



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Nexus Mikrobioma–Metabolit–Sensoris pada Fermentasi Terasi: Tinjauan Kritis

Microbiome–Metabolite–Sensory Nexus in Shrimp Paste Fermentation: A Critical Review

Fuad Sauqi Isnain¹, Lalu Danu Prima Arzani^{2*}

¹Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia, fuadsauqi@staff.unram.ac.id

²Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia, danuprima@faperta.unmul.ac.id

*Corresponding Author: Lalu Danu Prima Arzani, E-mail: danuprima@faperta.unmul.ac.id

Artikel Review

Article History:

Received: 11 Jul, 2025

Revised: 27 Sep, 2025

Accepted: 25 Oct, 2025

Kata Kunci:

Amina biogenik; Fermentasi;
Kualitas sensoris; Metabolit;
Metabolomik; Mikrobioma;
Pengendalian starter; Senyawa
volatil; Terasi bergaram tinggi.

Keywords:

Biogenic amines; Fermentation;
High-salt shrimp paste;
Metabolites; Metabolomics;
Microbiome; Sensory quality;
Starter culture; Volatile
compounds

DOI: [10.56338/jks.v8i10.9557](https://doi.org/10.56338/jks.v8i10.9557)

ABSTRAK

Terasi merupakan produk fermentasi bergaram tinggi yang mutunya ditentukan oleh keterkaitan antara jenis mikroba, pembentukan metabolit, dan karakteristik sensoris. Tinjauan kritis ini merangkum temuan terbaru mengenai peran mikroba halotoleran seperti *Tetragenococcus*, *Bacillus*, dan *Staphylococcus* dalam proses proteolisis dan lipolisis yang menghasilkan asam amino, peptida, asam lemak, dan senyawa volatil penentu umami, aroma, dan warna. Selain membentuk cita rasa, sebagian mikroba dapat menghasilkan amina biogenik, terutama histamin, yang menimbulkan risiko keamanan. Pendekatan metagenomik dan metabolomik mengungkap profil mikroba dan kimia yang berguna untuk pengembangan starter dan pengendalian fermentasi terasi.

ABSTRACT

Shrimp paste is a high-salt fermented product whose quality is shaped by interactions between microbial communities, metabolite formation, and sensory attributes. This critical review synthesizes recent findings on how halotolerant microbes, particularly *Tetragenococcus*, *Bacillus*, and *Staphylococcus*, drive proteolysis and lipolysis, producing amino acids, peptides, fatty acids, and volatile compounds that contribute to the definition of umami, aroma, and color. While these pathways enhance flavor, certain microbes also produce biogenic amines, such as histamine, which raises safety concerns. Emerging metagenomic and metabolomic studies reveal distinct microbial and chemical fingerprints that can inform the development of starter cultures and enhance the control of traditional shrimp paste fermentation.

PENDAHULUAN

Fermentasi produk perikanan tradisional, khususnya terasi (atau dikenal sebagai shrimp paste, kapi di Thailand, atau belacan di Malaysia), memegang peranan sentral dalam lanskap kuliner Asia Tenggara. Produk ini bukan sekadar penyedap rasa; ia adalah "bom" umami yang dihasilkan dari degradasi protein kompleks menjadi asam amino bebas dan peptida pendek melalui proses fermentasi garam tinggi (high-salt fermentation) (W. Li et al., 2022; Pongsetkul et al., 2017)). Meskipun secara historis diproduksi melalui metode artisanal yang mengandalkan inokulasi spontan, pemahaman kita terhadap bioproses di balik terasi telah bergeser drastis dalam satu dekade terakhir. Kita tidak lagi melihat terasi hanya sebagai produk pengawetan, melainkan sebagai bioreaktor kompleks di mana konsorsium mikroba bekerja dalam lingkungan ekstrem untuk menghasilkan profil flavor yang spesifik (Belleggia & Osimani, 2023a; Che et al., 2021a; Jeong et al., 2017)).

Tantangan utama dalam industri terasi saat ini adalah inkonsistensi mutu dan isu keamanan pangan. Proses fermentasi yang melibatkan kadar garam tinggi (15–25%) menciptakan tekanan selektif yang unik, yang secara teoritis hanya mengizinkan pertumbuhan mikroba halofilik dan halotoleran (Kleekayai et al., 2016). Namun, dinamika ini seringkali tidak terprediksi. Penelitian terdahulu seringkali terbatas pada metode kultur konvensional (culture-dependent) yang gagal memotret keberadaan bakteri yang sulit dikultur (viable but non-culturable) namun metabolik aktif. Studi terbaru yang memanfaatkan High-Throughput Sequencing (HTS) telah membuka mata kita bahwa diversitas mikroba dalam terasi jauh lebih rumit dari sekadar dominasi bakteri asam laktat (W. Li et al., 2022). Misalnya, peran genus *Tetragenococcus* dan *Bacillus* kini diketahui sangat vital dalam sekresi protease dan lipase ekstraseluler yang menjadi kunci pembentukan aroma (Barbieri et al., 2019; Jin et al., 2019; Kleekayai et al., 2016; X. Li, Zhang, et al., 2023).

