



Sauerkraut sebagai Pangan Fungsional Berbasis Fermentasi dengan Potensi Senyawa Bioaktif dan Implikasinya terhadap Kesehatan

Yuliatin Hasfiani^{1*}, Nia Ulfa Madani²

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

Article Information

Article history:

Received April 2, 2026
 Approved April 30, 2026

Keywords:

*Bioactive Compound,
 Functional Food, Health
 Benefits, Lactic Acid
 Bacteria, Sauerkraut*

ABSTRACT

Sauerkraut is a fermented cabbage product (*Brassica oleracea* var. *capitata*) rich in lactic acid bacteria (LAB) and bioactive compounds, making it a potential functional food. This article aims to examine the fermentation process, changes in the composition of bioactive compounds, and the health implications of sauerkraut consumption. The study is based on a literature review obtained from Scopus, PubMed, ScienceDirect, SpringerLink, and Google Scholar databases published between 2009 and 2026. The results of the review indicate that fermentation increases the bioavailability of various bioactive compounds such as phenolic compounds, flavonoids, glucosinolates, isothiocyanates, ascorbigens, and folates through the metabolic activity of lactic acid bacteria. In addition, lactic acid bacteria also contribute to the balance of the gut microbiota and the formation of metabolites that support antioxidant, anti-inflammatory, immunomodulatory, antimicrobial, and anticarcinogenic activities. Scientific evidence suggests that sauerkraut consumption has the potential to support digestive health and reduce the risk of various degenerative diseases. However, standardization of the fermentation process and preclinical and clinical studies are still needed to validate the safety, effectiveness, and biological mechanisms of sauerkraut's health benefits. This study strengthens sauerkraut's potential as a promising functional food to support human health.

ABSTRAK

Sauerkraut merupakan produk fermentasi kubis (*Brassica oleracea* var. *capitata*) yang kaya bakteri asam laktat (BAL) dan senyawa bioaktif sehingga berpotensi sebagai pangan fungsional. Artikel ini bertujuan mengkaji proses fermentasi, perubahan komposisi senyawa bioaktif, serta implikasi konsumsi sauerkraut terhadap kesehatan. Kajian disusun berdasarkan telaah literatur yang diperoleh dari database Scopus, PubMed, ScienceDirect, SpringerLink, dan Google Scholar yang dipublikasikan pada periode 2009-2026. Hasil telaah menunjukkan bahwa fermentasi meningkatkan bioavailabilitas berbagai senyawa bioaktif seperti senyawa fenolik, flavonoid, glukosinolat, *isothiocyanate*, *ascorbigen*, dan folat melalui aktivitas metabolisme bakteri asam laktat. Selain itu, bakteri asam

laktat juga berkontribusi terhadap keseimbangan mikrobiota usus dan pembentukan metabolit yang mendukung aktivitas antioksidan, antiinflamasi, imunomodulator, antimikroba, serta antikarsinogenik. Bukti ilmiah menunjukkan bahwa konsumsi sauerkraut berpotensi mendukung kesehatan saluran pencernaan serta menurunkan risiko berbagai penyakit degeneratif. Meskipun demikian, standardisasi proses fermentasi dan penelitian praklinis maupun klinis masih diperlukan untuk memvalidasi keamanan, efektivitas, serta mekanisme biologis manfaat kesehatan sauerkraut. Kajian ini memperkuat potensi sauerkraut sebagai pangan fungsional yang menjanjikan untuk mendukung kesehatan manusia.

© 2026 SAINTEKES

*Corresponding author email: hasfianiyuliatin17@gmail.com

PENDAHULUAN

Sauerkraut merupakan makanan tradisional yang populer di Eropa Tengah dan Timur, Amerika Serikat, serta Asia yang dihasilkan melalui fermentasi asam laktat pada kubis putih (*Brassica oleracea* var. *capitata*) yang telah dicacah dan ditambahkan garam (Peñas et al., 2017). Proses fermentasi berlangsung secara spontan dengan melibatkan dominasi bakteri asam laktat (BAL) seperti *Leuconostoc*, *Lactiplantibacillus*, *Levilactobacillus*, dan *Pediococcus* yang mengubah karbohidrat menjadi asam laktat sehingga menghasilkan produk dengan cita rasa khas, umur simpan lebih panjang, serta keamanan mikrobiologis yang lebih baik (Ciska et al., 2021). Selain berfungsi sebagai metode pengawetan, fermentasi juga meningkatkan kualitas nutrisi dan menghasilkan berbagai metabolit bioaktif yang berpotensi memberikan manfaat bagi kesehatan (Zubaidah et al., 2025). Oleh karena itu, sauerkraut tidak hanya dikenal sebagai pangan fermentasi tradisional tetapi juga semakin mendapat perhatian sebagai salah satu pangan fungsional.

