



MIKROORGANISME ADAPTIF DALAM EKSTRAK DAN MINUMAN SEBAGAI SUMBER SENYAWA BIOAKTIF: REVIEW ARTIKEL

Meinanda Grabilia¹, Sylvia Rizky Prima²

^{1,2}Program Studi Magister Farmasi, Fakultas Farmasi, Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta
grabiliameinanda30@gmail.com¹, sylvia.prima@uta45jakarta.ac.id²

Abstrak

Fermentasi merupakan proses bioteknologi yang berperan penting dalam meningkatkan kualitas sensori, keamanan, serta nilai fungsional pangan dan minuman. Perkembangan penelitian terbaru menunjukkan bahwa mikroorganisme adaptif seperti bakteri asam laktat, khamir, bakteri asam asetat, dan komunitas simbiotik pada kombucha mampu menghasilkan berbagai senyawa bioaktif melalui mekanisme respons terhadap tekanan lingkungan fermentasi. Artikel ini bertujuan untuk menganalisis secara sistematis peran mikroorganisme adaptif dalam ekstrak tanaman dan minuman fermentasi sebagai sumber senyawa bioaktif berdasarkan 25 studi ilmiah periode 2019–2025. Metode yang digunakan adalah *systematic literature review* dengan penelusuran pada database terindeks internasional. Hasil kajian menunjukkan bahwa adaptasi mikroba terhadap kondisi seperti pH rendah, tekanan osmotik, dan keterbatasan nutrisi memicu perubahan jalur metabolisme yang menghasilkan metabolit sekunder bernilai biologis tinggi, antara lain polifenol terkonversi, asam organik, peptida bioaktif, eksopolisakarida, vitamin B, serta gamma-aminobutyric acid (GABA). Senyawa-senyawa tersebut terbukti memiliki aktivitas antioksidan, antimikroba, antiinflamasi, imunomodulator, serta potensi probiotik. Selain itu, interaksi sinergis antar mikroorganisme dalam sistem fermentasi campuran, seperti pada kombucha dan kefir, turut memperkuat pembentukan bioaktivitas produk akhir. Penelitian ini menegaskan bahwa fermentasi tidak hanya berfungsi sebagai metode pengawetan tradisional, tetapi juga sebagai strategi inovatif dalam pengembangan pangan fungsional dan nutrasetikal berbasis mikroorganisme adaptif. Temuan ini memberikan landasan ilmiah bagi optimalisasi proses fermentasi untuk meningkatkan kualitas dan manfaat kesehatan produk berbasis ekstrak dan minuman fermentasi.

Kata Kunci: Adaptasi Mikroba, Bakteri Asam Laktat, Fermentasi

Abstract

Fermentation is a biotechnological process that significantly enhances sensory quality, safety, and functional value of food and beverages. Recent studies indicate that adaptive microorganisms, including lactic acid bacteria, yeasts, acetic acid bacteria, and symbiotic microbial communities in kombucha, play a crucial role in producing bioactive compounds through metabolic responses to fermentation-induced environmental stress. This study aims to systematically analyze the role of adaptive microorganisms in plant extracts and fermented beverages as sources of bioactive compounds based on 25 scientific publications from 2019 to 2025. A systematic literature review approach was employed using internationally indexed databases. The findings demonstrate that microbial adaptation to low pH, osmotic pressure, and nutrient limitations triggers metabolic shifts leading to the production of biologically active secondary metabolites, such as transformed polyphenols, organic acids, bioactive peptides, exopolysaccharides, B vitamins, and gamma-aminobutyric acid (GABA). These compounds exhibit antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory, immunomodulatory, and probiotic properties. Furthermore, synergistic interactions among microorganisms in mixed fermentation systems, such as kombucha and kefir, enhance the overall bioactivity of the final product. This review confirms that fermentation extends beyond traditional preservation methods and represents a strategic approach for developing functional foods and nutraceutical products based on adaptive microbial activity. The results provide scientific evidence supporting the optimization of fermentation processes to maximize the health-promoting potential of plant extracts and fermented beverages.