Lebih jauh, terdapat knowledge gap yang krusial mengenai korelasi langsung antara taksa mikroba spesifik dengan metabolit sekunder yang dihasilkan. Literatur sering membahas profil mikroba dan profil kimia secara terpisah. Padahal, pembentukan senyawa volatil kunci seperti pirazin (kacang/panggang) dan senyawa sulfur (bawang/daging) adalah hasil langsung dari jalur metabolisme mikroba tertentu yang perlu dipetakan dengan presisi (Pongsetkul et al., 2022; Pongsetkul J et al., 2019)). Di sisi lain, pembentukan amina biogenik, terutama histamin, tetap menjadi pedang bermata dua. Keberadaan bakteri penghasil histamin (histamine-formers) seperti spesies *Staphylococcus* tertentu dalam lingkungan fermentasi spontan menimbulkan risiko keamanan pangan yang tidak bisa diabaikan, meskipun bakteri tersebut juga berkontribusi pada (Kurnianto et al., 2025; X. Li, Wang, et al., 2023; Mah & Hwang, 2009)

Oleh karena itu, tinjauan pustaka ini disusun untuk tidak sekadar merekapitulasi studi yang ada, melainkan untuk mensintesis hubungan kausalitas antara dinamika komunitas mikroba (berdasarkan data metagenomik terbaru) dan profil metabolomik (senyawa rasa dan aroma). Fokus ulasan ini ditekankan pada mekanisme biokimiawi di mana mikrobiota spesifik mengubah bahan baku udang menjadi produk akhir yang kaya rasa, serta mengevaluasi keseimbangan antara pembentukan flavor yang diinginkan dan mitigasi senyawa berbahaya seperti histamin. Pemahaman mendalam ini esensial bagi pengembangan kultur starter terdefinisi (defined starter culture) di masa depan untuk modernisasi industri terasi.

METODE

Artikel ini merupakan tinjauan pustaka naratif-kritis yang disusun berdasarkan pencarian literatur sistematis pada basis data Scopus, Web of Science, PubMed, dan Google Scholar. Pencarian dilakukan untuk publikasi tahun 2000–2025 menggunakan kombinasi kata kunci: “shrimp paste”, “terasi”, “kapi”, “belacan”, “high-salt fermentation”, “microbial community”, “metagenomic”, “volatile compounds”, “flavor”, “histamine”. Studi yang diikutkan adalah artikel penelitian asli yang: (i) mengkaji produk terasi atau produk fermentasi udang/ikan sejenis dengan kadar garam tinggi, dan (ii) melaporkan data

terkait komunitas mikroba, profil metabolit (senyawa volatil/nonvolatil), parameter fisikokimia, atau keamanan (amina biogenik, patogen). Artikel tinjauan, laporan tanpa data primer, dan publikasi non-ilmiah dikeluarkan. Studi yang memenuhi kriteria disintesis secara kualitatif dan dikelompokkan ke dalam lima tema utama: (1) lingkungan fisikokimia fermentasi, (2) dinamika komunitas mikroba, (3) perubahan kimiawi dan aktivitas enzim, (4) hubungan mikroba–senyawa penyusun rasa dan aroma, serta (5) isu keamanan pangan dan pendekatan biokontrol. Pendekatan ini memungkinkan integrasi bukti molekuler dan sensoris untuk memetakan jalur kausal dari bahan baku udang menuju produk terasi dengan kualitas rasa dan keamanan tertentu.

HASIL

Kondisi Fisik dan Kimia Lingkungan Fermentasi

Fermentasi terasi berlangsung dalam lingkungan fisikokimia yang sangat selektif, di mana garam, aktivitas air (aw), pH, dan oksigen menentukan arah pertumbuhan mikroba serta jalur metabolik yang terbentuk. Temuan dalam review ini menunjukkan bahwa dinamika parameter tersebut tidak hanya memengaruhi keberlangsungan mikroorganisme, tetapi juga menentukan pembentukan senyawa flavor dan keamanan produk.