Sauerkraut mengandung berbagai komponen bioaktif yang berasal dari kubis maupun hasil biotransformasi selama fermentasi (Fijan et al., 2024). Senyawa tersebut meliputi polifenol, flavonoid, vitamin C, vitamin K, serat pangan, glukosinolat, serta metabolit turunannya seperti *isothiocyanate*, *indole-3-carbinol*, dan

ascorbigen yang diketahui memiliki aktivitas biologis tinggi (Kapusta-Duch et al., 2017). Selain itu, keberadaan bakteri asam laktat dan metabolit hasil fermentasi berkontribusi dalam menjaga keseimbangan mikrobiota usus, meningkatkan bioavailabilitas nutrien, serta menghasilkan berbagai senyawa yang berpotensi mendukung kesehatan manusia (Orgeron et al., 2016). Temuan tersebut menunjukkan bahwa fermentasi tidak hanya berfungsi sebagai metode pengawetan, tetapi juga meningkatkan nilai fungsional produk melalui pembentukan senyawa bioaktif dan metabolit yang menguntungkan.

Berbagai penelitian melaporkan bahwa konsumsi sauerkraut berpotensi memberikan efek antioksidan, antiinflamasi, imunomodulator, antikarsinogenik, serta mendukung kesehatan saluran pencernaan melalui modulasi mikrobiota usus (Siddeeg et al., 2022). Senyawa bioaktif hasil fermentasi juga berpotensi berkontribusi terhadap penurunan risiko berbagai penyakit tidak menular seperti penyakit kardiovaskular, gangguan metabolik, dan beberapa jenis kanker (Bousquet et al., 2021). Manfaat tersebut merupakan hasil sinergi antara senyawa bioaktif alami kubis, metabolit hasil fermentasi, dan aktivitas bakteri asam laktat. Kemajuan teknologi analisis juga memperluas pemahaman mengenai mekanisme biologis dan perubahan senyawa

bioaktif yang terjadi selama fermentasi (Yang et al., 2023).

Meskipun publikasi mengenai sauerkraut terus meningkat, kajian yang mengintegrasikan proses fermentasi, perubahan senyawa bioaktif, dan implikasinya terhadap kesehatan masih terbatas. Oleh karena itu, artikel review ini bertujuan mengulas secara komprehensif ketiga aspek tersebut berdasarkan hasil penelitian terkini. Kajian ini diharapkan menjadi landasan ilmiah bagi pengembangan sauerkraut sebagai pangan fungsional dan memberikan arah bagi penelitian selanjutnya, khususnya terkait standarisasi fermentasi dan validasi manfaat kesehatan.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah literature review secara sistematis dan meta analysis menggunakan database Scopus, PubMed, ScienceDirect, SpringerLink, dan Google Scholar (2009-2026) menggunakan kata kunci "*sauerkraut*", "*lactic acid fermentation*", "*functional food*", "*bioactive compounds*", "*lactic acid bacteria*", "*gut microbiota*" serta "*health benefits*". Literatur yang diperoleh selanjutnya dikumpulkan, diseleksi, dan dirangkum berdasarkan tujuan penulisan artikel ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sauerkraut sebagai Pangan Fungsional