Keyword: Adaptive Microorganisms, Bioactive Compounds, Fermentation

@Jurnal Ners Prodi Sarjana Keperawatan & Profesi Ners FIK UP 2026

* Corresponding author :

Address : Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta

Email : grabiliameinanda30@gmail.com

PENDAHULUAN

Pemanfaatan proses fermentasi dalam pengolahan pangan dan minuman tidak hanya bertujuan memperbaiki cita rasa dan memperpanjang masa simpan, tetapi juga meningkatkan karakteristik fungsional produk melalui pembentukan senyawa bioaktif (Sari et al., 2024). Transformasi biokimia yang terjadi selama fermentasi melibatkan aktivitas enzimatis mikroorganisme yang mampu menghidrolisis, mereduksi, maupun mensintesis berbagai komponen kimia kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana dan mudah diserap tubuh (Chabiburrochman & Kurniawan, 2024). Dalam konteks ini, mikroorganisme adaptif seperti bakteri asam laktat (BAL), khamir, dan bakteri asam asetat memainkan peran sentral karena memiliki fleksibilitas metabolik yang tinggi terhadap variasi substrat, baik berupa ekstrak tanaman, sari buah, sereal, maupun infus herbal.

Kemampuan adaptif tersebut memungkinkan mikroorganisme bertahan pada kondisi lingkungan yang fluktuatif, termasuk perubahan pH yang signifikan, tekanan osmotik akibat konsentrasi gula tinggi, keterbatasan nitrogen, serta akumulasi metabolit yang bersifat toksik bagi sel (Muhlis et al., 2022). Respons adaptasi ini tidak bersifat pasif, melainkan melibatkan regulasi genetik dan fisiologis yang kompleks. Aktivasi gen stres, peningkatan sintesis protein pelindung, serta penyesuaian komposisi membran sel merupakan bagian dari mekanisme yang menjaga viabilitas mikroba. Perubahan tersebut berdampak langsung pada pergeseran jalur metabolisme primer menuju produksi metabolit sekunder yang bernilai biologis tinggi (Sedjati et al., 2022).

Metabolit sekunder yang dihasilkan selama fermentasi meliputi peptida bioaktif hasil hidrolisis protein, eksopolisakarida yang berperan sebagai imunomodulator, vitamin kelompok B yang disintesis oleh mikroba tertentu, serta senyawa fenolik terkonversi dengan aktivitas antioksidan lebih kuat dibandingkan bentuk asalnya (Faris, 2020). Selain itu, asam organik seperti asam laktat dan asam asetat tidak hanya berfungsi sebagai pengawet alami, tetapi juga memiliki efek antimikroba terhadap patogen. Kombinasi senyawa tersebut berkontribusi terhadap efek fisiologis seperti aktivitas antiinflamasi, peningkatan respons imun, penghambatan pertumbuhan mikroorganisme patogen, serta perlindungan terhadap stres oksidatif.

Fermentasi kombucha, komunitas simbiotik bakteri dan khamir (SCOBY) menunjukkan dinamika interaksi metabolik yang saling melengkapi. Khamir menghidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa, kemudian menghasilkan etanol dan karbon dioksida. Bakteri asam asetat selanjutnya mengoksidasi etanol menjadi asam asetat dan berbagai asam organik lainnya (Faris, 2020). Proses ini tidak hanya menghasilkan profil rasa khas, tetapi juga meningkatkan kandungan asam glukuronat, asam glukonat, dan turunan polifenol yang memiliki potensi antioksidan dan detoksifikasi. Adaptasi komunitas mikroba tersebut terhadap lingkungan asam dan kaya gula memperlihatkan bagaimana tekanan selektif justru mendorong optimalisasi produksi senyawa fungsional (Hujjatusnaini et al., 2022).

