

Total Phenolic of Postbiotics from *Rhizopus oligosporus* with Edamame Husk Substrate (*Glycine max* (L.) Merrill)

Angga Prasetyo^{1*}, Rasmiyana¹, & Frengky Hermawan Hadi Prasetyo²

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Pangan, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember, Jember, Indonesia.

²Program Studi Teknologi Industri Pangan, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember, Jember, Indonesia.

Article History

Received : June 16th, 2025

Revised : July 17th, 2025

Accepted : August 15th, 2025

*Corresponding Author:

Angga Prasetyo,

Jurusan Teknologi Pertanian,
Politeknik Negeri Jember,
Jember, Indonesia-

Email:

angga_prasetyo@polije.ac.id

Abstract: Edamame husk (*Glycine max* (L.) Merrill) is an agro-industrial waste product rich in carbohydrates complex, therefore potentially suitable as a substrate for postbiotics production using the fungus *R. oligosporus*. Postbiotics are the latest generation of biotics consisting of inanimate microbial cells along with their metabolites. This study aimed to determine the total phenolic content of postbiotics generated from *R. oligosporus* using edamame husk as substrate through submerged fermentation for 5 days. Fermentation was conducted using variations in spore inoculum volume (0; 0,5; 1; 1,5 ml at a concentration 1×10^6 spores/ml). The produced postbiotics were then subjected to heat treatment at 121°C for 15 minutes using autoclave and analyzed for total phenolic content using the Folin-Ciocalteu method. The measurement results showed that the addition of 1,5 ml of spores *R. oligosporus* produced the highest total phenolic content and was significantly different from the other treatments. Viability testing of *R. oligosporus* after heat treatment showed no growth on PDA medium after 21 days of incubation, thus met one of the criteria for postbiotics. These findings indicate that edamame husk have potential as an alternative raw material in the production of postbiotics using *R. oligosporus*.

Keywords: edamame husk; phenolic; postbiotics; *Rhizopus oligosporus*

Pendahuluan

Pengolahan edamame menjadi produk seperti edamame kupasan akan menghasilkan limbah berupa kulit edamame. Kulit edamame mengandung lignin dan karbohidrat kompleks seperti pektin, selulosa, dan hemiselulosa (Wahyudi *et al.*, 2025). Karbohidrat merupakan sumber karbon yang dapat digunakan oleh mikroorganisme untuk menghasilkan produk fungsional yang memiliki manfaat kesehatan (Cucick *et al.*, 2024; Razola-Díaz *et al.*, 2024). Salah satu produk fungsional yang dapat dihasilkan adalah postbiotik (*postbiotics*).

Postbiotik merupakan biotik generasi terbaru yang mencakup sel-sel mikroorganisme yang telah mati, metabolit, dan turunannya seperti enzim, eksopolisakarida, dan asam lemak

rantai pendek (Da *et al.*, 2024). Produk postbiotik memiliki stabilitas, umur simpan, dan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan probiotik dan sinbiotik (Manna *et al.*, 2024). Produk ini dinilai lebih aman dibandingkan probiotik karena tidak adanya risiko translokasi bakteri dari usus ke darah, tidak terjadi transfer gen resistensi antibiotik terhadap tubuh, dan tidak mengganggu komunitas mikrobial di usus manusia (Aggarwal *et al.*, 2022; Won *et al.*, 2025).

Produk postbiotik memiliki beberapa manfaat kesehatan seperti sebagai immunomodulator dan anti-inflamasi (Waqas *et al.*, 2024). Penelitian Zhang *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa postbiotik memiliki efek lebih kuat dalam memodulasi keberagaman beta, komposisi, dan potensi metagenomik dari

mikrobiota usus dibandingkan probiotik sehingga produk ini layak untuk dijadikan *next-generation biotherapeutics*. Selain itu, penelitian Razola-Díaz *et al.*, (2024) juga menghasilkan produk postbiotik yang tinggi antioksidan dan total fenolik dari kulit jeruk varietas Navelina melalui fermentasi oleh bakteri asam laktat.