Pengaruh Garam terhadap Seleksi Mikroba dan Aktivitas Enzim

Sintesis literatur pada tinjauan ini mengindikasikan bahwa konsentrasi garam 15–25% (b/b) berfungsi sebagai faktor seleksi utama. Garam menekan mikroba pembusuk gram-negatif seperti *Pseudomonas* dan *Acinetobacter*, sehingga memberikan ruang bagi mikroba halotoleran dan halofilik untuk mendominasi (Helmi et al., 2022; Pongsetkul et al., 2017).

Review ini mengungkap bahwa garam juga memodulasi aktivitas enzimatis. Studi terbaru pada pasta udang Xiajiang menunjukkan bahwa beberapa protease, termasuk leucine arylamidase, mencapai aktivitas optimal pada salinitas tinggi, sedangkan enzim lain mengalami inhibisi (Che et al., 2021b; Song et al., 2024). Dengan demikian, kadar garam memegang peranan ganda: sebagai agen pengendali komunitas mikroba dan sebagai regulator jalur biokimia pembentuk cita rasa.

Pola Perubahan pH selama Fermentasi

Temuan review menunjukkan bahwa pH terasi umumnya meningkat secara bertahap menuju kondisi netral atau sedikit basa (pH 7,0–7,6). Pola ini merupakan hasil interaksi antara produksi asam oleh Bakteri Asam Laktat (BAL) dan pembentukan amonia serta TVB-N melalui proteolisis (Pongsetkul et al., 2017; Song et al., 2024). Berdasarkan hasil pemetaan studi, dapat disimpulkan bahwa pH optimal fermentasi terasi berada pada rentang yang mendukung pembentukan aroma dan flavor tanpa memicu pembusukan lebih lanjut.

Aktivitas Air dan Kondisi Oksigen

Aktivitas air yang turun hingga 0,70–0,75 akibat pengeringan dan penggaraman menekan mikroba patogen seperti *Salmonella*, tetapi tetap memungkinkan metabolisme mikroba halotoleran seperti *Staphylococcus* (Faithong & Benjakul, 2014). Review ini menunjukkan bahwa struktur terasi yang padat menciptakan kondisi mikroaerofilik hingga anaerobik, yang menguntungkan pertumbuhan *Tetragenococcus* dan *Bacillus*, sekaligus menekan kapang aerob penyebab off-flavor (Kpoclou et al., 2023).

Perubahan Populasi dan Dominasi Mikroba Selama Fermentasi

Sintesis literatur pada tinjauan ini mengindikasikan bahwa fermentasi terasi ditandai oleh perubahan komunitas mikroba yang cepat dan terarah. Dalam 7–14 hari pertama, mikroflora laut sensitif garam menghilang, lalu digantikan oleh mikroba fermentasi tahan garam seperti *Tetragenococcus*, *Bacillus*, dan *Staphylococcus* non-patogen (Jeong et al., 2017; Kleekayai et al., 2016).

Temuan dalam review ini menunjukkan bahwa *Tetragenococcus halophilus* menjadi spesies dominan pada fase pematangan. Dominasi ini berkontribusi terhadap stabilisasi pH, kapasitas proteolitik, dan pembentukan senyawa umami. Sementara itu, *Bacillus* spp. berperan dalam pelepasan enzim ekstraseluler, terutama selama penjemuran, yang mempercepat pelepasan peptida dan prekursor aroma (Barbieri et al., 2019).

Review ini mengungkap bahwa fermentasi jangka panjang juga melibatkan kehadiran bakteri *Lentibacillus* dan beberapa Archaea halofilik (K. Li et al., 2020; Pakdeeto et al., 2007). Mikroorganisme ini diprediksi berperan dalam pembentukan senyawa volatil dan karakteristik sensoris terasi tua.

Proses Perubahan Kimiawi dan Aktivitas Enzim

Temuan review menunjukkan bahwa proteolisis merupakan jalur biokimia utama pembentukan cita rasa terasi. Enzim endogenus seperti cathepsin tetap aktif pada awal fermentasi meskipun pada salinitas tinggi, dan aktivitas ini dilanjutkan oleh protease mikroba, menghasilkan asam amino pembentuk rasa gurih seperti glutamat dan aspartat (Faithong & Benjakul, 2014; Song et al., 2024).

Sintesis literatur ini mengindikasikan bahwa lipolisis dan oksidasi lemak turut membentuk aroma khas terasi. Produk lipolisis seperti asam lemak bebas dan senyawa volatil (misalnya 3-metilbutanol dan ester) dihasilkan melalui aktivitas *Staphylococcus* dan *Bacillus*, dan berperan menghilangkan bau amis serta meningkatkan kompleksitas aroma (Zheng et al., 2025; Yu et al., 2022).

