	8,7	9,4	9,2 $\pm$ 0,5	Terdeteksi
	80	8,6	7,0	8,5	8,0 $\pm$ 0,9	Terdeteksi
	90	0,0	0,0	0,0	0,0 $\pm$ 0,0	Tidak terdeteksi
	100	0,0	0,0	0,0	0,0 $\pm$ 0,0	Tidak terdeteksi
	121	0,0	0,0	0,0	0,0 $\pm$ 0,0	Tidak terdeteksi



Gambar 2. Pengaruh suhu terhadap aktivitas antibakteri bakteriosin. Titik menunjukkan rerata dan error bar menunjukkan SD dari tiga pengukuran.

Pada 30 °C, zona hambat bakteriosin mencapai 10,0 $\pm$ 0,2 mm terhadap *S. aureus* dan 11,2 $\pm$ 0,5 mm terhadap *E. coli*. Aktivitas masih terdeteksi setelah pemanasan hingga 80 °C, tetapi menurun menjadi 7,6 $\pm$ 0,3 mm dan 8,0 $\pm$ 0,9 mm. Hilangnya aktivitas pada $\geq$ 90 °C menunjukkan bahwa fraksi BAL1 tidak termasuk bakteriosin yang sangat termostabil. Secara struktural, pemanasan dapat mengubah konformasi peptida, meningkatkan agregasi, atau mengganggu interaksi intramolekuler yang diperlukan untuk aktivitas antibakteri [19,30–32].

Variasi termostabilitas merupakan karakter yang umum pada bakteriosin. Sebagian bakteriosin dari BAL mampu mempertahankan aktivitas pada pemanasan tinggi, sedangkan yang lain mengalami inaktivasi setelah paparan suhu 80–100 °C [19,23,30]. Perbedaan ini berkaitan dengan ukuran peptida, struktur

sekunder, modifikasi pascatranslasi, dan keberadaan ikatan yang menstabilkan struktur. Oleh karena itu, profil BAL1 lebih mendukung aplikasi pada pangan yang tidak mengalami proses panas berat atau pada tahap pascapemanasan.

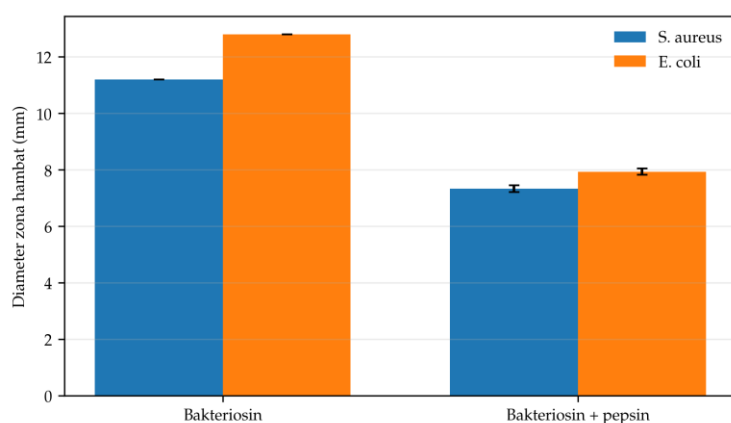
Kajian awal pada bakteriosin dari *Lactobacillus* spp. dan *Lactococcus* spp. menunjukkan bahwa kondisi asam dapat mendukung aktivitas beberapa peptida antimikroba [22]. Dalam konteks aplikasi, kestabilan BAL1 pada suhu rendah sampai sedang dapat dimanfaatkan pada produk fermentasi, produk dingin, atau sistem pengawetan kombinasi; namun, aplikasinya pada proses sterilisasi termal memerlukan strategi proteksi, enkapsulasi, atau penambahan setelah tahap pemanasan [30–32].

Hasil Karakterisasi Bakteriosin terhadap Enzim

Paparan pepsin menurunkan aktivitas antibakteri bakteriosin secara nyata pada kedua bakteri indikator. Rerata zona hambat menurun dari $11,2 \pm 0,0$ menjadi $7,3 \pm 0,1$ mm pada *S. aureus* dan dari $12,8 \pm 0,0$ menjadi $7,9 \pm 0,1$ mm pada *E. coli* (Tabel 4; Gambar 3).