Teknologi yang dapat dimanfaatkan untuk memperoleh postbiotik dari mikroorganisme adalah fermentasi (Wu *et al.*, 2024). Metode fermentasi yang bisa digunakan adalah fermentasi terendam dengan menumbuhkan mikroorganisme dalam medium cair yang mengandung nutrisi dan bahan baku dari limbah agroindustri (Abbas *et al.*, 2024). Mikroorganisme yang sering digunakan adalah jamur, *yeast*, dan bakteri asam laktat. Jamur *R. oryzae* dan *R. nigricans* telah digunakan untuk memperoleh senyawa fungsional seperti eksopolisakarida (Lu *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2022).

Penelitian mengenai penggunaan kulit edamame sebagai substrat fermentasi untuk produksi postbiotik (*postbiotics*) masih terbatas. Padahal, kulit edamame memiliki potensi sebagai sumber karbon untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme dalam pembentukan postbiotik. Oleh karena itu, pada penelitian ini, kulit edamame digunakan sebagai substrat untuk menghasilkan produk postbiotik dengan bantuan mikroorganisme lokal yaitu jamur *R. oligosporus* melalui fermentasi terendam selama 5 hari. Postbiotik yang diperoleh kemudian dianalisis kandungan total fenolik. Penelitian ini bertujuan mengukur total fenolik dari produk postbiotik (*postbiotics*) berbasis kulit edamame sebagai uji pendahuluan untuk diversifikasi produk limbah pertanian dalam penerapan *circular bioeconomy*.

Bahan dan Metode

Waktu dan tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi dan Laboratorium Rekayasa Pangan, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember dari bulan Juni 2025 hingga Juli 2025.

Desain penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan 4 perlakuan, yaitu: (1) Kulit edamame 3 gram + 0,5 ml spora *R. oligosporus*

(10^6 spora/ml); (2) Kulit edamame 3 gram + 1 ml spora *R. oligosporus*; (3) Kulit edamame 3 gram + 1,5 ml spora *R. oligosporus*; (4) Kulit edamame 3-gram tanpa penambahan spora.

Sampel penelitian

Bahan yang diperlukan adalah kulit edamame, *R. oligosporus* dari ragi tempe RAPRIMA, air steril, *Potato Dextrose Agar* (PDA), dan reagen Folin-Ciocalteu. Alat yang digunakan adalah oven, blender, ayakan 80 mesh, *Biological Safety Cabinet*, timbangan analitik, mikroskop cahaya, spektrofotometer, inkubator *shaker*, dan autoklaf.

Prosedur penelitian

Persiapan media fermentasi dari kulit edamame

Pembuatan media dari kulit edamame mengacu metode Razola-Díaz *et al.*, (2024) dengan modifikasi. Kulit edamame dikeringkan menggunakan oven pada suhu 40°C selama 6 jam hingga kadar air kurang dari 10%. Setelah kering, sampel diblender dan diayak menggunakan saringan berukuran 80 mesh. Serbuk kulit edamame direndam dalam 100 ml air distilasi kemudian dilakukan sterilisasi dengan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit.

Perlakuan fermentasi

Pada tiap medium perlakuan ditambahkan spora *R. oligosporus* dengan konsentrasi 1×10^6 spora/ml. Proses fermentasi dilakukan secara *batch* selama 5 hari dengan kecepatan agitasi 150 rpm pada suhu 30°C (De Montijo-Prieto *et al.*, 2023).

Produksi Postbiotik (Postbiotics)

Postbiotik diperoleh dalam bentuk *Whole-Cell Postbiotics* (WCP) berdasarkan metode Ceylan (2024) dengan modifikasi. Setelah diinkubasi selama 5 hari, tiap kultur disaring dengan kertas saring untuk mendapatkan cairan fermentasi yang terpisah dari substrat. Selanjutnya, WCP disiapkan dengan memberikan perlakuan panas, yaitu pada suhu 121°C selama 15 menit menggunakan autoklaf. Hasil postbiotik dilanjutkan uji viabilitas jamur *R. oligosporus* pada medium PDA selama 21 hari, dan uji total fenolik.