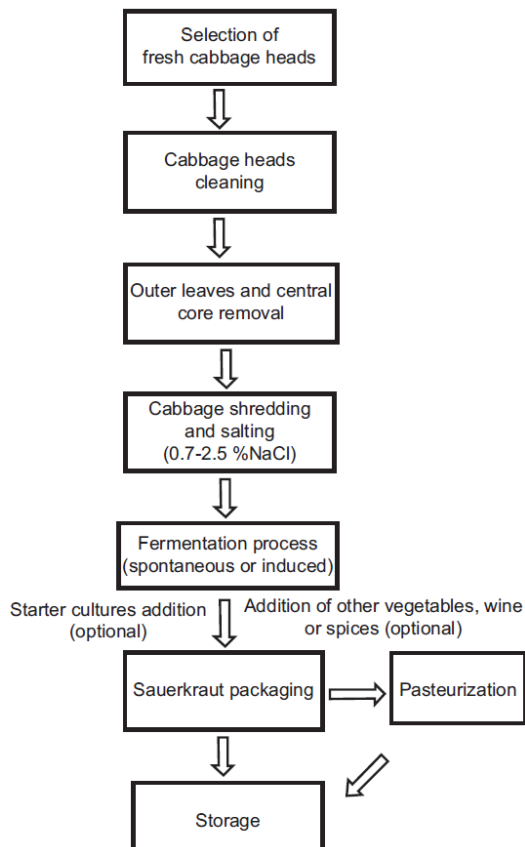
Sauerkraut merupakan produk sayuran fermentasi tradisional yang memiliki berbagai manfaat kesehatan (Şanlıer et al., 2019). Produk ini dihasilkan melalui fermentasi spontan kubis yang didominasi oleh bakteri asam laktat heterofermentatif. Kandungan nutrisi, senyawa fitokimia, serta metabolit hasil fermentasi menjadikan sauerkraut sebagai pangan fungsional yang berpotensi memberikan berbagai efek terapeutik (Beganović et al., 2011).



Gambar 1. Sauerkraut (Giuffrè & Giuffrè, 2024)

Produksi sauerkraut menggunakan kubis segar yang daun luarnya dipangkas dan inti tengahnya dibuang. Kubis selanjutnya diiris tipis dengan ketebalan 0,7-2 mm dan ditambahkan garam (NaCl) sebanyak 0,7-2,5%. Penambahan garam berfungsi menciptakan kondisi anaerobik, menghambat pertumbuhan mikroorganisme pembusuk dan aktivitas enzim pektinolitik, serta memengaruhi jenis populasi mikroba dan kualitas sensorik sauerkraut. Rempah-rempah, herba, dan wortel biasanya ditambahkan pada tahap fermentasi untuk meningkatkan cita rasa sauerkraut. Selanjutnya, kubis dipadatkan dalam wadah fermentasi, ditutup rapat untuk mempertahankan kondisi anaerobik, dan difermentasi selama 1 minggu hingga beberapa bulan. Setelah fermentasi selesai, sauerkraut dikemas sebagai produk segar atau dipasteurisasi untuk memperpanjang masa simpannya (Wolkers-Rooijackers et al., 2013).

Kondisi fermentasi dan populasi mikroba memiliki dampak signifikan terhadap pembentukan dan karakteristik sauerkraut. Kondisi fermentasi yang tepat seperti konsentrasi komponen relatif dan suhu memastikan bahwa bakteri asam laktat (BAL) adalah mikroorganisme utama dalam produk akhir setelah proses selesai. Dominasi BAL tersebut berperan penting dalam menghasilkan asam organik dan berbagai metabolit bioaktif yang menentukan kualitas, keamanan, serta potensi fungsional sauerkraut (Lee et al., 2011).



Gambar 2. Proses pembuatan sauerkraut (Peñas et al., 2017)

2. Perubahan Senyawa Bioaktif selama Fermentasi

Senyawa bioaktif utama dalam sauerkraut meliputi folat (vitamin B9), senyawa fenolik dan glukosinolat yang berasal dari kubis serta mengalami perubahan selama fermentasi (Xu et al., 2021). Senyawa fenolik berkontribusi terhadap aktivitas antioksidan, sedangkan glukosinolat beserta produk hidrolisisnya berperan dalam pembentukan aroma khas dan memiliki aktivitas antioksidan maupun antikarsinogenik (Andrés et al., 2025). Selain itu, folat berperan penting dalam sintesis dan perbaikan DNA, pembelahan sel, serta perkembangan sistem saraf janin (Gurugubelli & Ballambattu, 2024).

Selama fermentasi, aktivitas metabolik bakteri asam laktat menyebabkan degradasi dinding sel tanaman sehingga meningkatkan pelepasan senyawa fenolik yang sebelumnya terikat pada matriks sel. Proses ini juga

mendorong biotransformasi berbagai komponen dan pembentukan metabolit baru yang berkontribusi terhadap peningkatan aktivitas biologis serta nilai fungsional sauerkraut (Major et al., 2022).

