



Aplikasi Enzim Laktase pada Produksi Yogurt Bebas Laktosa dan Pengaruhnya terhadap Karakteristik Produk

Nia Ulfa Madani¹, Yuliatin Hasfiani²

^{1,2}Institut Teknologi dan Kesehatan Aspirasi, Lombok Timur, Indonesia

Article Information

Article history:

Received July 10, 2026

Approved July 20, 2026

Keywords:

*β-galactosidase, Lactase,
lactose-free Yogurt, Lactose
Intolerance, Yogurt*

ABSTRACT

Yogurt is a fermented dairy product that naturally contains lactose, making it unsuitable for individuals with lactose intolerance. The addition of lactase (β -galactosidase) is an effective approach for producing lactose-free yogurt while maintaining product quality. This review aimed to evaluate the application of lactase in lactose-free yogurt production and its effects on yogurt characteristics. A narrative literature review was conducted by analyzing relevant scientific publications. The findings demonstrated that lactase effectively hydrolyzes lactose into glucose and galactose, resulting in yogurt with very low or undetectable lactose content. Lactose hydrolysis also provides readily fermentable sugars that enhance the activity of lactic acid bacteria, leading to a final pH ranging from 4.1 to 4.9. Furthermore, lactase addition does not adversely affect the texture or sensory properties of yogurt. When combined with appropriate formulations and additives, such as stabilizers or whey powder, it can improve viscosity, gel stability, natural sweetness, and overall consumer acceptance. Overall, the application of lactase is an effective strategy for producing lactose-free yogurt with physicochemical, textural, and sensory properties comparable to or even superior to those of conventional yogurt, making it a promising functional dairy product for individuals with lactose intolerance.

ABSTRAK

Yogurt merupakan produk susu fermentasi yang masih mengandung laktosa sehingga kurang sesuai dikonsumsi oleh individu dengan intoleransi laktosa. Penambahan enzim laktase (β -galaktosidase) menjadi salah satu pendekatan yang efektif untuk menghasilkan yogurt bebas laktosa tanpa mengurangi kualitas produk. Artikel ini bertujuan mengkaji aplikasi enzim laktase dalam produksi yogurt bebas laktosa serta pengaruhnya terhadap karakteristik produk. Kajian ini disusun menggunakan metode *narrative literature review* terhadap berbagai publikasi ilmiah yang relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa enzim laktase secara efektif menghidrolisis laktosa menjadi glukosa dan galaktosa sehingga menghasilkan yogurt dengan kadar laktosa sangat rendah hingga tidak terdeteksi. Hidrolisis laktosa juga mendukung aktivitas bakteri asam laktat selama fermentasi sehingga menghasilkan pH akhir berkisar 4,1–4,9.

Penambahan enzim laktase tidak menurunkan kualitas tekstur maupun karakteristik sensori yogurt, bahkan melalui formulasi yang tepat dapat meningkatkan viskositas, stabilitas gel, rasa manis alami, dan penerimaan konsumen. Secara keseluruhan, aplikasi enzim laktase merupakan strategi yang efektif dalam menghasilkan yogurt bebas laktosa dengan karakteristik fisikokimia, tekstur, dan sensori yang setara atau lebih baik dibandingkan yogurt konvensional, sehingga berpotensi menjadi alternatif pangan fungsional bagi penderita intoleransi laktosa.

© 2022 SAINTEKES

*Corresponding author email: ulva.madani01@gmail.com

PENDAHULUAN

Yogurt merupakan produk susu fermentasi yang dihasilkan oleh bakteri asam laktat, terutama *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, dalam kondisi terkontrol (Ayivi & Ibrahim, 2022; Tagliazucchi *et al.*, 2019). Yogurt termasuk pangan fungsional karena kaya akan protein, vitamin, mineral, asam amino esensial, dan senyawa bioaktif yang mendukung kesehatan pencernaan serta sistem imun (Andrani *et al.*, 2024; Brishti *et al.*, 2026; Dhar *et al.*, 2023). Selain itu, kandungan lemak yang relatif lebih rendah dibandingkan beberapa produk olahan susu sehingga menjadi alternatif pangan yang lebih sehat (Skryplonek *et al.*, 2019). Namun, yogurt masih mengandung sekitar 3–5% laktosa sehingga belum sepenuhnya sesuai bagi individu dengan intoleransi laktosa (Miao *et al.*, 2024).