Pengukuran Total Fenolik

Total fenolik diukur menggunakan reagen Folin-Ciocalteu dengan larutan standar asam galat. Sampel cairan diambil sebanyak 100 µl (jika sampel terlalu pekat, dilakukan

pengenceran), kemudian ditambahkan 740 µl air destilasi dan 50 µl larutan Folin 10%. Sampel kemudian diinkubasi selama 5 menit di tempat gelap. Selanjutnya, larutan NaCO₃ 7,5% ditambahkan sebanyak 210 µl ke sampel tersebut, dan diinkubasi selama 90 menit di ruang gelap pada suhu ruang. Sampel diukur absorbansi dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 760 nm. Hasil pengukuran dinyatakan dengan mg/GAE⁻¹ (Incili *et al.*, 2021)

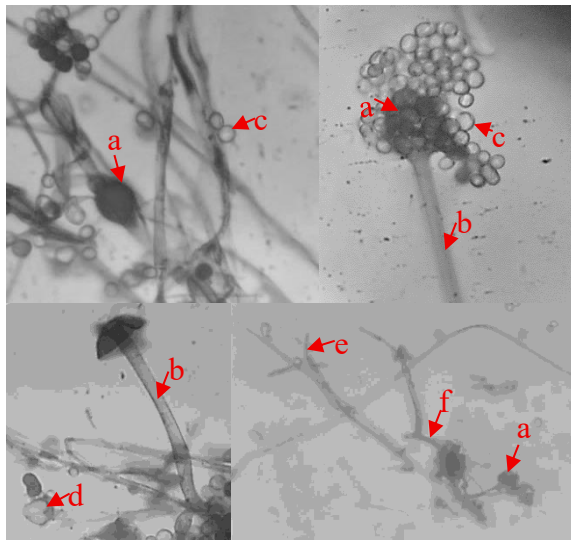
Analisis Data

Data hasil pengukuran dianalisis dengan uji ANOVA dan dilanjutkan uji DMRT dengan menggunakan SPSS versi 30.

Hasil dan Pembahasan

Pengamatan Mikroskopis *R. oligosporus*

Ragi tempe merupakan bubuk inokulum yang mengandung spora dari *R. oligosporus* yang telah dikeringkan bersama dengan media tumbuhnya (Putra Surbakti *et al.*, 2022). Pengamatan mikroskopis bertujuan memastikan bahwa isolat yang tumbuh merupakan *R. oligosporus*.



Gambar 1. Penampakan mikroskopis *R. oligosporus* pada perbesaran 450x.

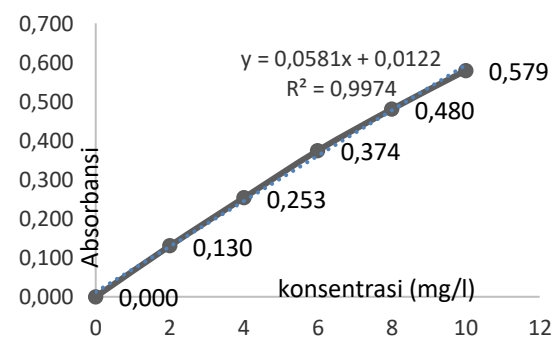
Keterangan: (a) sporangium; (b) sporangiofor; (c) spora; (d) kolumela; (e) rizoid; (f) stolon.

Hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 1 yang menunjukkan adanya sporangium berbentuk bulat, sporangiofor, hifa senositik, spora berbentuk bulat, kolumela

berbentuk oval, rizoid berukuran pendek, dan stolon, yang merupakan ciri dari *R. oligosporus* (Jennessen *et al.*, 2008). Hasil ini juga didukung oleh penelitian Safrida *et al.*, (2025) yang menunjukkan bahwa ragi tempe RAPRIMA mengandung isolat murni *R. oligosporus* dan menunjukkan ciri yang sama dengan Gambar 1. Isolat *R. oligosporus* kemudian ditumbuhkan pada medium PDA untuk dipanen sporanya dan digunakan dalam produksi postbiotik.

Pengukuran Total Fenolik

Produk postbiotik yang telah diperoleh pada hari ke-5 kemudian diuji total fenolik untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan fermentasi. Larutan standar yang digunakan adalah asam galat dengan konsentrasi 0, 2, 4, 6, 8, dan 10 mg/l. Hasil pengukuran larutan standar dapat dilihat pada Gambar 2 yang menghasilkan persamaan regresi linear $y = 0,0581x + 0,0122$ dengan nilai R² adalah 0,9974.



Gambar 2. Grafik absorbansi dan persamaan dari larutan standar asam galat

Uji total fenolik pada sampel dilakukan dengan memasukkan nilai absorbansi sampel ke persamaan regresi pada Gambar 2. Hasil perhitungan total fenolik sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Total Fenolik

Perlakuan	Rata-Rata Total Fenolik (mg GAE/ 100 gram sampel)
1	23,59 ^c
2	24,20 ^b
3	28,27 ^a
4	22,77 ^d

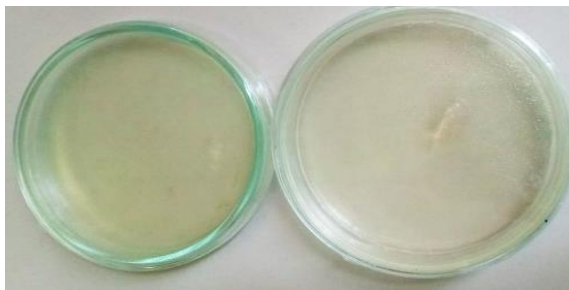
Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama berbeda tidak nyata berdasarkan DMRT pada taraf 5%.

Hasil pada Tabel 1 menunjukkan perlakuan 3, yaitu pemberian 1,5 ml spora *R. oligosporus* menghasilkan rata-rata total fenolik tertinggi dibandingkan perlakuan lain. Secara keseluruhan, adanya pertumbuhan *R. oligosporus* pada perlakuan 1, 2, dan 3 mampu meningkatkan total fenolik pada proses fermentasi kulit edamame selama 5 hari dibandingkan perlakuan yang tidak diberi spora *R. oligosporus*, yaitu pada perlakuan 4. Hasil ini sejalan dengan penelitian Tsalissavrina *et al.*, (2023) yang menunjukkan adanya kandungan total fenolik tertinggi di hari ke-5 pada *jack bean* (*Canavalia ensiformis*) yang difermentasi dengan *R. oligosporus*. Selain itu, penelitian Aktas *et al.*, (2025) juga menunjukkan fermentasi limbah *hemp-pressed cake* oleh *R. oligosporus* mampu meningkatkan kandungan total fenolik dan antioksidan.

Perubahan kandungan total senyawa fenolik selama proses fermentasi berkaitan erat dengan aktivitas enzimatis *R. oligosporus*. Jamur ini menghasilkan berbagai jenis enzim, seperti glikosidase yang berperan dalam menghidrolisis dinding sel dan melepaskan senyawa fenolik terikat yang biasanya dalam bentuk tidak larut atau terkonjugasi (Gulsunoglu-Konuskan & Kilic-Akyilmaz, 2022). Proses pelepasan senyawa fenolik ini berkontribusi terhadap peningkatan total fenolik selama proses fermentasi (Aktas *et al.*, 2025).