3. Peran Bakteri Asam Laktat dalam Fermentasi Sauerkraut

Selama fermentasi kubis, terjadi pergantian cepat berbagai spesies bakteri asam laktat (BAL) heterofermentatif dan homofermentatif karena modifikasi kondisi ekologis sepanjang proses. BAL memetabolisme gula menjadi asam laktat dan menurunkan pH media yang memastikan pengawetannya dan memberinya rasa khas. BAL juga meningkatkan bioavailabilitas nutrisi dibandingkan dengan kubis segar (Jácome-Silva et al., 2025).

Fermentasi dimulai BAL heterofermentatif terutama *Leuconostoc mesenteroides*. Bakteri ini mendominasi mikrobiota pada tahap awal fermentasi karena memiliki toleransi asam dan sifat mikroaerofilik yang lebih rendah dan memiliki waktu generasi yang lebih pendek daripada BAL lain pada suhu 18-20°C dan konsentrasi NaCl hingga 5%. BAL lain seperti *Leuconostoc fallax* juga terlibat dalam periode fermentasi awal. Komunitas bakteri ini menghasilkan sejumlah besar asam asetat dan asam laktat yang menyebabkan penurunan pH, serta karbon dioksida yang menyediakan lingkungan anaerobik (Özer & Kalkan Yıldırım, 2019). Ketika kandungan asam meningkat menjadi 0,7-1% dan pH turun di bawah 4,5, spesies *Leuconostoc* digantikan oleh BAL homofermentatif yang lebih toleran terhadap asam seperti *Lactobacillus plantarum* dan *Lactobacillus brevis*. Populasi ini menghasilkan asam laktat hampir secara eksklusif dan mendominasi tahap akhir fermentasi, ketika pH mencapai nilai berkisar antara 3,4 hingga 3,7. Suksesi yang tepat dari komunitas bakteri ini selama fermentasi sangat penting untuk mendapatkan sauerkraut dengan kualitas sensorik

yang baik. Pada akhir proses fermentasi, sauerkraut mengandung sekitar 1% asam asetat dan lebih dari 2% asam laktat (Peñas et al., 2017).

Berbagai senyawa antimikroba seperti asam organik, hidrogen peroksida, diasetil, enzim penghambat, dan bakteriosin dapat diproduksi oleh BAL (Ibrahim et al., 2021). BAL menghambat pertumbuhan bakteri dengan bersaing untuk mendapatkan nutrisi dan menghasilkan asam laktat dan asam asetat yang berfungsi sebagai penghambat bakteri. Pertumbuhan BAL yang optimal didukung oleh jumlah garam yang lebih rendah dan asam yang cukup untuk mencegah pertumbuhan bakteri berbahaya tanpa menyebabkan degradasi pada sifat sensorik sauerkraut selama proses fermentasi (Siddeeg et al., 2022).

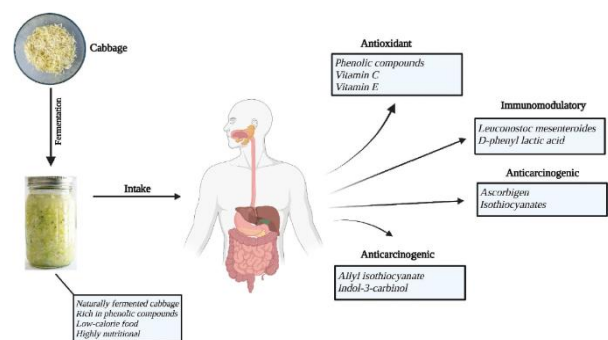
4. Implikasi Sauerkraut terhadap Kesehatan

Stres oksidatif telah banyak diidentifikasi sebagai faktor dalam pematangan dan patogenesis berbagai komplikasi kesehatan utama termasuk penyakit kardiovaskular dan neurodegeneratif. Sauerkraut dianggap sebagai sumber antioksidan yang sangat baik dengan kandungan vitamin C sebesar (14,7-75 mg/100 g berat segar (fw)) dan senyawa fenolik sebesar (0,44-1,06 mg setara asam galat/100 g (fw)). Konsentrasi vitamin C dan E yang tinggi serta senyawa fenolik pada sauerkraut berfungsi sebagai penangkap radikal bebas yang kuat dan melindungi tubuh terhadap stres oksidatif (Ellulu et al., 2015).