Tabel 4. Pengaruh pepsin terhadap aktivitas antibakteri bakteriosin pada *S. aureus* dan *E. coli*

Bakteri Uji	Sampel	Zona Hambat (mm)			Rerata $\pm$ SD (mm)	Deskripsi
		I	II	III		
<i>Staphylococcus aureus</i>	Bakteriosin	11,2	11,2	11,2	$11,2 \pm 0,0$	Terdeteksi
	Bakteriosin + Enzim pepsin	7,2	7,4	7,4	$7,3 \pm 0,1$	Terdeteksi
<i>Escherichia coli</i>	Bakteriosin	12,8	12,8	12,8	$12,8 \pm 0,0$	Terdeteksi
	Bakteriosin + Enzim pepsin	7,8	8,0	8,0	$7,9 \pm 0,1$	Terdeteksi



Gambar 3. Pengaruh pepsin terhadap aktivitas antibakteri bakteriosin.

Penurunan aktivitas setelah perlakuan pepsin mendukung sifat proteinaceous dari komponen antibakteri yang diuji. Pepsin memutus ikatan peptida tertentu dan dapat mengubah struktur yang diperlukan untuk interaksi bakteriosin dengan membran target [19]. Respons ini juga konsisten dengan laporan bakteriosin dari *L. plantarum* dan *L. lactis* yang sensitif terhadap protease [24,25]. Sensitivitas terhadap enzim proteolitik dapat menguntungkan dari perspektif biodegradabilitas, tetapi juga perlu dipertimbangkan pada pangan atau lingkungan yang mengandung aktivitas protease tinggi.

Temuan tersebut memperkuat interpretasi bahwa zona hambat terutama berkaitan dengan komponen peptida/protein, meskipun pemurnian parsial belum cukup untuk menetapkan identitas molekul secara definitif. Karakterisasi lanjutan menggunakan SDS-PAGE, spektrometri massa, analisis urutan peptida, dan identifikasi gen penyandi bakteriosin diperlukan untuk membedakan bakteriosin spesifik dari senyawa antimikroba protein lain [30,31,33].

Hasil Karakterisasi Bakteriosin terhadap Surfaktan

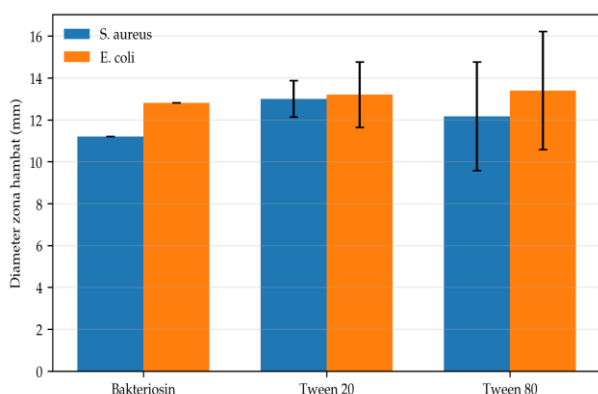
Penambahan Tween 20 dan Tween 80 meningkatkan rerata zona hambat dibandingkan bakteriosin tanpa surfaktan. Peningkatan paling konsisten terlihat pada Tween 20 terhadap *S. aureus* dan pada Tween 80 terhadap *E. coli*, meskipun variasi antarpengukuran pada Tween 80 relatif lebih besar. Data rerata $\pm$ SD disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 4.

Tabel 5. Pengaruh Tween 20 dan Tween 80 terhadap aktivitas antibakteri bakteriosin pada *S. aureus* dan *E. coli*

Bakteri Uji	Sampel	Zona Hambat (mm)			Rerata $\pm$ SD (mm)	Deskripsi
		I	II	III		
<i>Staphylococcus aureus</i>	Bakteriosin	11,2	11,2	11,2	11,2 $\pm$ 0,0	Terdeteksi
	Bakteriosin + Tween 20	13,5	13,5	12,0	13,0 $\pm$ 0,9	Terdeteksi
	Bakteriosin + Tween 80	14,0	13,3	9,2	12,2 $\pm$ 2,6	Terdeteksi
<i>Escherichia coli</i>	Bakteriosin	12,8	12,8	12,8	12,8 $\pm$ 0,0	Terdeteksi
	Bakteriosin + Tween 20	15,0	12,3	12,3	13,2 $\pm$ 1,6	Terdeteksi
	Bakteriosin + Tween 80	15,5	14,5	10,2	13,4 $\pm$ 2,8	Terdeteksi