Uji Hasil Perlakuan Panas pada Postbiotik

Salah satu syarat produk postbiotik (*postbiotics*) adalah mengandung mikroorganisme yang telah mati (Salminen *et al.*, 2021). Untuk menguji viabilitas jamur *R. oligosporus* setelah perlakuan panas pada postbiotik, cairan postbiotik diinokulasikan pada medium PDA dan diinkubasi selama 21 hari.



Gambar 3. Hasil inkubasi postbiotik pada medium PDA selama 21 hari.

Hasil pada Gambar 3 menunjukkan tidak ada pertumbuhan *R. oligosporus* pada medium PDA. Hal ini mengindikasikan bahwa perlakuan panas pada suhu 121°C selama 15 menit efektif membunuh jamur *R. oligosporus* sehingga memenuhi salah satu syarat sebagai postbiotik. Sterilisasi metode panas basah menggunakan autoklaf mampu membunuh mikroorganisme seperti jamur dan spora (Yastrebov, 2025).

Berdasarkan pengamatan dan uji total fenolik, produksi postbiotik berbasis kulit edamame dengan fermentasi oleh *R. oligosporus* memiliki potensi untuk diteliti lebih lanjut. Pengembangan postbiotik dengan fermentasi oleh jamur dapat mengacu pada Seidler *et al.*, (2024) dengan menggunakan model *Aspergillus niger*. Postbiotik dari *A. niger* memiliki komposisi yang terdiri dari 4 kategori yaitu, *non-viable cells* atau fragmen sel, enzim, senyawa ekstraseluler, dan metabolit lain seperti metabolit sekunder yang sudah diteliti komponen senyawa dan efeknya terhadap kesehatan. Oleh karena itu, postbiotik kulit edamame hasil fermentasi *R. oligosporus* perlu diteliti terkait komponen senyawa dan efeknya terhadap kesehatan seperti uji antioksidan, antidiabetes, atau antihipertensi baik secara *in vitro* maupun *in vivo*. Selain itu, optimasi metode seperti *co-culture* juga diperlukan untuk produksi postbiotik. *Co-culture* memiliki kelebihan, antara lain meningkatkan produksi dan aktivitas senyawa bioaktif dan menghasilkan senyawa baru yang tidak ditemukan pada *single culture* (Salvatore *et al.*, 2025). Jamur *R. oryzae* yang dikombinasikan dengan *Lactobacillus* menunjukkan efek sinergis dengan menghidrolisis lebih banyak makromolekul (Wu *et al.*, 2022).

Kesimpulan

Postbiotik dari *R. oligosporus* dengan substrat kulit edamame menghasilkan total fenolik yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan kulit edamame yang tidak diberi spora *R. oligosporus*. Proses produksi postbiotik dengan perlakuan pemanasan pada suhu 121°C selama 15 menit sudah mampu membunuh *R. oligosporus* sehingga memenuhi kriteria sebagai postbiotik. Penelitian lanjutan masih diperlukan terkait manfaat kesehatan dari postbiotik ini seperti uji aktivitas antioksidan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada rekan-rekan di Jurusan Teknologi Pertanian Politeknik Negeri Jember yang turut memberikan saran dan bantuan bahan pada penelitian ini