Berdasarkan pemetaan studi, IMP yang stabil pada garam tinggi berinteraksi sinergis dengan glutamat untuk memperkuat intensitas umami (Lin et al., 2022). Reaksi Maillard selama penjemuran menghasilkan melanoidin dan pirazin, yang berkontribusi pada warna coklat dan aroma panggang (Pongsetkul et al., 2017).

Keterkaitan Aktivitas Mikroba dengan Kualitas Sensoris

Review ini mengungkap bahwa kualitas sensoris terasi merupakan hasil langsung dari interaksi spesifik antara mikroba dominan dan substrat udang. Dominasi *Tetragenococcus* dan *Bacillus* secara konsisten dikaitkan dengan peningkatan kadar asam amino umami dan peptida kokumi (Jeong et al., 2017; Kuroda, 2022).

Temuan review ini menunjukkan bahwa *Staphylococcus* non-patogen berperan dalam sintesis senyawa volatil kelompok alkohol dan ester, yang memperkaya aroma fermentatif dan mengurangi aroma amis. Sementara itu, *Bacillus* berkontribusi pada pembentukan pirazin seperti tetrametilpirazin, yang memberikan aroma panggang dan rasa matang khas terasi (Pongsetkul et al., 2023). Hubungan antara aktivitas mikroba, metabolit kunci, dan karakteristik sensoris produk dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hubungan Aktivitas Mikroba Dominan dengan Komponen Kimia dan Karakteristik Sensoris Terasi

Kelompok Mikroba	Aktivitas Enzimatis Utama	Komponen Kimia yang Dihasilkan	Karakteristik Rasa/Aroma (Sensoris)	Referensi
<i>Tetragenococcus halophilus</i>	Pemecahan Protein (Proteolisis)	Asam Glutamat, Asam Aspartat	Rasa: Gurih (<i>Umami</i>) yang kuat	(Kurnianto et al., 2025; Yu et al., 2022)
<i>Bacillus</i> spp.	Pembentukan Pirazin & Pemecahan Protein	Tetrametilpirazin, Peptida Pendek	Aroma: Panggang (<i>Roasted</i>), Kacang Rasa: Tebal (<i>Kokumi</i>)	(Kuroda, 2022; Naufali et al., 2025; Pongsetkul et al., 2023)
<i>Staphylococcus</i> (Non-patogen)	Pemecahan Lemak (Lipolisis)	3-metilbutanol, 2-nonanon, Ester	Aroma: Nuansa fermentasi, sedikit berbau keju dan buah (menghilangkan bau amis)	(X. Li, Wang, et al., 2023)
<i>Virgibacillus</i>	Pemecahan Peptida Tahan Garam	Asam Amino Rantai Cabang	Rasa/Aroma: Pahit (dalam kadar rendah) dan aroma khas terasi tua	(Yao et al., 2025)

Aspek Keamanan Pangan dan Strategi Pencegahannya

Sintesis literatur pada tinjauan ini mengindikasikan bahwa histamin merupakan risiko keamanan utama dalam produksi terasi. Selain bakteri pembusuk fase awal, beberapa strain *Staphylococcus* dan *Tetragenococcus* memiliki gen histidin dekarboksilase yang dapat memicu pembentukan histamin pada kondisi pH berfluktuasi (Jeong et al., 2017; Kuroda, 2022).

Review ini mengungkap bahwa risiko kontaminan lain berasal dari *Staphylococcus aureus* dan *Bacillus cereus* yang mampu bertahan pada salinitas tinggi dan fase pengeringan sebagai spora (Belleggia & Osimani, 2023). Temuan penting dalam review ini menunjukkan bahwa penggunaan kultur starter non-histaminogenik dan strain bakteri dengan kemampuan mendegradasi histamin, terutama *Tetragenococcus halophilus* dan *Bacillus* terpilih, merupakan strategi mitigasi yang efektif (Kurnianto et al., 2025). Ringkasan mekanisme bahaya dan strategi pencegahan berbasis biocontrol dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Mekanisme Bahaya Keamanan dan Strategi Pencegahan Tertarget pada Fermentasi Terasi