Intoleransi laktosa merupakan kondisi ketika tubuh tidak mampu mencerna laktosa secara optimal akibat rendahnya aktivitas enzim laktase di usus halus (Catanzaro *et al.*, 2021). Kondisi ini diperkirakan dialami oleh sekitar

65% populasi orang dewasa di dunia (Chebykin *et al.*, 2025; Costa *et al.*, 2024). Tingginya prevalensi intoleransi laktosa tersebut telah mendorong meningkatnya permintaan terhadap produk susu bebas laktosa yang tetap memiliki nilai gizi dan manfaat kesehatan.

Salah satu metode yang banyak digunakan untuk menghasilkan yogurt bebas laktosa adalah penambahan enzim β -galaktosidase (laktase), yang menghidrolisis laktosa menjadi glukosa dan galaktosa sehingga lebih mudah dicerna (Wahab, 2024) (Abdel Wahab *et al.*, 2024). Hidrolisis laktosa juga meningkatkan kandungan gula sederhana yang memberikan rasa manis alami dan berpotensi mengurangi kebutuhan penambahan gula (Miao *et al.*, 2024). Selain menurunkan kadar laktosa, penggunaan enzim laktase memengaruhi karakteristik yogurt, seperti pH, pembentukan asam laktat, viskositas, sineresis, tekstur, dan sifat sensoris. Perubahan tersebut dipengaruhi oleh jenis dan konsentrasi enzim, waktu hidrolisis, serta kondisi fermentasi (Abdel

Wahab *et al.*, 2021; Dantas *et al.*, 2021; Miao *et al.*, 2024; Pinto *et al.*, 2019).

Berbagai penelitian telah mengkaji pengaruh enzim laktase terhadap karakteristik yogurt bebas laktosa, tetapi hasilnya masih bervariasi karena perbedaan bahan baku, formulasi, dan kondisi proses. Oleh karena itu, diperlukan kajian literatur untuk merangkum dan membandingkan hasil penelitian guna memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pengaruh enzim laktase terhadap karakteristik fisik, kimia, mikrobiologi, dan sensoris yogurt bebas laktosa. Kajian ini diharapkan menjadi referensi dalam pengembangan yogurt bebas laktosa yang berkualitas dan sesuai dengan kebutuhan konsumen.

METODE PENELITIAN

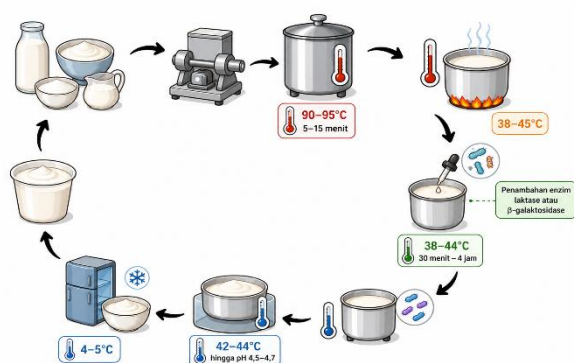
Kajian ini menggunakan metode *narrative literature review* untuk menganalisis publikasi ilmiah mengenai produksi dan karakteristik yogurt bebas laktosa. Penelusuran literatur dilakukan melalui Scopus, Web of Science, PubMed, ScienceDirect, Springer, dan Google Scholar menggunakan kata kunci *lactose-free yogurt*, *β -galactosidase*, *lactase*, *lactose hydrolysis*, *dairy fermentation*, *yogurt quality*, dan *lactose intolerance*. Literatur yang digunakan berupa artikel penelitian dan tinjauan, terutama yang diterbitkan dalam 10 tahun terakhir serta beberapa referensi dasar yang relevan. Artikel dipilih berdasarkan relevansinya dengan aplikasi enzim β -

galaktosidase dalam produksi yogurt bebas laktosa dan pengaruhnya terhadap karakteristik fisikokimia, mikrobiologi, sensoris, serta nilai fungsional produk. Seluruh literatur dianalisis secara deskriptif untuk mengidentifikasi perkembangan penelitian, efektivitas penerapan enzim, dan peluang pengembangan yogurt bebas laktosa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Proses Pembuatan Yogurt Bebas Laktosa