Tween 20 dan Tween 80 merupakan surfaktan nonionik yang dapat mengubah sifat antarmuka dan meningkatkan dispersi senyawa hidrofobik dalam sistem berair [26]. Pada penelitian ini, penambahan Tween 20 meningkatkan zona hambat menjadi $13,0 \pm 0,9$ mm terhadap *S. aureus* dan $13,2 \pm 1,6$ mm terhadap *E. coli*, sedangkan Tween 80 menghasilkan $12,2 \pm 2,6$ mm dan $13,4 \pm 2,8$ mm. Peningkatan ini dapat berkaitan dengan perbaikan kelarutan/dispersi fraksi bakteriosin atau perubahan permeabilitas membran bakteri yang memfasilitasi interaksi peptida antimikroba dengan target sel [17,27,30].

Efek sinergis surfaktan terhadap bakteriosin telah dilaporkan sebelumnya [19,27]. Pada bakteri Gram-negatif, membran luar kaya lipopolisakarida merupakan penghalang penting bagi banyak bakteriosin; agen yang meningkatkan permeabilitas membran dapat memperbesar akses bakteriosin ke membran sitoplasma [17,28,30]. Hal ini dapat membantu menjelaskan mengapa aktivitas terhadap *E. coli* pada penelitian ini relatif tinggi. Namun, karena hanya Tween 20 dan Tween 80 yang diuji, mekanisme peningkatan aktivitas tidak dapat dipastikan tanpa pengujian membran, kebocoran sel, atau metode biokimia lainnya.

**Gambar 4.** Pengaruh surfaktan terhadap aktivitas antibakteri bakteriosin.

Hasil Karakterisasi Bakteriosin terhadap Sinar UV

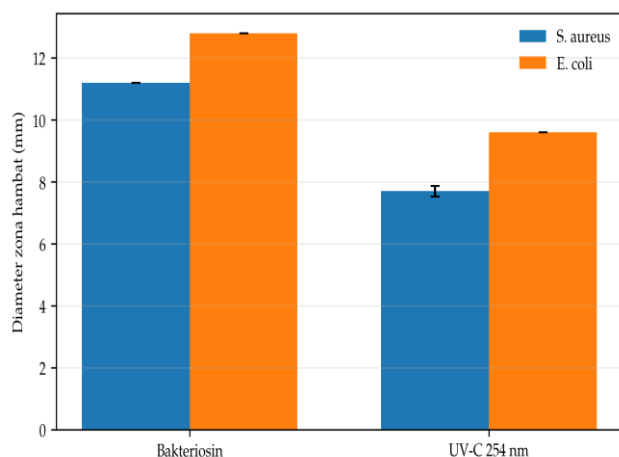
Paparan UV-C 254 nm selama 15 menit menurunkan aktivitas antibakteri pada kedua bakteri indikator. Zona hambat terhadap *S. aureus* berkurang dari $11,2 \pm 0,0$ menjadi $7,7 \pm 0,2$ mm, sedangkan terhadap *E. coli* menurun dari $12,8 \pm 0,0$ menjadi $9,6 \pm 0,0$ mm. Data disajikan pada Tabel 6 dan Gambar 5.

Tabel 6. Pengaruh UV-C terhadap aktivitas antibakteri bakteriosin pada *S. aureus* dan *E. coli*

Bakteri Uji	Sinar	Zona Hambat (mm)			Rerata $\pm$ SD (mm)	Deskripsi
		I	II	III		
<i>Staphylococcus aureus</i>	Bakteriosin	11,2	11,2	11,2	11,2 $\pm$ 0,0	Terdeteksi
	Bakteriosin + UV	7,9	7,6	7,6	7,7 $\pm$ 0,2	Terdeteksi
<i>Escherichia coli</i>	Bakteriosin	12,8	12,8	12,8	12,8 $\pm$ 0,0	Terdeteksi
	Bakteriosin + UV	9,6	9,6	9,6	9,6 $\pm$ 0,0	Terdeteksi

Penurunan zona hambat setara sekitar 31,3% terhadap *S. aureus* dan 25,0% terhadap *E. coli*. UV-C berenergi lebih tinggi dibandingkan UV-A dan dapat memicu fotooksidasi residu asam amino aromatik atau perubahan struktur protein, sehingga aktivitas peptida antimikroba dapat menurun. Besarnya efek bergantung pada panjang gelombang, dosis, komposisi peptida, dan matriks larutan. Laporan sebelumnya

menunjukkan respons bakteriosin terhadap UV yang bervariasi dari stabil hingga mengalami penurunan aktivitas [19,29].