Kategori Bahaya Keamanan	Bakteri Penyebab Utama	Cara Pembentukan atau Bertahan Hidup	Strategi Pencegahan (Biokontrol)	Referensi
Penumpukan Amina Biogenik (Histamin)	Bakteri pembusuk (fase awal); <i>Staphylococcus</i> spp., jenis <i>Tetragenococcus</i> tertentu	Perubahan Kimia: Bakteri mengubah asam amino histidin menjadi histamin saat kondisi asam.	Penghancuran Racun: Penambahan bibit bakteri <i>T. halophilus</i> atau <i>Bacillus</i> yang memiliki enzim pengurai amina.	(Jeong et al., 2017; K. Li et al., 2020; W. Li et al., 2022)
Bakteri Pembentuk Spora	Kelompok <i>Bacillus cereus</i>	Spora: Membentuk pelindung (spora) tahan panas/garam; tumbuh lagi saat dijemur.	Persaingan: Penggunaan bibit Bakteri Asam Laktat untuk menghambat pertumbuhan spora jahat.	(Pongsetkul et al., 2023)
Bakteri Tahan Garam	(Mah & Hwang, 2009) <i>aureus</i>	Pelindung Sel: Menumpuk zat pelindung di dalam sel untuk menyeimbangkan tekanan garam.	Pengasaman Cepat: Memastikan penurunan pH yang cepat di awal proses untuk mematikan bakteri.	

DISKUSI

Tujuan utama review ini adalah memahami bagaimana mikrobioma, metabolit, dan karakteristik sensoris saling berhubungan dalam fermentasi terasi bergaram tinggi. Temuan dalam review ini menunjukkan bahwa proses fermentasi sangat dipengaruhi oleh faktor fisikokimia (seperti kadar garam, pH, dan aktivitas air), dinamika mikroba, serta jalur biokimia yang menghasilkan cita rasa dan risiko keamanan. Sintesis literatur pada tinjauan ini mengindikasikan bahwa kontribusi utama penelitian ini adalah menyatukan temuan mikrobiologi, kimia pangan, dan sensoris dalam satu kerangka yang lebih mudah dipahami.

Berdasarkan hasil pemetaan studi, dapat disimpulkan bahwa kadar garam 15–25% menjadi penentu awal komunitas mikroba, karena garam menekan mikroba pembusuk dan memberikan ruang bagi mikroba halotoleran seperti *Tetragenococcus*, *Bacillus*, dan *Staphylococcus* (Helmi et al., 2022; Pongsetkul et al., 2017). Garam tidak hanya berfungsi sebagai pengawet, tetapi juga mengatur aktivitas enzim protease dan lipase, sehingga memengaruhi pembentukan asam amino, peptida, dan senyawa volatil yang menentukan aroma dan rasa umami (Che et al., 2021b; Song et al., 2024).

Review ini mengungkap bahwa *Tetragenococcus halophilus* berperan penting dalam peningkatan asam amino yang menambah cita rasa gurih, sementara *Bacillus* membantu melepaskan peptida dan menghasilkan senyawa aroma panggang seperti pirazin (Kleekayai et al., 2016; Kuroda, 2022;

Pongsetkul et al., 2023). Selain itu, *Staphylococcus* non-patogen dilaporkan mendukung pembentukan ester dan alkohol volatil yang mengurangi aroma amis dan meningkatkan kompleksitas aroma (Li et al., 2023; Yu et al., 2022). Pola ini sejalan dengan studi pada produk ikan fermentasi lain (Belleggia & Osimani, 2023), menunjukkan bahwa kombinasi mikroba dan kondisi fermentasi sangat menentukan profil akhir terasi.

Walaupun demikian, beberapa penelitian terdahulu menunjukkan hasil yang tidak seragam. Misalnya, nilai pH akhir dan TVB-N berbeda antar studi meskipun semuanya menganggap produk telah “matang” (Pongsetkul et al., 2017, 2022). Perbedaan ini kemungkinan disebabkan variasi bahan baku, rasio garam, ventilasi udara, atau durasi penjemuran yang tidak selalu dijelaskan. Kehadiran *Archaea* dan *Lentibacillus* pada fermentasi jangka panjang (Li et al., 2020; Pakdeeto et al., 2007) juga masih perlu diteliti karena datanya belum konsisten. Temuan-temuan yang tidak seragam ini dapat dijelaskan oleh kurangnya standarisasi proses dan metode analisis antar produsen dan antar studi.

Aspek keamanan pangan menjadi perhatian penting. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pembentukan histamin tidak hanya berasal dari mikroba pembusuk, tetapi juga dapat diproduksi oleh beberapa strain *Staphylococcus* dan *Tetragenococcus* yang membawa gen histidin dekarboksilase (Jeong et al., 2017; Mah & Hwang, 2009; Kurnianto et al., 2025). Review ini mengungkap bahwa penggunaan kultur starter non-histaminogenik dapat menjadi strategi yang menjanjikan untuk meningkatkan keamanan tanpa mengorbankan mutu sensoris (Li et al., 2023; Pongsetkul et al., 2023).