Sauerkraut juga berpotensi meningkatkan fungsi sistem kekebalan tubuh. Selama proses fermentasi, bakteri asam laktat seperti *Leuconostoc mesenteroides* menghasilkan berbagai metabolit bioaktif termasuk D-phenyl lactic acid yang diketahui memiliki aktivitas imunomodulator (Zubaidah et al., 2020). Kultur sauerkraut dan *Leuconostoc mesenteroides* dipelajari untuk aktivitas imunomodulatornya pada hewan percobaan. Temuan penelitian menunjukkan bahwa sauerkraut meningkatkan sistem kekebalan adaptif dan bawaan (Zubaidah

et al., 2020). Mikroorganisme dan metabolit tersebut berkontribusi dalam mengatur respons imun melalui aktivasi sel-sel imun serta menjaga keseimbangan mikrobiota usus sehingga meningkatkan pertahanan tubuh terhadap infeksi dan penyakit (Peters et al., 2019).

Potensi antikarsinogenik sauerkraut terutama dikaitkan dengan keberadaan *ascorbigen* dan berbagai *isothiocyanates* yang berasal dari hidrolisis glukosinolat selama fermentasi (Ciska et al., 2021). Senyawa-senyawa ini mampu menghambat aktivasi senyawa karsinogen, meningkatkan proses detoksifikasi melalui modulasi enzim fase I dan fase II, serta melindungi DNA dari kerusakan dengan menghambat terjadinya mutasi gen (Romeo et al., 2018; Wagner & Rimbach, 2009). Oleh karena itu, konsumsi sayuran kubis yang difermentasi telah banyak dikaitkan dengan penurunan risiko beberapa jenis kanker.



Gambar 3. Manfaat kesehatan mengonsumsi sauerkraut (Siddeeg et al., 2022)

Sauerkraut berpotensi untuk melindungi dari gangguan inflamasi kronis yang diakui sebagai penyebab utama kematian di seluruh dunia. Senyawa bioaktif seperti *allyl isothiocyanate* dan *indole-3-carbinol* diketahui mampu menekan produksi sitokin proinflamasi, termasuk *tumor necrosis factor-α* (TNF-α), *interleukin-6* (IL-6), dan *interleukin-1β* (IL-1β), serta menghambat ekspresi enzim proinflamasi seperti *cyclooxygenase-2* (COX-2) dan *inducible nitric oxide synthase* (iNOS) (Wagner et al., 2012). Aktivitas ini berkontribusi dalam

mengurangi respons inflamasi kronis yang merupakan faktor risiko berbagai penyakit degeneratif (Martinez-Villaluenga et al., 2012). Secara keseluruhan, manfaat terapeutik sauerkraut berasal dari sinergi senyawa bioaktif, metabolit hasil fermentasi, dan bakteri asam laktat yang mendukung aktivitas antioksidan, imunomodulator, antikarsinogenik, dan antiinflamasi.