Meskipun berbagai penelitian telah melaporkan manfaat mikroorganisme dalam produk fermentasi secara terpisah, kajian yang secara komprehensif mengintegrasikan aspek adaptasi mikroba dengan dinamika produksi senyawa bioaktif pada beragam substrat masih relatif terbatas. Sebagian besar studi berfokus pada satu jenis produk atau satu kelompok mikroorganisme tanpa menelaah hubungan kausal antara mekanisme adaptasi seluler dan peningkatan bioaktivitas senyawa. Oleh karena itu, diperlukan sintesis literatur yang sistematis untuk mengidentifikasi pola umum, mekanisme molekuler yang mendasari, serta implikasi aplikatifnya dalam pengembangan pangan fungsional dan nutrasetikal berbasis fermentasi. Penelitian ini bertujuan menyusun dan menganalisis bukti empiris dari berbagai penelitian internasional guna memperjelas keterkaitan antara adaptasi mikroorganisme dan produksi metabolit bioaktif pada ekstrak tanaman maupun minuman fermentasi.

METODE

Desain Tinjauan Literatur

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengumpulkan dan menganalisis artikel ilmiah terkait mikroorganisme adaptif dalam ekstrak dan minuman fermentasi sebagai sumber senyawa bioaktif. Pencarian dilakukan melalui database Scopus, PubMed, ScienceDirect, dan Google Scholar. Dari hasil penelusuran awal sebanyak 50 artikel, setelah proses seleksi diperoleh 25 studi yang relevan dan sesuai dengan topik penelitian.

Strategi Pencarian dan Seleksi

Pencarian literatur dilakukan pada publikasi tahun 2020–2025 dengan kata kunci seperti “*adaptive microorganisms*”, “*bioactive compounds*”, “*fermented beverages*”, “*lactic acid bacteria*”, dan “*kombucha*”.

Kriteria inklusi penelitian ini yaitu:

1. Artikel terbit di jurnal *peer-reviewed* dan terindeks internasional.
2. Membahas mikroorganisme adaptif pada ekstrak atau minuman fermentasi.
3. Menjelaskan jenis senyawa bioaktif yang dihasilkan serta manfaatnya.
4. Memiliki data eksperimen atau kajian sistematis yang jelas.

Analisis Data

Data dari 25 artikel terpilih kemudian dianalisis secara kualitatif dengan membandingkan jenis mikroorganisme, kondisi adaptasi, serta senyawa bioaktif yang dihasilkan. Informasi utama seperti jenis mikroba, substrat fermentasi, dan bioaktivitas disajikan dalam bentuk tabel ringkasan literatur untuk memudahkan pemahaman dan melihat pola hubungan antar variabel penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan penelitian pada periode 2020–2025 mendapatkan hasil berupa peran mikroorganisme adaptif dalam meningkatkan kandungan senyawa bioaktif pada produk fermentasi. Data pada tabel tersebut menunjukkan hubungan yang jelas antara jenis mikroorganisme,

substrat fermentasi, dan senyawa bioaktif yang dihasilkan. Hasil tersebut ditunjukkan pada tabel 1, sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Review Artikel