Implikasi praktis dari temuan ini cukup jelas. Untuk produsen skala kecil, peningkatan konsistensi rasio garam, penggunaan bahan baku yang segar, dan pemantauan pH sederhana sudah dapat meningkatkan keamanan dan kualitas. Untuk industri dan regulator, penetapan standar batas histamin serta pedoman proses yang memperhatikan dinamika mikrobiologis sangat diperlukan.

Review ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, sebagian besar penelitian berasal dari negara Asia tertentu sehingga gambaran variasi global mungkin belum lengkap. Kedua, perbedaan metode analisis mikroba (culture-dependent vs. metagenomik) menyebabkan hasil sulit dibandingkan secara langsung. Ketiga, banyak studi hanya mengambil sampel satu waktu sehingga tidak menggambarkan perubahan fermentasi secara menyeluruh.

Ke depan, penelitian yang diperlukan meliputi studi fermentasi terasi secara longitudinal dengan menggabungkan metagenomik, metabolomik, profil volatil, dan uji sensoris; pemetaan peran strain tertentu terhadap cita rasa dan keamanan; serta uji penerapan kultur starter pada skala UMKM dan industri. Topik lain yang sangat penting adalah karakterisasi terasi dari berbagai daerah di Indonesia untuk memahami kekhasan lokal yang dapat menjadi dasar standarisasi nasional. Secara keseluruhan, pembahasan ini menegaskan bahwa kualitas dan keamanan terasi ditentukan oleh interaksi kompleks antara mikrobioma, metabolit, dan proses fermentasi. Pendekatan berbasis sains diperlukan untuk menjaga warisan kuliner ini tetap aman, konsisten, dan kompetitif di pasar modern.

KESIMPULAN

Secara keseluruhan, tinjauan ini menyimpulkan bahwa pembuatan terasi adalah proses biokimia yang terstruktur, di mana kualitas produk akhir dibentuk oleh interaksi antara kondisi lingkungan, komunitas mikroba, dan jalur enzimatis. Garam berperan sebagai faktor seleksi utama yang menentukan mikroba mana yang dapat bertahan, sehingga hanya bakteri halotoleran seperti *Tetragenococcus* dan *Bacillus* yang mendominasi selama fermentasi. Bakteri-bakteri ini kemudian memecah protein menjadi asam amino pembentuk rasa gurih serta menguraikan lemak menjadi senyawa volatil yang memberi aroma khas. Temuan dalam literatur menunjukkan bahwa sumber cita rasa dan potensi bahaya seperti histamin berasal dari aktivitas mikroba yang sama, sehingga fermentasi yang tidak terkontrol dapat menimbulkan risiko keamanan pangan. Dengan demikian, penggunaan bibit bakteri terstandar menjadi langkah penting untuk memastikan terasi memiliki rasa yang konsisten sekaligus aman dikonsumsi, terutama bagi industri yang membutuhkan kualitas stabil pada setiap batch produksi.

REKOMENDASI

Rekomendasi penelitian berikut perlu dipertimbangkan:

1. Melakukan studi fermentasi secara penuh dari awal hingga matang untuk memahami dinamika mikroba dan metabolit.
2. Mengintegrasikan pendekatan multi-omics dengan uji sensoris agar hubungan mikrobioma–metabolit–rasa lebih jelas.
3. Mengisolasi dan mengkarakterisasi strain mikroba fungsional untuk pengembangan kultur starter yang aman dan stabil.
4. Memperdalam penelitian keamanan pangan, terutama terkait pembentukan dan pencegahan histamin.
5. Melakukan kajian terasi Indonesia secara lebih luas, mencakup variasi bahan baku dan proses tradisional.
6. Menguji penerapan hasil penelitian pada skala UMKM dan industri, agar rekomendasi dapat diimplementasikan secara nyata.