Pembuatan yogurt bebas laktosa diawali dengan pencampuran susu bersama bahan tambahan, seperti gula, krim, dan susu bubuk skim, kemudian dilakukan homogenisasi dan pasteurisasi pada suhu 90-95°C selama 5-15 menit. Setelah didinginkan hingga 38-45°C, enzim laktase atau β -galaktosidase ditambahkan untuk menghidrolisis laktosa menjadi glukosa dan galaktosa. Proses hidrolisis dilakukan pada suhu 38-44°C selama 30 menit hingga 4 jam, bergantung pada jenis enzim dan kondisi proses yang digunakan (Biçer *et al.*, 2025; Miao *et al.*, 2024; Pinto *et al.*, 2019; Skryplonek *et al.*, 2019). Selanjutnya, susu diinokulasi dengan kultur starter seperti *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus bulgaricus* kemudian difermentasi pada suhu 42-44°C hingga mencapai pH 4.5–4.7 (Abdel Wahab *et al.*, 2021; Biçer *et al.*, 2025; Miao *et al.*, 2024; Pinto *et al.*, 2019; Skryplonek *et al.*, 2019). Setelah fermentasi selesai, yogurt didinginkan dan disimpan pada suhu 4-5°C sebelum dilakukan pengujian karakteristik (Abdel Wahab *et al.*, 2021; Pinto *et al.*, 2019).



Gambar 1. Proses Pembuatan Yogurt Bebas Laktosa

2. Hidrolisis Laktosa Yogurt

Hidrolisis laktosa merupakan tahapan utama dalam produksi yogurt bebas laktosa yang dilakukan dengan menambahkan enzim β -galaktosidase untuk mengubah laktosa menjadi glukosa dan galaktosa. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penambahan enzim ini secara efektif menurunkan kadar laktosa tanpa mengganggu karakteristik sensori yogurt. Abdel Wahab *et al.*, (2024), melaporkan bahwa kadar laktosa yogurt menurun dari 43,11 mg/g pada kontrol menjadi 22,98–25,35 mg/g pada perlakuan dengan enzim setelah sembilan hari penyimpanan, sedangkan Abdel Wahab *et al.*, (2021), memperoleh hasil serupa dengan kadar laktosa akhir sebesar 23,01–27,59 mg/g pada yogurt yang diberi β -galaktosidase. Penurunan kadar laktosa pada seluruh perlakuan lebih besar dibandingkan kontrol, menunjukkan bahwa hidrolisis terutama disebabkan oleh aktivitas enzim, bukan oleh fermentasi kultur starter. Kandungan laktosa yang rendah tersebut menjadikan yogurt lebih sesuai dikonsumsi oleh individu dengan intoleransi atau malabsorpsi laktosa (Facioni *et al.*, 2020).

Hasil yang sejalan juga dilaporkan oleh Li *et al.*, (2025), yang menunjukkan bahwa kadar laktosa terus menurun selama inkubasi dan mencapai kurang dari 10 g/L setelah dua jam, sehingga yogurt dapat dikategorikan sebagai produk rendah laktosa. Biçer *et al.*, (2025), bahkan melaporkan bahwa pada yogurt yang diproduksi dengan penambahan enzim laktase, laktosa tidak lagi terdeteksi setelah fermentasi, sedangkan pada yogurt tanpa penambahan enzim masih tersisa sekitar 2,72–2,85% laktosa. Temuan serupa diperoleh Skryplonek *et al.*, (2019), yang menunjukkan bahwa kadar laktosa menurun dari 4,4% menjadi tidak terdeteksi setelah 120 menit inkubasi, disertai peningkatan kadar glukosa dan galaktosa yang kemudian menurun kembali karena dimanfaatkan sebagai substrat oleh bakteri asam laktat. Secara keseluruhan, berbagai penelitian menunjukkan bahwa enzim β -galaktosidase sangat efektif menghidrolisis laktosa sehingga menghasilkan yogurt dengan kandungan laktosa sangat rendah hingga bebas laktosa, sekaligus menyediakan glukosa dan galaktosa yang dapat mendukung proses fermentasi.