Penulis & Tahun	Mikroorganisme	Produk	Senyawa Bioaktif	Temuan
(Ziemlewska et al., 2021)	SCOBY (kombucha)	Kombucha Yerba Mate	Polifenol, antioksidan	Kombucha meningkatkan aktivitas antioksidan
(Gaggia et al., 2018)	Lactobacillus spp.	Minuman nabati fermentasi	Asam organik, probiotik	Fermentasi meningkatkan probiotik dan asam organik
(Leonard et al., 2021)	L. plantarum	Herbal fermentasi	Flavonoid	Bioaktivitas flavonoid meningkat
(Hajar-Azhari et al., 2024)	BAL	Kimchi	Fenolik, peptida	Peningkatan aktivitas antioksidan
(Zhang et al., 2024)	SCOBY	Kombucha herbal	Asam galat, antiinflamasi	Fermentasi menghasilkan efek antiinflamasi
(Singh & Kumar, 2025)	BAL	Makanan fermentasi	Metabolit sekunder	Peningkatan bioaktivitas dibanding kontrol
(Bai et al., 2025)	Lactobacillus spp.	Ginseng fermentasi	Saponin aktif	Aktivitas antioksidan meningkat
(Künili et al., 2025)	BAL & yeast	Fermentasi pangan	Fenolik & peptida	Fermentasi meningkatkan nilai fungsional
(Oleksy-Sobczak et al., 2020)	L. kefir	Kefir	Eksopolisakarida	Eksopolisakarida probiotik meningkat
(Jayasree Joshi et al., 2024)	L. acidophilus	Produk fermentasi susu	Asam laktat	Meningkatkan efek probiotik
(Venegas-Ortega et al., 2019)	L. casei	Produk susu	Peptida bioaktif	Aktivitas antioksidan meningkat
(Sandhu et al., 2017)	BAL	Fermentasi sereal	Asam fenolik	Antioksidan meningkat signifikan
(Dissanayake et al., 2025)	L. plantarum	Jus buah fermentasi	Vitamin B, GABA	Nilai nutrisi meningkat setelah fermentasi
(Dufresne & Farnworth, 2000)	Yeast & Acetobacter	Kombucha	Asam organik	Efek antimikroba kuat
Widyastuti et al., 2021	BAL	Tape singkong	Asam laktat	Aktivitas antijamur meningkat
(Halake & Chinthapalli, 2020)	L. fermentum	Jus buah	GABA	Aktivitas neuroprotektif
(Sun et al., 2022)	BAL & yeast	Minuman fermentasi	Peptida, vitamin	Peran probiotik dan bioaktif kuat
(Gupta et al., 2023)	BAL & yeast	Kefir	Peptida bioaktif	Aktivitas antibakteri meningkat
(Vieira et al., 2021)	BAL	Kefir	Antimikroba, eksopolisakarida	Nilai fungsional kefir meningkat
(Mafe et al., 2025)	Bacillus spp.	Fermentasi herbal	Antioksidan	Peningkatan antioksidan dibanding awal
(Li et al., 2023)	Yeast	Fermentasi buah	Asam organik, ester	Aroma & aktivitas fungsional meningkat
Oliveira et al., 2024	BAL	Minuman probiotik	Asam organik	Stabilitas probiotik tinggi
(de Deus et al., 2024)	Acetobacter	Kombucha	Polifenol & asam organik	Antioksidan tinggi
(Chen et al., 2025)	Lacticaseibacillus	Kombucha wort	Bioaktif phenolics	Peningkatan fenolik
(Wang et al., 2024)	Yeast & LAB	Kombucha herbal	Bioaktif campuran	Kombucha herbal punya aktivitas fungsional

Sumber: Data Peneliti, 2026

Berdasarkan Tabel 1, sebanyak 25 studi yang dipublikasikan pada periode 2019-2025 menunjukkan bahwa mikroorganisme adaptif seperti bakteri asam laktat (BAL), khamir, bakteri asam asetat, serta komunitas SCOBY memiliki peran signifikan dalam meningkatkan kandungan senyawa bioaktif pada berbagai produk fermentasi. Substrat yang digunakan dalam penelitian tersebut meliputi kombucha, kefir, jus buah fermentasi, produk susu, sereal, hingga fermentasi herbal.

PEMBAHASAN

Pembahasan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa mikroorganisme adaptif memiliki peran strategis dalam meningkatkan kandungan dan aktivitas senyawa bioaktif pada berbagai produk fermentasi. Sejumlah studi periode 2019-2025 melaporkan bahwa bakteri asam laktat (BAL), khamir, serta bakteri asam asetat mampu

memodifikasi komposisi kimia substrat melalui aktivitas enzimatis dan regulasi metabolik yang responsif terhadap tekanan lingkungan fermentasi. Misalnya, fermentasi kombucha dilaporkan meningkatkan kadar polifenol dan aktivitas antioksidan secara signifikan akibat interaksi sinergis antara khamir dan bakteri asam asetat (Mafe et al., 2025). Proses ini melibatkan konversi sukrosa menjadi etanol oleh khamir, yang kemudian dioksidasi menjadi asam organik oleh bakteri, sehingga menghasilkan lingkungan asam yang mendukung stabilitas senyawa fenolik dan pembentukan metabolit baru.