KETERBATASAN

Keterbatasan dalam review ini meliputi:

1. Cakupan geografis yang sempit, karena sebagian besar studi berasal dari negara tertentu di Asia.
2. Metode penelitian yang sangat beragam, sehingga hasil sulit dibandingkan secara langsung.
3. Minimnya data longitudinal, sehingga dinamika fermentasi belum tergambar menyeluruh.
4. Identifikasi mikroba masih umum (level genus) dan belum menggambarkan peran strain spesifik.
5. Kajian keamanan pangan masih terbatas, terutama terkait pembentukan histamin dan bakteri tahan garam.
6. Keterhubungan dengan praktik UMKM belum kuat karena banyak studi dilakukan dalam kondisi laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Barbieri, F., Montanari, C., Gardini, F., & Tabanelli, G. (2019). Biogenic Amine Production by Lactic Acid Bacteria: A Review. *Foods*, 8(1). <https://doi.org/10.3390/foods8010017>
- Belleggia, L., & Osimani, A. (2023a). Fermented fish and fermented fish-based products, an ever-growing source of microbial diversity: A literature review. *Food Research International*, 172, 113112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113112>
- Belleggia, L., & Osimani, A. (2023b). Fermented fish and fermented fish-based products, an ever-growing source of microbial diversity: A literature review. *Food Research International*, 172, 113112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113112>
- Che, H., Yu, J., Sun, J., Lu, K., & Xie, W. (2021a). Bacterial composition changes and volatile compounds during the fermentation of shrimp paste: Dynamic changes of microbial communities and flavor composition. *Food Bioscience*, 43, 101169. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101169>
- Che, H., Yu, J., Sun, J., Lu, K., & Xie, W. (2021b). Bacterial composition changes and volatile compounds during the fermentation of shrimp paste: Dynamic changes of microbial

- communities and flavor composition. *Food Bioscience*, 43, 101169. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101169>
- Faithong, N., & Benjakul, S. (2014). Changes in antioxidant activities and physicochemical properties of Kapi, a fermented shrimp paste, during fermentation. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2463–2471. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0762-4>
- Helmi, H., Astuti, D. I., Putri, S. P., Sato, A., Laviña, W. A., Fukusaki, E., & Aditiawati, P. (2022). Dynamic Changes in the Bacterial Community and Metabolic Profile during Fermentation of Low-Salt Shrimp Paste (Terasi). *Metabolites*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/metabo12020118>
- Jeong, D.-W., Heo, S., & Lee, J.-H. (2017). Safety assessment of *Tetragenococcus halophilus* isolates from doenjang, a Korean high-salt-fermented soybean paste. *Food Microbiology*, 62, 92–98. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.10.012>
- Jin, Y. H., Lee, J. H., Park, Y. K., Lee, J.-H., & Mah, J.-H. (2019). The Occurrence of Biogenic Amines and Determination of Biogenic Amine-Producing Lactic Acid Bacteria in Kkakdugi and Chonggak Kimchi. *Foods*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/foods8020073>
- Kleekayai, T., Pinitklang, S., Laohakunjit, N., & Suntornsuk, W. (2016). Volatile components and sensory characteristics of Thai traditional fermented shrimp pastes during fermentation periods. *Journal of Food Science and Technology*, 53(3), 1399–1410. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2142-3>
- Kpoclou, Y. E., Anihouvi, V. B., Azokpota, P., Soumanou, M. M., Douny, C., Igout, A., Galanakis, C. M., Scippo, M.-L., & Hounhouigan, D. J. (2023). Preservation practices and safety of fresh shrimp (*Penaeus notialis*) sold in Beninese markets. *Discover Food*, 3(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s44187-023-00042-y>
- Kurnianto, M. A., Adirama, S. I., Xu, W., Winarti, S., & Rini, D. M. (2025). Enhancing the Quality of Traditional Indonesian Shrimp Paste (Terasi) Through *Tetragenococcus halophilus* 54M106-3 Inoculation: Physicochemical, Sensory, and Bioactivity Insights. *Foods*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/foods14142419>
- Kuroda, M. (2022). Perceptive mechanism and sensory characteristics of kokumi substances. *Science Talks*, 2, 100011. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sctalk.2022.100011>
- Li, J., Liu, Y., Yang, H., Cai, L., Nong, W., & Guan, W. (2024). The Activation of Endogenous Proteases in Shrimp Muscle Under Water-Free Live Transport. *Foods*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/foods13213472>
- Li, K., Sang, X., Zhu, Y., Zhang, G., Bi, J., Hao, H., Hou, H., & Qian, F. (2020). *Lentibacillus panjinensis* sp. nov., Isolated from Shrimp Paste, a Traditional Chinese Fermented Seafood. *Current Microbiology*, 77(9), 1997–2001. <https://doi.org/10.1007/s00284-020-02122-z>
- Li, W., Mi, S., Liu, X., Sang, Y., & Sun, J. (2022). Variations in the physicochemical properties and bacterial community composition during fermentation of low-salt shrimp paste. *Food Research International*, 154, 111034. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111034>
- Li, X., Wang, Y., Sun, Y., Ji, L., Liu, T., Li, H., & Jiang, X. (2023). Nutritional evaluation, flavor characteristics and microbial community of shrimp paste made from different materials and variance analysis. *Food Chemistry Advances*, 2, 100268. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100268>
- Li, X., Zhang, Y., Ma, X., Zhang, G., & Hou, H. (2023). Effects of a Novel Starter Culture on Quality Improvement and Putrescine, Cadaverine, and Histamine Inhibition of Fermented Shrimp Paste. *Foods*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/foods12152833>
- Lin, D., Sun, L.-C., Chen, Y.-L., Liu, G.-M., Miao, S., & Cao, M.-J. (2022). Shrimp spoilage mechanisms and functional films/coatings used to maintain and monitor its quality during storage. *Trends in Food Science & Technology*, 129, 25–37. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.020>
- Mah, J.-H., & Hwang, H.-J. (2009). Inhibition of biogenic amine formation in a salted and fermented