3. pH Yogurt Bebas Laktosa

Nilai pH merupakan salah satu parameter utama untuk mengevaluasi keberhasilan fermentasi dan kualitas yogurt bebas laktosa. Secara umum, berbagai penelitian menunjukkan bahwa nilai pH menurun selama fermentasi dan penyimpanan. Proses pengasaman ini dipercepat oleh hidrolisis

laktosa menggunakan enzim β -galaktosidase yang menghasilkan glukosa dan galaktosa, dua gula sederhana yang lebih mudah dimanfaatkan oleh bakteri sebagai substrat fermentasi (Pinto *et al.*, 2019; Skryplonek *et al.*, 2019). Abdel Wahab *et al.*, (2024), melaporkan nilai pH yogurt bebas laktosa berkisar 4,57–4,92, sedangkan Abdel Wahab *et al.*, (2021), memperoleh kisaran 4,55–4,92 setelah sembilan hari penyimpanan.

Temuan serupa dilaporkan oleh Biçer *et al.*, (2025), yang menunjukkan bahwa yogurt bebas laktosa mengalami peningkatan keasaman selama fermentasi, dengan yogurt susu domba mengalami pengasaman lebih cepat dibandingkan yogurt susu sapi. Hal ini menunjukkan bahwa selain hidrolisis laktosa, jenis susu juga memengaruhi perubahan pH selama fermentasi. Di samping itu, formulasi produk turut berperan terhadap karakteristik pH. Pinto *et al.*, (2019), melaporkan bahwa yogurt gaya Yunani bebas laktosa dengan probiotik termikroenkapsulasi memiliki pH sedikit lebih tinggi dibandingkan probiotik bebas selama penyimpanan. Skryplonek *et al.*, (2019), menemukan bahwa penambahan κ -karagenan dan pati jagung sedikit meningkatkan pH yogurt, sedangkan Dantas *et al.*, (2021), melaporkan bahwa seluruh formulasi mengalami penurunan pH selama penyimpanan, dengan formulasi probiotik sel bebas memiliki pH terendah. Secara keseluruhan, yogurt bebas laktosa umumnya memiliki pH akhir sekitar 4,1–4,9, yang dipengaruhi oleh aktivitas kultur

starter, hidrolisis laktosa, jenis susu, dan formulasi produk.

4. Tekstur Yogurt Bebas Laktosa

Tekstur merupakan salah satu atribut penting yang menentukan kualitas dan penerimaan yogurt bebas laktosa. Parameter yang umum digunakan untuk mengevaluasi tekstur meliputi kekerasan (*hardness/firmness*), kohesivitas (*cohesiveness*), elastisitas (*springiness*), kegumalan (*gumminess*), kekenyalan (*chewiness*), viskositas, serta kemampuan menahan air (*water-holding capacity*). Secara umum, berbagai penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan dan kegumalan cenderung meningkat selama penyimpanan, sedangkan kohesivitas mengalami sedikit penurunan. Abdel Wahab *et al.*, (2024), dan Abdel Wahab *et al.*, (2021) melaporkan bahwa kekerasan yogurt meningkat secara bertahap selama penyimpanan, sementara perlakuan dengan penambahan enzim menghasilkan nilai kekerasan dan kegumalan yang lebih rendah dibandingkan kontrol. Sebaliknya, penambahan enzim tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap elastisitas, kohesivitas, maupun kekenyalan yogurt.