Referensi

- Abbas, A. M., Elkhatib, W. F., Aboulwafa, M. M., Hassouna, N. A., & ... (2024). Characterization of vitamin D3 biotransformation by the cell lysate of *Actinomyces hyovaginalis* CCASU-A11-2. In *AMB Express*. Springer. <https://doi.org/10.1186/s13568-024-01694-4>.
- Aggarwal, S., Sabharwal, V., Kaushik, P., Joshi, A., Aayushi, A., & Suri, M. (2022). Postbiotics: From emerging concept to application. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.887642>.
- Aktas, H., Raczyk, M., Aydemir, L. Y., & Polanowska, K. (2025). *Chemical and bioactive changes during fermentation and in vitro digestion of hemp pressed cake using Rhizopus oligosporus Havva Aktas*. 215(November 2024). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117264>.
- Aulia, G., Rachman, F., Untari, F., Rasyid, A., Hapsari, Y., Andriati, R., & Wibowo, J. T. (2024). Utilizing the co-culture method to improve the investigation of secondary metabolites of marine bacteria. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 14(1), 286–290. <http://doi.org/10.7324/JAPS.2024.136305>.
- Ceylan, H. G. (2024). Development and characterization of innovative bio-based edible films supplemented with cell-free supernatant and whole-cell postbiotic of *Lactobacillus gasseri*. *Food Bioscience*, 61(April), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104825>.
- Cucick, A. C. C., Bedani, R., Ribeiro, L. S., Franco, B. D. G. de M., & Saad, S. M. I. (2024). Effect of fruit by-products and orange pectin on folate (vitamin B9) production by selected starter and probiotic strains. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(6), 3929–3938. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17141>.
- Da, M., Sun, J., Ma, C., Li, D., Dong, L., Wang, L. S., & Chen, F. (2024). Postbiotics: Enhancing human health with a novel concept. *EFood*, 5(5), 1–14. <https://doi.org/10.1002/efd2.180>.
- De Montijo-Prieto, S., Razola-Díaz, M. D., Barbieri, F., Tabanelli, G., Gardini, F., Jiménez-Valera, M., Ruiz-Bravo, A., Verardo, V., & Gómez-Caravaca, A. M. (2023). Impact of Lactic Acid Bacteria Fermentation on Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Avocado Leaf Extracts. In *Antioxidants* (Vol. 12, Issue 2). <https://doi.org/10.3390/antiox12020298>.
- Gulsunoglu-Konuskan, Z., & Kilic-Akyilmaz, M. (2022). Microbial Bioconversion of Phenolic Compounds in Agro-industrial Wastes: A Review of Mechanisms and Effective Factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(23), 6901–6910. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c07778>.
- İncili, G. K., Karatepe, P., Akgöl, M., Kaya, B., Kanmaz, H., & Hayaloğlu, A. A. (2021). Characterization of *Pediococcus acidilactici* postbiotic and impact of postbiotic-fortified chitosan coating on the microbial and chemical quality of chicken breast fillets. *International Journal of Biological Macromolecules*, 184, 429–437. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.106>.
- Jennessen, J., Schnürer, J., Olsson, J., Samson, R. A., & Dijksterhuis, J. (2008). Morphological characteristics of sporangiospores of the tempe fungus *Rhizopus oligosporus* differentiate it from other taxa of the *R. microsporus* group. *Mycological Research*, 112(5), 547–563. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2007.11.006>.
- Lu, Y., Zhang, X., Wang, J., & Chen, K. (2020). Exopolysaccharides isolated from *Rhizopus nigricans* induced colon cancer cell apoptosis in vitro and in vivo via activating the AMPK pathway. *Bioscience Reports*, 40(1), 1–17. <https://doi.org/10.1042/BSR20192774>.