Gambar 5. Pengaruh UV-C 254 nm terhadap aktivitas antibakteri bakteriosin. Batang menunjukkan rerata dan error bar menunjukkan SD dari tiga pengukuran.

Perbedaan dengan laporan yang menunjukkan stabilitas penuh setelah paparan UV kemungkinan mencerminkan perbedaan jenis bakteriosin, panjang gelombang, intensitas radiasi, durasi paparan, dan komposisi matriks [19,29]. Karena dosis iradiasi aktual dan kontrol gelap tidak didokumentasikan pada naskah sumber, hasil ini paling tepat diinterpretasikan sebagai respons terhadap kondisi paparan yang digunakan, bukan sebagai nilai ketahanan UV yang dapat digeneralisasi. Secara praktis, sensitivitas terhadap UV-C perlu dipertimbangkan apabila bakteriosin akan digunakan bersama proses dekontaminasi berbasis UV.

Keterbatasan Penelitian

Identifikasi BAL pada penelitian ini masih didasarkan pada karakter fenotipik dan belum dikonfirmasi dengan sekuensing 16S rRNA atau analisis genom. Bakteriosin baru dimurnikan secara parsial sehingga berat molekul, urutan peptida, gen penyandi, dan mekanisme kerja spesifik belum ditentukan. Aktivitas antibakteri dievaluasi dengan metode difusi agar terhadap dua bakteri indikator dan belum mencakup MIC/MBC, spektrum patogen pangan yang lebih luas, uji keamanan, stabilitas penyimpanan, perbandingan dengan bakteriosin komersial, maupun pengujian pada matriks pangan nyata. Temuan penelitian ini karena itu diposisikan sebagai karakterisasi awal yang memerlukan validasi molekuler dan fungsional pada tahap berikutnya.

Kesimpulan

Sauerkraut kubis ungu menghasilkan tiga isolat BAL presumtif, yaitu BAL1, BAL2, dan BAL3, dan BAL1 menunjukkan aktivitas antibakteri terbesar. Fraksi bakteriosin BAL1 tanpa perlakuan menghasilkan zona hambat 11,2 mm terhadap *Staphylococcus aureus* dan 12,8 mm terhadap *Escherichia coli*. Aktivitas paling baik dipertahankan pada kondisi asam, terutama pH 3–5, dan suhu 30–40 °C; aktivitas masih terdeteksi hingga pH 9 dan suhu 80 °C, tetapi tidak terdeteksi pada pH 10–11 maupun suhu ≥90 °C. Pepsin dan UV-C menurunkan aktivitas, sedangkan Tween 20 dan Tween 80 meningkatkan zona hambat. Profil tersebut menunjukkan bahwa BAL1 merupakan sumber kandidat bakteriosin yang prospektif untuk sistem biopreservasi pangan ber-pH asam dan proses bersuhu rendah–sedang. Konfirmasi identitas molekuler, pemurnian dan karakterisasi peptida, uji keamanan, MIC/MBC, stabilitas penyimpanan, serta validasi pada matriks pangan diperlukan sebelum aplikasi praktis dapat ditetapkan.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan finansial maupun nonfinansial yang dapat memengaruhi pelaksanaan, analisis, atau interpretasi penelitian ini.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas Muslim Nusantara atas dukungan fasilitas dan bantuan selama pelaksanaan penelitian.