- anchovy by *Staphylococcus xylosus* as a protective culture. *Food Control*, 20(9), 796–801. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.10.005>
- Naufali, M. N., Pravetri, K. G., Ulpiana, M., & Hidayatulloh, A. (2025). Physicochemical and Microbiological Characterization of Shrimp and Anchovy Paste from West Nusa Tenggara. *Pro Food*, 11(2), 227–240. <https://doi.org/10.29303/profood.v11i2.563>
- Pakdeeto, A., Tanasupawat, S., Thawai, C., Moonmangmee, S., Kudo, T., & Itoh, T. (2007). *Lentibacillus kapialis* sp. nov., from fermented shrimp paste in Thailand. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 57(2), 364–369. <https://doi.org/10.1099/ijms.0.64315-0>
- Pongsetkul J, Benjakul, :, Sumpavapol, :, Vongkamjan K, & Osako K. (2019). Short communication: Chemical compositions, volatile compounds and sensory property of salted shrimp paste (Kapi) produced from *Acetes vulgaris* and *Macrobrachium lanchesteri*. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 18(4), 2019. <https://doi.org/10.22092/ijfs.2019.118094>
- Pongsetkul, J., Benjakul, S., & Boonchuen, P. (2022). Changes in Volatile Compounds and Quality Characteristics of Salted Shrimp Paste Stored in Different Packaging Containers. *Fermentation*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/fermentation8020069>
- Pongsetkul, J., Benjakul, S., & Boonchuen, P. (2023). *Bacillus subtilis* K-C3 as Potential Starter to Improve Nutritional Components and Quality of Shrimp Paste and Corresponding Changes during Storage at Two Alternative Temperatures. *Fermentation*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/fermentation9020107>
- Pongsetkul, J., Benjakul, S., Vongkamjan, K., Sumpavapol, P., & Osako, K. (2017). Changes in lipids of shrimp (*Acetes vulgaris*) during salting and fermentation. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(11), 1700253. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ejlt.201700253>
- Song, X., Liao, D., Zhou, Y., Huang, Q., Lei, S., & Li, X. (2024). Correlation between physicochemical properties, flavor characteristics and microbial community structure in Dushan shrimp sour paste. *Food Chemistry: X*, 23, 101543. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101543>
- Sumardianto, A., Purnamayati, L., & Rianingsih, L. (2024). Sodium content in fermented shrimp paste with varying packaging materials. *Food Research*, 8(3), 187–191. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.8\(3\).140](https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(3).140)
- Thierry, A., Baty, C., Marché, L., Chuat, V., Picard, O., Lortal, S., & Valence, F. (2023). Lactofermentation of vegetables: An ancient method of preservation matching new trends. *Trends in Food Science & Technology*, 139, 104112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.07.009>
- Yao, H., Liu, S., Chang, R., Liu, T., Zhou, Z., & Mao, J. (2025). Changes of shrimp myofibrillar proteins hydrolyzed by *Virgibacillus* proteases: Structural characterization, mechanism visualization, and flavor compound formation. *Food Research International*, 200, 115470. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115470>
- Yu, J., Lu, K., Zi, J., Yang, X., & Xie, W. (2022). Characterization of aroma profiles and aroma-active compounds in high-salt and low-salt shrimp paste by molecular sensory science. *Food Bioscience*, 45, 101470. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101470>
- Zheng, X., Ji, H., Liu, S., Shi, W., & Lu, Y. (2025). Shrimp lipids improve flavor by regulating characteristic aroma compounds in hot air-dried shrimp. *Food Chemistry*, 465, 142065. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142065>