- Manna, A., Chakraborty, A., Bag, S., & Basu, B. R. (2024). Postbiotics : A New Post in Biotics and Its Prospective Role in Human Health and Diseases Postbiotics : A New Post in Biotics and Its Prospective Role in Human Health and Diseases. *International Journal of Pharmaceutical Research and Applications*, 9(3), 2067–2082.
- Putra Surbakti, E. S., Duniaji, A. S., & Nocianitri, K. A. (2022). Pengaruh Jenis Substrat Terhadap Pertumbuhan *Rhizopus oligosporus* DP02 Bali dalam Pembuatan Ragi Tempe. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pangan (ITEPA)*, 11(1), 92. <https://doi.org/10.24843/itepa.2022.v11.i01.p10>
- Razola-Díaz, M. D., De Montijo-Prieto, S., Guerra-Hernández, E. J., Jiménez-Valera, M., Ruiz-Bravo, A., Gómez-Caravaca, A. M., & Verardo, V. (2024). Fermentation of Orange Peels by Lactic Acid Bacteria: Impact on Phenolic Composition and Antioxidant Activity. In *Foods* (Vol. 13, Issue 8). <https://doi.org/10.3390/foods13081212>
- Safrida, S., Budijanto, S., Nuraida, L., Priosoeryanto, B. P., & Syam, N. (2025). Pasteurization Effects on the Microbial Ecology of Functional Tempeh Developed from Black Rice Bran and Dual *Rhizopus* Strains. 11(June), 552–564.
- Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M. M., Sanders, M. E., Shamir, R., Swann, J. R., Szajewska, H., & Vinderola, G. (2021). The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology*, 18(9), 649–667.
- Salvatore, M. M., Maione, A., Buonanno, A., Guida, M., Andolfi, A., Salvatore, F., & Galdiero, E. (2025). Biological activities, biosynthetic capacity and metabolic interactions of lactic acid bacteria and yeast strains from traditional home-made kefir. *Food Chemistry*, 470. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142657>
- Seidler, Y., Rimbach, G., Lüersen, K., Vinderola, G., & Ipharraguerre, I. R. (2024). The postbiotic potential of *Aspergillus oryzae* – a narrative review. *Frontiers in Microbiology*, 15(October), 1–26. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1452725>
- Tsalissavrina, I., Murdiati, A., Raharjo, S., Lestari, L. A., Mada, G., Flora, J., & Yogyakarta, D. I. (2023). The Effects of Duration of Fermentation on Total Phenolic Content , Antioxidant Activity , and Isoflavones of The Germinated Jack Bean Tempeh (*Canavalia ensiformis*). 34(3), 460–470.
- Wahyudi, M. S., Holilah, Bahruji, H., Prasetyoko, D., Asranudin, Pratama, A. W., Indriani, D. W., Suryanegara, L., Faradilla, R. F., Mahardika, M., Wardani, R. K., Piluharto, B., Knight, V. F., & Norrahim, M. N. F. (2025). The effect of organic acid hydrolysis on the properties of nanocellulose from edamame husk (*Glycine max* (L.) merill). *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 11(January), 101179. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101179>
- Waqas, M., Nastoh, N., Cinar, A., Farooq, M., & Salman, M. (2024). Advantages of the Use of Postbiotics in Poultry Production: A New Concept. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 26(3), 1–32. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2024-1939>
- Won, S., Jeong, Y., Kim, J.-E., Kim, J.-H., Song, H. S., Bae, H.-H., Kwak, M.-S., Kim, D.-K., Sung, M.-H., & Kwak, S. (2025). Evaluation of the Safety and Impact of Heat-Treated *Lactiplantibacillus plantarum* KM2 Fermentation on Gut Microbiome Architecture. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 35. <https://doi.org/10.4014/jmb.2411.11069>
- Wu, H., Liu, H. N., Ma, A. M., Zhou, J. Z., & Xia, X. D. (2022). Synergetic effects of *Lactobacillus plantarum* and *Rhizopus oryzae* on physicochemical, nutritional and antioxidant properties of whole-grain oats (*Avena sativa* L.) during solid-state fermentation. *Lwt*, 154, 112687. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112687>
- Wu, T., Guo, S., Liu, K., Kwok, L.-Y., Wang, J., & Zhang, H. (2024). Exploring the

- postbiotic potential of multi-strain pasteurized fermented milk: A metabolomics study. *LWT*, 209, 116802. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116802>
- Yastrebov, K. (2025). Sterilization: The Science of Eliminating Microbial Contamination. *Journal of Medicine and Medical Sciences*, 16(1), 1–3.
- Zhang, T., Zhang, W., Feng, C., Kwok, L. Y., He, Q., & Sun, Z. (2022). Stronger gut microbiome modulatory effects by postbiotics than probiotics in a mouse colitis model. *Npj Science of Food*, 6(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41538-023-00179-1>