Referensi

- [1] Dewi MA, Mubarik NR, Desniar D, Budiarti S. Aplikasi Bakteri Asam Laktat dari Inasua sebagai Biopreservatif Ikan Patin (*Pangasius sp.*). J Pengolah Has Perikan Indones 2022;25:152–62.
- [2] Rahayu YP, Lubis MS, Nuraida N. PKM Pembuatan Produk Fermentasi Probiotik Acar Timun (Pickled Cucumber) Sebagai Pangan Fungsional Untuk Kesehatan Dalam Membangun Inovasi Di Era Revolusi Industri 4.0 Dan Society 5.0 Kepada Guru Sma Plus Taruna Akterlis Medan. Pros. Semin. Nas. Has. Pengabdi., vol. 5, 2022, p. 331–42.
- [3] Istiani HG, Agustiani E. Higiene penjamah, sanitasi pengolahan makanan, dan penyajian makanan berhubungan dengan keberadaan bakteri *Escherichia coli* pada makanan jajanan anak sekolah. J Kesehat Pertiwi 2021;3:173–8.
- [4] Putri NM, Fevria R, Advinda L, Chatri M. Total Bakteri Asam Laktat (BAL) dari Sauerkraut Kubis Singgalang (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) dengan Konsentrasi Garam yang Berbeda. J Sains Dan Kesehat 2023;5:107–12.
- [5] Sari Lubis M, Yuniarti R. Pemanfaatan pewarna alami kulit buah naga merah serta aplikasinya pada makanan. J Pengabdi Kpd Masy 2020;4.
- [6] Nasution HM, Miswanda D. Karakterisasi, skrining fitokimia dan uji aktivitas antiinflamasi ekstrak etanol daun dadap serep (*Erythrina variegata* Hassk.) terhadap tikus. Pros. Semin. Nas. Has. Penelit., vol. 5, 2022, p. 107–12.
- [7] Mastuti S. Potensi Bakteriosin pada Bakteri Asam Laktat terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. J Ilm Kesehat Sandi Husada 2022;11:25–30.
- [8] Timothy B, Iliyasu AH, Anvikar AR. Bacteriocins of lactic acid bacteria and their industrial application. Curr Top Lact Acid Bact Probiotics 2021;7:1–13.
- [9] Nasution HM, Situmorang RS. Analisis Bioautografi dan Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol Daun Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) Terhadap Bakteri *Propionibacterium acne*. J FARMANESIA 2022;9:16–21.
- [10] Rahayu YP, Mambang DEP, Nasution HM, Ramadani A. Deteksi cemaran *Staphylococcus aureus* pada ayam krispy lokal di sekitar salah satu universitas kota Medan. J Pharm Sci 2023;1356–62.
- [11] Rahayu YP, Lubis MS, Mutti-in K. Formulasi Sediaan Sabun Cair Antiseptik Ekstrak Biji Pepaya (*Carica papaya* L.) Dan Uji Efektivitas Antibakterinya Terhadap *Staphylococcus aureus*. Pros. Semin. Nas. Has. Penelit., vol. 4, 2021, p. 373–88.
- [12] Andarilla W, Sari R, Apridamayanti P. Optimasi aktivitas bakteriosin yang dihasilkan oleh *Lactobacillus casei* dari sotong kering. J Pendidik Inform Dan Sains 2018;187–96.
- [13] Shavira A, Cahyadi AI, Windria S. Kajian Pustaka: Aktivitas Antibakteri Dari Bakteriosin *Lactobacillus* spp. Terhadap Bakteri Resistan. J Sain Vet 2022;40:60.
- [14] Deegan LH, Cotter PD, Hill C, Ross P. Bacteriocins: biological tools for bio-preservation and shelf-life extension. Int Dairy J 2006;16:1058–71.
- [15] Siska SMT. Jumlah Bakteri Asam Laktat (Bal) Pada Sauerkraut Dari Kubis Ungu (*Brasica oleracea* var. *capitata* Lf rubra) Dengan Konsentrasi Garam Yang Berbeda. Biocelebes 2023;17:38–45.
- [16] Goyal C, Malik RK, Pradhan D. Purification and characterization of a broad spectrum bacteriocin produced by a selected *Lactococcus lactis* strain 63 isolated from Indian dairy products. J Food Sci Technol 2018;55:3683–92.
- [17] Elayaraja S, Annamalai N, Mayavu P, Balasubramanian T. Production, purification and characterization of bacteriocin from *Lactobacillus murinus* AU06 and its broad antibacterial spectrum. Asian Pac J Trop Biomed 2014;4:S305–11.
- [18] Lubis MS, Ayuningrum A, Rahmi S, Zulhij F. Efektivitas Anti-Aging Dalam Sediaan Serbuk Masker Wajah Dengan Kombinasi Ampas Tahu-Kolang Kaling. J FARMANESIA 2022;9:1–15.
- [19] Sunaryanto R, Tarwadi T. Isolasi dan karakterisasi bakteriosin yang dihasilkan oleh *Lactobacillus lactis* dari sedimen laut. J Pascapanen Dan Bioteknol Kelaut Dan Perikan 2015;10:11–8.