Perubahan karakteristik tekstur dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kandungan total padatan, tingkat keasaman, jenis susu, dan formulasi produk. Biçer *et al.*, (2025), melaporkan bahwa yogurt bebas laktosa berbahan susu domba memiliki tekstur dan sifat reologi yang lebih baik dibandingkan yogurt

susu sapi, ditandai dengan nilai kekerasan, viskositas, *water-holding capacity*, serta modulus elastis yang lebih tinggi, dan sineresis yang lebih rendah. Sementara itu, (Pinto *et al.*, (2019), menunjukkan bahwa penambahan probiotik termikroenkapsulasi meningkatkan kekerasan dan adhesivitas yogurt akibat meningkatnya kandungan total padatan. Skryplonek *et al.*, (2019), juga melaporkan bahwa penambahan κ -karagenan lebih efektif meningkatkan viskositas, kekerasan, dan kelengketan dibandingkan pati jagung, sedangkan Dantas *et al.*, (2021), menemukan bahwa penambahan bubuk whey hasil spray drying meningkatkan kekerasan yogurt, tetapi kohesivitas cenderung menurun selama penyimpanan. Secara keseluruhan, karakteristik tekstur yogurt bebas laktosa dipengaruhi oleh perubahan struktur gel selama fermentasi dan penyimpanan, serta oleh komposisi bahan baku dan bahan tambahan yang digunakan dalam formulasi produk.

5. Sensoris Yogurt Bebas Laktosa

Evaluasi sensoris merupakan parameter penting dalam menilai keberhasilan pengembangan yogurt bebas laktosa karena berpengaruh langsung terhadap penerimaan konsumen. Atribut yang dinilai umumnya meliputi penampilan, warna, aroma, cita rasa, tekstur, *mouthfeel*, kekriman (*creaminess*), dan penerimaan keseluruhan (*overall acceptability*). Hidrolisis laktosa oleh enzim laktase menghasilkan glukosa dan galaktosa yang lebih manis dibandingkan laktosa. Oleh karena itu,

yogurt bebas laktosa cenderung memiliki rasa lebih manis tanpa penambahan gula, sehingga dapat meningkatkan penerimaan konsumen apabila tingkat hidrolisis dan formulasi produk dioptimalkan (Abdel Wahab *et al.*, 2024).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan enzim laktase maupun β -galaktosidase mampu meningkatkan karakteristik sensoris yogurt tanpa menurunkan mutu produk. Miao *et al.*, (2024) melaporkan bahwa yogurt rendah laktosa tanpa penambahan gula (LF-NSA) yang diproduksi menggunakan enzim mutan T955R-AoBgal35A menunjukkan peningkatan tingkat kesukaan seiring dengan penambahan bubuk whey. Penambahan bubuk whey hingga 5% mulai menghasilkan rasa manis yang dapat dirasakan panelis, sedangkan konsentrasi 7,5% memberikan tingkat penerimaan tertinggi, terutama pada atribut rasa manis, keasaman, cita rasa susu, dan sensasi *creamy*. Selain itu, perubahan warna menjadi kuning muda akibat penambahan bubuk whey masih berada dalam batas yang dapat diterima konsumen. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi hidrolisis laktosa dan penambahan bubuk whey mampu meningkatkan karakteristik organoleptik sekaligus nilai gizi yogurt.

Selain komposisi bahan baku, penggunaan bahan penstabil juga berperan penting dalam menentukan kualitas sensoris yogurt bebas laktosa, terutama pada produk yogurt beku. Skryplonek *et al.*, (2019) melaporkan bahwa penambahan κ -karagenan menghasilkan karakteristik sensoris yang lebih

baik dibandingkan pati jagung maupun kontrol. Yogurt beku yang mengandung κ -karagenan memiliki struktur lebih halus, lebih lembut di mulut, dan bebas dari tekstur kasar akibat kristal es berukuran besar. Kemampuan κ -karagenan dalam menstabilkan jaringan gel menghasilkan tekstur yang lebih homogen dan tidak terlalu keras. Sebaliknya, penambahan pati jagung tidak memberikan perbedaan sensori yang nyata dibandingkan kontrol, sehingga efektivitasnya sebagai penstabil lebih rendah daripada κ -karagenan.