Pada fermentasi berbasis bakteri asam laktat, peningkatan bioaktivitas banyak dikaitkan dengan produksi asam laktat, peptida bioaktif, eksopolisakarida, serta senyawa seperti gamma-aminobutyric acid (GABA). (Sandhu et al., 2017) menunjukkan bahwa fermentasi jus buah oleh *Lactobacillus plantarum* tidak hanya meningkatkan kadar vitamin B, tetapi juga menghasilkan GABA

yang berpotensi sebagai agen neuroprotektif. Hasil serupa dilaporkan oleh (Dissanayake et al., 2025) yang menemukan peningkatan signifikan produksi GABA pada fermentasi jus buah menggunakan BAL tertentu. Selain itu, peningkatan aktivitas antioksidan dan antimikroba pada produk fermentasi sereal dan sayuran juga dilaporkan berkaitan dengan transformasi asam fenolik menjadi bentuk yang lebih aktif secara biologis (Künili et al., 2025).

Dari sisi mekanisme adaptasi, mikroorganisme menghadapi kondisi stres seperti pH rendah, akumulasi asam organik, serta tekanan osmotik akibat konsentrasi gula tinggi. Respons adaptif ini mencakup aktivasi gen stres, perubahan komposisi membran sel, serta peningkatan ekspresi enzim protektif. (Singh & Kumar, 2025) menjelaskan bahwa tekanan lingkungan fermentasi dapat memicu pergeseran metabolisme primer ke metabolisme sekunder, sehingga meningkatkan produksi senyawa bioaktif. (Bai et al., 2025) juga melaporkan bahwa fermentasi ginseng oleh BAL mengubah struktur saponin menjadi bentuk yang lebih aktif secara antioksidan, menunjukkan bahwa adaptasi mikroba berkontribusi langsung pada peningkatan bioaktivitas bahan alami.

Meskipun banyak penelitian telah melaporkan peningkatan senyawa bioaktif pada produk fermentasi, sebagian besar studi masih berfokus pada satu jenis substrat atau satu spesies mikroorganisme secara terpisah. Kajian tentang kombucha, misalnya, lebih banyak menyoroti perubahan komposisi kimia tanpa membahas secara mendalam dinamika molekuler adaptasi mikroba (Chen et al., 2025). Demikian pula, penelitian pada kefir dan produk susu fermentasi cenderung menekankan aspek probiotik tanpa mengaitkannya dengan regulasi genetik atau respons stres seluler (Mafe et al., 2025). Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian dalam mengintegrasikan aspek adaptasi fisiologis mikroorganisme dengan produksi metabolit sekunder secara komprehensif.

Keterbaruan penelitian ini terletak pada pendekatan integratif yang menghubungkan tiga komponen utama, yaitu jenis mikroorganisme adaptif, mekanisme respons terhadap tekanan fermentasi, dan hasil akhir berupa peningkatan senyawa bioaktif pada berbagai substrat. Dengan menggunakan literatur terbaru periode 2019-2025, penelitian ini tidak hanya merangkum temuan peningkatan antioksidan, antimikroba, dan imunomodulator, tetapi juga menekankan hubungan kausal antara kondisi lingkungan fermentasi dan perubahan jalur metabolisme mikroba. Pendekatan ini memberikan perspektif yang lebih sistematis dibandingkan studi sebelumnya yang umumnya bersifat parsial. Oleh karena itu, kajian ini berkontribusi dalam memperkuat dasar ilmiah pengembangan produk pangan dan minuman fungsional berbasis fermentasi dengan memanfaatkan potensi adaptif mikroorganisme secara optimal.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur terhadap 25 penelitian periode 2019–2025, dapat disimpulkan bahwa mikroorganisme adaptif memiliki peran yang sangat penting dalam meningkatkan kandungan dan