SIMPULAN

Sauerkraut merupakan pangan fungsional hasil fermentasi kubis yang memiliki potensi kesehatan melalui sinergi antara bakteri asam laktat, senyawa bioaktif alami, dan metabolit hasil fermentasi. Proses fermentasi meningkatkan bioavailabilitas senyawa bioaktif yang berkontribusi terhadap aktivitas antioksidan, antiinflamasi, imunomodulator, antimikroba, dan antikarsinogenik, serta mendukung keseimbangan mikrobiota usus. Berdasarkan bukti ilmiah yang tersedia, sauerkraut berpotensi dikembangkan sebagai pangan fungsional untuk mendukung pencegahan penyakit degeneratif. Namun, standarisasi proses fermentasi serta penelitian praklinis dan klinis yang lebih komprehensif masih diperlukan untuk memvalidasi keamanan, efektivitas, dan mekanisme biologis manfaat kesehatannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh peneliti dan penulis yang karyanya menjadi sumber referensi dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrés, C. M. C., Pérez de la Lastra, J. M., Munguira, E. B., Juan, C. A., & Pérez-Lebeña, E. (2025). The Multifaceted Health Benefits of Broccoli—A Review of Glucosinolates, Phenolics and Antimicrobial Peptides. In *Molecules* (Vol. 30, Number 11). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/molecules30112262>
- Beganović, J., Pavunc, A. L., Gjuračić, K., Špoljarec, M., Šušković, J., & Kos, B. (2011). Improved Sauerkraut Production with Probiotic Strain *Lactobacillus plantarum* L4 and *Leuconostoc mesenteroides* LMG 7954. *Journal of Food Science*, 76(2). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.02030.x>
- Bousquet, J., Anto, J. M., Czarlewski, W., Haahtela, T., Fonseca, S. C., Iaccarino, G., Blain, H., Vidal, A., Sheikh, A., Akdis, C. A., Zuberbier, T., Hamzah Abdul Latiff, A., Abdullah, B., Aberer, W., Abusada, N., Adcock, I., Afani, A., Agache, I., Aggelidis, X., ... Zubrinich, C. (2021). Cabbage and fermented vegetables: From death rate heterogeneity in countries to candidates for mitigation strategies of severe COVID-19. In *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology* (Vol. 76, Number 3, pp. 735–750). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/all.14549>
- Ciska, E., Honke, J., & Drabińska, N. (2021). Changes in glucosinolates and their breakdown products during the fermentation of cabbage and prolonged storage of sauerkraut: Focus on sauerkraut juice. *Food Chemistry*, 365. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130498>
- Ellulu, M. S., Rahmat, A., Patimah, I., Khaza' Ai, H., & Abed, Y. (2015). Effect of vitamin C on inflammation and metabolic markers in hypertensive and/or diabetic obese adults: A randomized controlled trial. *Drug Design, Development and Therapy*, 9, 3405–3412. <https://doi.org/10.2147/DDDT.S83144>
- Fijan, S., Fijan, P., Wei, L., & Marco, M. L. (2024). Health Benefits of Kimchi, Sauerkraut, and Other Fermented Foods of

- the Genus *Brassica*. In *Applied Microbiology (Switzerland)* (Vol. 4, Number 3, pp. 1165–1176). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).
<https://doi.org/10.3390/applmicrobiol4030079>
- Giuffrè, D., & Giuffrè, A. M. (2024). Fermentation Technology and Functional Foods. In *Frontiers in Bioscience - Elite* (Vol. 16, Number 1). IMR Press Limited.
<https://doi.org/10.31083/j.fbe1601008>
- Gurugubelli, K. R., & Ballambattu, V. B. (2024). Perspectives on folate with special reference to epigenetics and neural tube defects. In *Reproductive Toxicology* (Vol. 125). Elsevier Inc.
<https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2024.108576>
- Ibrahim, S. A., Ayivi, R. D., Zimmerman, T., Siddiqui, S. A., Altemimi, A. B., Fidan, H., Esatbeyoglu, T., & Bakhshayesh, R. V. (2021). Lactic acid bacteria as antimicrobial agents: Food safety and microbial food spoilage prevention. In *Foods* (Vol. 10, Number 12). MDPI.
<https://doi.org/10.3390/foods10123131>
- Jácome-Silva, L. G., Marín-Iniesta, F., Tortosa-Díaz, L., Planes-Muñoz, D., & López-Nicolas, R. (2025). Influence of the Type of Sauerkraut Fermentation with Probiotics Strains on Folate Content, Antioxidant Activity and Sensory Analysis. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(18).
<https://doi.org/10.3390/app15189934>
- Kapusta-Duch, J., Kuszniereicz, B., Leszczyńska, T., & Borczak, B. (2017). Effect of Package Type on Selected Parameters of Nutritional Quality of Chill-Stored White Sauerkraut. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 67(2), 137–144. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2016-0014>
- Lee, H., Yoon, H., Ji, Y., Kim, H., Park, H., Lee, J., Shin, H., & Holzapfel, W. (2011). Functional properties of *Lactobacillus* strains isolated from kimchi. *International Journal of Food Microbiology*, 145(1), 155–161.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.12.003>
- Major, N., Bažon, I., Išić, N., Kovačević, T. K., Ban, D., Radeka, S., & Ban, S. G. (2022). Bioactive Properties, Volatile Compounds, and Sensory Profile of Sauerkraut Are Dependent on Cultivar Choice and Storage Conditions. *Foods*, 11(9).
<https://doi.org/10.3390/foods11091218>
- Martinez-Villaluenga, C., Peñas, E., Sidro, B., Ullate, M., Frias, J., & Vidal-Valverde, C. (2012). White cabbage fermentation improves ascorbigen content, antioxidant and nitric oxide production inhibitory activity in LPS-induced macrophages. *LWT*, 46(1), 77–83.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.10.023>
- Orgeron, R., Corbin, A., & Scott, B. (2016). Sauerkraut: A Probiotic Superfood. In *Functional Foods in Health and Disease* (Vol. 6, Number 8).
- Özer, C., & Kalkan Yıldırım, H. (2019). Some Special Properties of Fermented Products with Cabbage Origin: Pickled Cabbage, Sauerkraut and Kimchi. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 7(3), 490–497.
<https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i3.490-497.2350>
- Peñas, E., Martinez-Villaluenga, C., & Frias, J. (2017). Sauerkraut: Production, Composition, and Health Benefits. In *Fermented Foods in Health and Disease Prevention* (pp. 557–576). Elsevier Inc.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802309-9.00024-8>
- Peters, A., Krumbholz, P., Jäger, E., Heintz-Buschart, A., Çakir, M. V., Rothmund, S., Gaudl, A., Ceglarek, U., Schöneberg, T., & Stäubert, C. (2019). Metabolites of lactic