Pengaruh hidrolisis laktosa terhadap karakteristik sensori juga dilaporkan pada penelitian yang menggunakan β -galaktosidase dari *Lactobacillus paracasei*. Abdel Wahab *et al.*, (2021) menunjukkan bahwa pada kondisi segar tidak terdapat perbedaan signifikan pada penampilan, tekstur, maupun cita rasa antara yogurt yang diberi perlakuan enzim dan kontrol. Namun, selama penyimpanan dingin, yogurt yang mengandung β -galaktosidase mampu mempertahankan kualitas sensori lebih baik dibandingkan kontrol. Penambahan enzim pada konsentrasi 0,3% dan 0,6% menghasilkan skor cita rasa tertinggi hingga hari ke-6 penyimpanan, sementara penampilan dan teksturnya tetap serupa dengan yogurt konvensional. Penurunan mutu sensori selama penyimpanan terutama disebabkan oleh perubahan senyawa aroma akibat aktivitas mikroorganisme dan reaksi kimia yang masih berlangsung.

Hasil serupa juga dilaporkan oleh Abdel Wahab *et al.*, (2024), menunjukkan bahwa seluruh perlakuan yogurt bebas laktosa memiliki rasa lebih manis dibandingkan kontrol akibat hidrolisis laktosa menjadi glukosa dan galaktosa. Namun, peningkatan konsentrasi enzim tidak selalu meningkatkan penerimaan sensori. Perlakuan dengan hidrolisis laktosa tertinggi justru tidak menghasilkan skor sensori terbaik. Penambahan enzim sebesar 0,3% dipilih sebagai formulasi optimum karena mampu menurunkan kadar laktosa tanpa mengubah rasa, aroma, warna, dan konsistensi yogurt. Temuan tersebut menunjukkan bahwa optimasi konsentrasi enzim penting untuk memperoleh keseimbangan antara penurunan kadar laktosa dan kualitas sensori produk.

SIMPULAN

Penerapan enzim laktase (β -galaktosidase) dalam produksi yogurt efektif menghidrolisis laktosa menjadi glukosa dan galaktosa sehingga menghasilkan yogurt rendah hingga bebas laktosa yang aman bagi individu dengan intoleransi atau malabsorpsi laktosa. Hidrolisis laktosa juga menyediakan substrat yang lebih mudah dimanfaatkan bakteri asam laktat sehingga mendukung fermentasi dan mempertahankan pH akhir pada kisaran normal yogurt. Selain itu, penambahan enzim laktase tidak menurunkan kualitas tekstur maupun karakteristik sensori, bahkan dengan formulasi yang tepat dan penambahan penstabil atau bubuk whey dapat meningkatkan viskositas,

stabilitas gel, rasa, serta penerimaan konsumen. Secara keseluruhan, yogurt bebas laktosa memiliki karakteristik fisikokimia, tekstur, dan sensori yang sebanding, bahkan pada beberapa aspek lebih baik daripada yogurt konvensional sehingga berpotensi menjadi alternatif produk susu fermentasi berkualitas, khususnya bagi penderita intoleransi laktosa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi kepada seluruh penulis dan peneliti yang karya ilmiahnya digunakan sebagai referensi dalam penyusunan artikel kajian literatur ini. Publikasi hasil penelitian mereka telah memberikan kontribusi yang sangat berharga sebagai landasan ilmiah dalam penyusunan dan pengembangan pembahasan pada artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel Wahab, W. A., Ahmed, S. A., Kholif, A. M. M., Abd El Ghani, S., & Wehaidy, H. R. (2021). Rice straw and orange peel wastes as cheap and eco-friendly substrates: A new approach in β -galactosidase (lactase) enzyme production by the new isolate *L. paracasei* MK852178 to produce low-lactose yogurt for lactose-intolerant people. *Waste Management*, 131, 403–411. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.06.028>
- Abdel Wahab, W. A., Ahmed, S. A., Kholif, A. M. M., El Ghani, S. A., & Wehaidy, H. R. (2024). Low-lactose yoghurt production using β -galactosidase: An integrated study for the enzyme and its application. *International Dairy Journal*, 151, 105864. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105864>
- Andrani, M., Dall'Olio, E., De Rensis, F., Tummaruk, P., & Saleri, R. (2024). Bioactive Peptides in Dairy Milk: Highlighting the Role of Melatonin. *Biomolecules*, 14(8), 934. <https://doi.org/10.3390/biom14080934>
- Ayivi, R. D., & Ibrahim, S. A. (2022). Lactic acid bacteria: An essential probiotic and starter culture for the production of yoghurt. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(11), 7008–7025. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16076>
- Biçer, Y., Turkal, G., Telli, A. E., Bayır, T., & Sert, D. (2025). Comparative study of the outcome of yogurt-type fermentation of lactose-containing and lactose-free cow and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 252, 107583. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2025.107583>
- Brishti, M. R., Venkatraman, G., Baba, A. S. B. H., Yajit, N. L. M., & Karsani, S. A. (2026). Natural Bioactive Compounds Enriched Functional Yogurt: Impact on the Probiotic Bacteria and Its Potential Health Benefits. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 18(1), 1360–1377. <https://doi.org/10.1007/s12602-025-10461-1>
- Catanzaro, R., Sciuto, M., & Marotta, F. (2021). Lactose Intolerance—Old and New Knowledge on Pathophysiological Mechanisms, Diagnosis, and Treatment. *SN Comprehensive Clinical Medicine*, 3(2), 499–509. <https://doi.org/10.1007/s42399-021-00792-9>
- Chebykin, Y. S., Musin, E. V., Kim, A. L., & Tikhonenko, S. A. (2025). Lactose removal in dairy products using immobilized on glass plates polyelectrolyte microcapsules with encapsulated β -galactosidase. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 105, 104180. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2025.104180>