aktivitas senyawa bioaktif pada ekstrak tanaman dan minuman fermentasi. Adaptasi terhadap tekanan lingkungan fermentasi seperti pH rendah, konsentrasi gula tinggi, dan keterbatasan nutrisi memicu perubahan jalur metabolisme mikroba sehingga menghasilkan metabolit sekunder bernilai fungsional, termasuk polifenol aktif, asam organik, peptida bioaktif, eksopolisakarida, vitamin, dan GABA. Senyawa tersebut terbukti memberikan manfaat kesehatan seperti aktivitas antioksidan, antimikroba, antiinflamasi, serta efek probiotik.

Selain itu, sistem fermentasi campuran yang melibatkan interaksi antara bakteri dan khamir menunjukkan potensi bioaktivitas yang lebih tinggi dibandingkan kultur tunggal. Hal ini menegaskan bahwa dinamika adaptasi mikroba dan interaksi komunitas berperan dalam menentukan kualitas fungsional produk akhir. Dengan demikian, fermentasi berbasis mikroorganisme adaptif memiliki prospek besar dalam pengembangan pangan fungsional dan produk nutrasetikal yang inovatif. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengeksplorasi mekanisme molekuler adaptasi mikroba secara lebih mendalam serta mengoptimalkan kondisi fermentasi agar produksi senyawa bioaktif dapat dimaksimalkan secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bai, J., Zhu, Z., Luo, W., Jang, M., Pan, B., Zhu, Y., Zhang, J., Zhao, Y., & Xiao, X. (2025). Microbial Fermentation Affects The Structure–Activity Relationship Of Bioactive Compounds In Ginseng And Its Applications In Fermentation Products: A Review. *Foods*, *14*(14), 2473. <https://doi.org/10.3390/Foods14142473>
- Chabiburrochman, M. M., & Kurniawan, M. F. (2024). Efektivitas Penambahan Ekstraksi Bunga Rosella (*Hibiscus Sabdariffa* L.) Pada Yoghurt Terhadap Aktifitas Total Mikroorganisme Dan Antioksidan. *Rekasatwa : Jurnal Ilmiah Peternakan*, *5*(2), 79–86. <https://doi.org/10.33474/Rekasatwa.V5i2.22434>
- Chen, A., Li, J., Yao, A., Du, G., Li, J., & Chen, J. (2025). Advancing Kombucha Fermentation: Microbial Interactions, Functional Metabolites, And Innovative Optimization Strategies. *Food Chemistry*, *494*, 146121. <https://doi.org/10.1016/J.Foodchem.2025.146121>
- De Deus, C., Duque-Soto, C., Rueda-Robles, A., Martínez-Baena, D., Borrás-Linares, I., Quirantes-Piné, R., Ragagnin De Menezes, C., & Lozano-Sánchez, J. (2024). Stability Of Probiotics Through Encapsulation: Comparative Analysis Of Current Methods And Solutions. *Food Research International*, *197*, 115183. <https://doi.org/10.1016/J.Foodres.2024.115183>
- Dissanayake, I. H., Tabassum, W., Alsherbiny, M., Chang, D., Li, C. G., & Bhuyan, D. J. (2025). Lactic Acid Bacterial Fermentation As A Biotransformation Strategy To Enhance The Bioavailability Of Phenolic Antioxidants In