- acid bacteria present in fermented foods are highly potent agonists of human hydroxycarboxylic acid receptor 3. *PLoS Genetics*, 15(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1008145>
- Romeo, L., Iori, R., Rollin, P., Bramanti, P., & Mazzon, E. (2018). Isothiocyanates: An overview of their antimicrobial activity against human infections. In *Molecules* (Vol. 23, Number 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules23030624>
- Şanlıer, N., Gökçen, B. B., & Sezgin, A. C. (2019). Health benefits of fermented foods. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 59, Number 3, pp. 506–527). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1383355>
- Siddeeg, A., Afzaal, M., Saeed, F., Ali, R., Shah, Y. A., Shehzadi, U., Ateeq, H., Waris, N., Hussain, M., Raza, M. A., & Al-Farga, A. (2022). Recent updates and perspectives of fermented healthy super food sauerkraut: a review. In *International Journal of Food Properties* (Vol. 25, Number 1, pp. 2320–2331). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2135531>
- Wagner, A. E., Boesch-Saadatmandi, C., Dose, J., Schultheiss, G., & Rimbach, G. (2012). Anti-inflammatory potential of allyl-isothiocyanate - role of nrf2, nf-κB and microrna-155. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 16(4), 836–843. <https://doi.org/10.1111/j.1582-4934.2011.01367.x>
- Wagner, A. E., & Rimbach, G. (2009). Ascorbigen: chemistry, occurrence, and biologic properties. *Clinics in Dermatology*, 27(2), 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2008.01.012>
- Wolkers-Rooijackers, J. C. M., Thomas, S. M., & Nout, M. J. R. (2013). Effects of sodium reduction scenarios on fermentation and quality of sauerkraut. *LWT*, 54(2), 383–388. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.07.002>
- Xu, Y., Xing, M., Song, L., Yan, J., Lu, W., & Zeng, A. (2021). Genome-Wide Analysis of Simple Sequence Repeats in Cabbage (*Brassica oleracea* L.). *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.726084>
- Yang, F., Chen, C., Ni, D., Yang, Y., Tian, J., Li, Y., Chen, S., Ye, X., & Wang, L. (2023). Effects of Fermentation on Bioactivity and the Composition of Polyphenols Contained in Polyphenol-Rich Foods: A Review. In *Foods* (Vol. 12, Number 17). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/foods12173315>
- Zubaidah, E., Hasfiani, Y., & Sujuti, H. (2025). Physicochemical Properties and Anti-cancer Activity of Javanese Turmeric Kombucha (*Curcuma xanthorrhiza*) Against T47D Cell Line. *Trends in Sciences*, 22(9), 10417. <https://doi.org/10.48048/tis.2025.10417>
- Zubaidah, E., Susanti, I., Yuwono, S. S., Rahayu, A. P., Srianta, I., & Tewfik, I. (2020). The combined impact of sauerkraut with *Leuconostoc mesenteroides* to enhance immunomodulatory activity in *Escherichia coli*-infected mice. *European Food Research and Technology*, 246(9), 1889–1893. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03540-w>