- Costa, J. B., Nascimento, L. G. L., Martins, E., & Carvalho, A. F. D. (2024). Immobilization of the β -galactosidase enzyme by encapsulation in polymeric matrices for application in the dairy industry. *Journal of Dairy Science*, 107(11), 9100–9109. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-24892>
- Dantas, A., Verruck, S., Canella, M. H. M., Hernandez, E., & Prudencio, E. S. (2021). Encapsulated Bifidobacterium BB-12 addition in a concentrated lactose-free yogurt: Its survival during storage and effects on the product's properties. *Food Research International*, 150, 110742. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110742>
- Dhar, H., Verma, S., Dogra, S., Katoch, S., Vij, R., Singh, G., & Sharma, M. (2023). Functional attributes of bioactive peptides of bovine milk origin and application of *in silico* approaches for peptide prediction and functional annotations. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–23. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2212803>
- Facioni, M. S., Raspini, B., Pivari, F., Dogliotti, E., & Cena, H. (2020). Nutritional management of lactose intolerance: The importance of diet and food labelling. *Journal of Translational Medicine*, 18(1), 260. <https://doi.org/10.1186/s12967-020-02429-2>
- Li, X., Wang, L., Guan, B., Xu, C., Hu, Y., Han, R., Li, X., Ni, Y., Zeng, J., & Amirzada, M. I. (2025). Biochemical characterization of a β -galactosidase from *Lactiplantibacillus plantarum* YLBGNL-S7 and utilization of its permeabilized whole-cell catalyst for in situ galactooligosaccharide synthesis during yogurt making. *LWT*, 215, 117234. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117234>
- Miao, M., Li, S., Yang, S., Yan, Q., Xiang, Z., & Jiang, Z. (2024). Engineering the β -galactosidase from *Aspergillus oryzae* for making lactose-free and no-sugar-added yogurt. *Journal of Dairy Science*, 107(9), 6602–6613. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24310>
- Pinto, S. S., Fritzen-Freire, C. B., Dias, C. O., & Amboni, R. D. M. C. (2019). A potential technological application of probiotic microcapsules in lactose-free Greek-style yoghurt. *International Dairy Journal*, 97, 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.05.009>
- Skryplonek, K., Henriques, M., Gomes, D., Viegas, J., Fonseca, C., Pereira, C., Dmytrów, I., & Mituniewicz-Malek, A. (2019). Characteristics of lactose-free frozen yogurt with κ -carrageenan and corn starch as stabilizers. *Journal of Dairy Science*, 102(9), 7838–7848. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16556>
- Tagliazucchi, D., Martini, S., & Solieri, L. (2019). Bioprospecting for Bioactive Peptide Production by Lactic Acid Bacteria Isolated from Fermented Dairy Food. *Fermentation*, 5(4), 96. <https://doi.org/10.3390/fermentation5040096>