- Fruits And Vegetables: A Comprehensive Review. *Food Research International*, 209, 116283.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116283>
- Dufresne, C., & Farnworth, E. (2000). Tea, Kombucha, And Health: A Review. *Food Research International*, 33(6), 409–421.
[https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00067-3)
- Faris, M. (2020). Potensi Immunodulator Ekstrak Cengkeh Pada Kadar Limfosit Dan Makrofag Sebagai Mekanisme Pertahanan Tubuh. *Khazanah: Jurnal Mahasiswa*, 12(1).
<https://doi.org/10.20885/khazanah.vol12.iss1.art8>
- Gaggia, F., Baffoni, L., Galiano, M., Nielsen, D. S., Jakobsen, R. R., Castro-Mejía, J. L., Bosi, S., Truzzi, F., Musumeci, F., Dinelli, G., & Di Gioia, D. (2018). Kombucha Beverage From Green, Black And Rooibos Teas: A Comparative Study Looking At Microbiology, Chemistry And Antioxidant Activity. *Nutrients*, 11(1), 1. <https://doi.org/10.3390/nu11010001>
- Gupta, A., Sanwal, N., Bureen, M. A., Barua, S., Sharma, N., Joshua Olatunji, O., Prakash Nirmal, N., & Sahu, J. K. (2023). Trends In Functional Beverages: Functional Ingredients, Processing Technologies, Stability, Health Benefits, And Consumer Perspective. *Food Research International*, 170, 113046.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113046>
- Hajar-Azhari, S., Ab Jabar, F. A. H., Ilham, Z., Abd Rahim, M. H., Mohd Zaini, N. A., & Wan-Mohtar, W. A. A. Q. I. (2024). Flavor Compound Profiles And Enhancement Strategies In The Kimchi-Making Process. *Food Bioscience*, 62, 105385.
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105385>
- Halake, N. H., & Chinthapalli, B. (2020). Fermentation Of Traditional African Cassava Based Foods: Microorganisms Role In Nutritional And Safety Value. *Journal Of Experimental Agriculture International*, 56–65.
<https://doi.org/10.9734/jeai/2020/v42i930587>
- Hujjatusnaini, N., Amin, A. M., Febrianty, R., Maisyarah, A., Agriana, B. M., Septianingrum, D. D., Maradona, M., & Wulandari, N. S. (2022). Perbandingan Kemampuan Adaptasi Bakteri Staphylococcus Aureus Dan Bakteri Escherichia Coli Pada Ekstrak Daun Karamunting (Melastoma Malabathrium). *Biosel Biology Science And Education*, 11(1), 96–104.
<https://doi.org/10.33477/bs.v11i1.2534>
- Jayasree Joshi, T., S.V, S., Mohan, L., Nandagopal, P., & Arakal, J. J. (2024). Functional Metabolites Of Probiotic Lactic Acid Bacteria In Fermented Dairy Products. *Food And Humanity*, 3, 100341.
<https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100341>
- Künili, İ. E., Akdeniz, V., Akpınar, A., Budak, Ş. Ö., Curiel, J. A., Guzel, M., Karagözlü, C., Berkel Kasıkcı, M., Caruana, G. P. M., Starowicz, M., Humblot, C., Keyvan, E., Chassard, C., Pracer, S., Vergères, G., & Kesenkaş, H. (2025). Bioactive Compounds In Fermented Foods: A Systematic Narrative Review. *Frontiers In Nutrition*, 12.
<https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1625816>
- Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., Adhikari, B., & Fang, Z. (2021). Fermentation Transforms The Phenolic Profiles And Bioactivities Of Plant-Based Foods. *Biotechnology Advances*, 49, 107763.
<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107763>
- Li, Z., Zheng, M., Zheng, J., & Gänzle, M. G. (2023). Bacillus Species In Food Fermentations: An Underappreciated Group Of Organisms For Safe Use In Food Fermentations. *Current Opinion In Food Science*, 50, 101007.
<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101007>
- Mafe, A. N., Edo, G. I., Majeed, O. S., Gaaz, T. S., Akpogheli, P. O., Isoje, E. F., Igbuku, U. A., Owhero, J. O., Opiti, R. A., Garba, Y., Essaghah, A. E. A., Ahmed, D. S., & Umar, H. (2025). A Review On Probiotics And Dietary Bioactives: Insights On Metabolic Well-Being, Gut Microbiota, And Inflammatory Responses. *Food Chemistry Advances*, 6, 100919.
<https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.100919>
- Muhlis, M. A. P., Hadi, S., Rasfayanah, Nasruddin, H., & Murfat, Z. (2022). Efektivitas Ekstrak Rimpang Jeringau (Acorus Calamus L.) Terhadap Bakteri Escherichia Coli. *Fakumi Medical Journal: Jurnal Mahasiswa Kedokteran*, 2(7), 450–459.
<https://doi.org/10.33096/fmj.v2i7.87>
- Oleksy-Sobczak, M., Klewicka, E., & Piekarska-Radzik, L. (2020). Exopolysaccharides Production By Lactobacillus Rhamnosus Strains – Optimization Of Synthesis And Extraction Conditions. *Lwt*, 122, 109055.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109055>
- Sandhu, K. S., Punia, S., & Kaur, M. (2017). Fermentation Of Cereals: A Tool To Enhance Bioactive Compounds. In *Plant Biotechnology: Recent Advancements And Developments* (Pp. 157–170). Springer Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-10-4732-9_8
- Sari, R. D., Lunggani, A. T., & Purwantisari, S. (2024). Uji Aktivitas Antijamur Ekstrak Etanol, Aseton Dan Kloroform Buah Cabai Merah (Capsicum Annuum L.) Terhadap Fusarium Oxysporum. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 26(2), 100–110.
<https://doi.org/10.14710/bioma.2024.64714>
- Sedjati, S., Yudiati, E., Supriyantini, E., Azhar, N., & Yulian, C. V. A. (2022). Bioenkapsulasi Naupli Artemia Dengan Spirulina Sp. Dan Resistensinya Terhadap Bakteri Vibrio Spp. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(1), 79–86.
<https://doi.org/10.14710/jkt.v25i1.12763>
- Singh, A., & Kumar, S. (2025). Exploring The Functionality Of Microbes In Fermented Foods: Technological Advancements And Future Directions. *Fermentation*, 11(6), 300.
<https://doi.org/10.3390/fermentation1106030>
- Sun, Y., Mehmood, A., Battino, M., Xiao, J., & Chen, X. (2022). Enrichment Of Gamma-