- [20] Falakh MF, Asri MT. Uji potensi isolat bakteri asam laktat dari nira siwalan (*Borassus flabellifer* L.) sebagai antimikroba terhadap *Salmonella typhi*. *LenteraBio Berk Ilm Biol* 2022;11:514–24.
- [21] Hasbi N, Rosyunita R, Rahim AR, Parwata WSS, Ayunda RD, Farras A, et al. Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Asam Laktat Asal Feses Bayi Secara Fenotipik. *Pros SAINTEK* 2024;6:101–9.
- [22] Reddy G V, Shahani KM, Friend BA, Chandan RC. Natural antibiotic activity of *Lactobacillus acidophilus* and *bulgaricus*. III. Production and partial purification of bulgarican from *Lactobacillus bulgaricus*. 1983.
- [23] Leelavatcharamas V, Arbsuwan N, Apiraksakorn J, Laopaiboon P, Kishida M. Thermotolerant bacteriocin-producing lactic acid bacteria isolated from Thai local fermented foods and their bacteriocin productivity. *Biocontrol Sci* 2011;16:33–40.
- [24] François ZN, Marie KP, Noëlle TAH, Emeric GWR. Antimicrobial activity of a bacteriocin produced by *Lactobacillus plantarum* 29V and strain's viability in palm kernel oil. *Int J Nutr Food Sci* 2013;2:102–8.
- [25] Rajaram G, Manivasagan P, Thilagavathi B, Saravanakumar A. Purification and characterization of a bacteriocin produced by *Lactobacillus lactis* isolated from marine environment. *Adv J Food Sci Technol* 2010;2:138–44.
- [26] Fiyani A. Analisis Konsep Kimia Terkait dengan Pembuatan Surfaktan dari Ampas Tebu. *J Ris Pendidik Kim* 2020;10:94–101.
- [27] Chen Y-S, Yanagida F. Characteristics and Effects of Temperature and Surfactants on Bacteriocin-Like Inhibitory Substance Production of Soil-Isolated *Lactobacillus animalis* C060203: Y.-S. Chen and F. Yanagida. *Curr Microbiol* 2006;53:384–7.
- [28] Altuntas EG. Bacteriocins: A natural way to combat with pathogens. *Microb Pathog Strateg Combat Them Sci Technol Educ Méndez-Vilas, A, Ed* 2013:1007–15.
- [29] Fatima D, Mebrouk K. Characterization and determination of the factors affecting anti-listerial bacteriocins from *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus pentosaceus* isolated from dairy milk products. *African J Food Sci* 2013;7:35–44.
- [30] Putri DA, Lei J, Rossiana N, Syaputri Y. Biopreservation of food using bacteriocins from lactic acid bacteria: classification, mechanisms, and commercial applications. *Int J Microbiol*. 2024;2024:8723968. doi:10.1155/ijm/8723968.
- [31] Liang Q, Zhou W, Peng S, Liang Z, Liu Z, Zhu C, et al. Current status and potential of bacteriocin-producing lactic acid bacteria applied in the food industry. *Curr Res Food Sci*. 2025;10:100997. doi:10.1016/j.crfs.2025.100997.
- [32] Parada-Fabián JC, Álvarez-Contreras AK, Natividad-Bonifacio I, Hernández-Robles MF, Vázquez-Quñones CR, Quñones-Ramírez EI, et al. Toward safer and sustainable food preservation: a comprehensive review of bacteriocins in the food industry. *Biosci Rep*. 2025;45(4):277–302. doi:10.1042/BSR20241594.
- [33] Xu J, Wang Z, Shi Z, Liu M, Fan X, Zhang T, et al. Detection and development of lactic acid bacteria bacteriocins—A hint on the screening of bacteriocins of lactic acid bacteria. *LWT*. 2025;222:117627. doi:10.1016/j.lwt.2025.117627.
- [34] Murray PR, Rosenthal KS, Pfaller MA. *Medical Microbiology*. 10th ed. Philadelphia: Elsevier; 2025.