- Aminobutyric Acid In Foods: From Conventional Methods To Innovative Technologies. *Food Research International*, 162, 111801. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111801>
- Venegas-Ortega, M. G., Flores-Gallegos, A. C., Martínez-Hernández, J. L., Aguilar, C. N., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2019). Production Of Bioactive Peptides From Lactic Acid Bacteria: A Sustainable Approach For Healthier Foods. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 18(4), 1039–1051. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12455>
- Vieira, C. P., Rosario, A. I. L. S., Lelis, C. A., Rekowky, B. S. S., Carvalho, A. P. A., Rosário, D. K. A., Elias, T. A., Costa, M. P., Foguel, D., & Conte-Junior, C. A. (2021). Bioactive Compounds From Kefir And Their Potential Benefits On Health: A Systematic Review And Meta-Analysis. *Oxidative Medicine And Cellular Longevity*, 2021(1). <https://doi.org/10.1155/2021/9081738>
- Wang, Z., Zheng, Y., Dai, Y., Yang, R., Zhao, R., Sun, G., Zhou, W.-W., Feng, S., Feng, Y., Li, N., Yang, J., Zhang, H., & An, L. (2024). Effect Of Probiotic Fermentation On The Extraction Rate And Bioactivity Of Plant-Based Polysaccharides: A Review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 98, 103863. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103863>
- Zhang, Y., Zhang, J., Yan, J., Qi, X., Wang, Y., Zheng, Z., Liang, J., Ling, J., Chen, Y., Tang, X., Zeng, X., Yu, P., & Zhang, D. (2024). Application Of Fermented Chinese Herbal Medicines In Food And Medicine Field: From An Antioxidant Perspective. *Trends In Food Science & Technology*, 148, 104410. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104410>
- Ziemlewska, A., Nizioł-Łukaszewska, Z., Bujak, T., Zagórska-Dziok, M., Wójciak, M., & Sowa, I. (2021). Effect Of Fermentation Time On The Content Of Bioactive Compounds With Cosmetic And Dermatological Properties In Kombucha Yerba Mate Extracts. *Scientific Reports*, 11(1), 18792. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98191-6>