

BIOTRANSFORMASI SENYAWA BIOAKTIF PADA FERMENTASI LIMBAH KULIT BUAH DAN KAITANNYA TERHADAP AKTIVITAS FARMAKOLOGIS: TINJAUAN MEKANISTIK

Ni Komang Yenitha Meilani Dewi

Program Studi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana

email: yenithadewi@gmail.com

Abstract

Fruit peel waste is an agro-industrial by-product that remains underutilized despite containing various bioactive compounds, including phenolic compounds, flavonoids, tannins, carotenoids, vitamins, and volatile constituents. The use of fruit peels as sources of bioactive compounds has been extensively investigated in relation to their antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory, and other biological activities. Fermentation represents a promising approach to enhancing the functional value of fruit peels through biotransformation processes mediated by microbial and enzymatic activities. These processes may promote the release of phenolic compounds from plant matrices, the hydrolysis of glycosidic compounds into their corresponding aglycones, and changes in the composition of bioactive compounds that may influence their biological activities. This review aims to examine the relationship between the fermentation of fruit peel waste, changes in the profiles and chemical forms of bioactive compounds, and the resulting alterations in biological activities. The reviewed literature indicates that fermentation of various fruit peels can increase or alter the contents of phenolic compounds, flavonoids, and tannins, which, in some studies, are accompanied by enhanced antioxidant, antibacterial, and anti-inflammatory activities, as well as prebiotic potential. These changes are influenced by the types of microorganisms used, fermentation conditions, raw material characteristics, and the ability of microorganisms to biotransform bioactive compounds. This review also highlights that the relationships between changes in specific compounds and pharmacological activities are not yet fully understood. Therefore, standardization of fermentation conditions, compound characterization, bioavailability assessment, safety evaluation, and reproducibility of results are essential considerations in developing fermented fruit peels as value-added sources of bioactive compounds.

Keywords: *fruit peels, fermentation, biotransformation, bioactive compounds, pharmacological activities*

Abstrak

Limbah kulit buah merupakan salah satu hasil samping agroindustri yang masih belum dimanfaatkan secara optimal, meskipun mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti senyawa fenolik, flavonoid, tanin, karotenoid, vitamin, dan

Article history

Received: Oktober 2026

Reviewed: Oktober 2026

Published: Oktober 2026

Plagiarism checker no 234.8576

Copyright : Author

Publish by : Nutricia



This work is licensed under a [creative commons attribution-noncommercial 4.0 international license](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

komponen volatil. Pemanfaatan kulit buah sebagai sumber bahan bioaktif telah banyak dikaji berdasarkan aktivitas antioksidan, antimikroba, antiinflamasi, dan aktivitas biologis lainnya. Fermentasi menjadi salah satu pendekatan yang berpotensi meningkatkan nilai fungsional kulit buah melalui proses biotransformasi yang dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme dan enzim. Proses tersebut dapat menyebabkan pelepasan senyawa fenolik dari matriks tanaman, hidrolisis senyawa glikosida menjadi aglikon, serta perubahan komposisi senyawa bioaktif yang dapat memengaruhi aktivitas biologisnya. Review ini bertujuan mengkaji hubungan antara fermentasi limbah kulit buah, perubahan profil dan bentuk kimia senyawa bioaktif, serta perubahan aktivitas biologis yang dihasilkan. Literatur yang dikaji menunjukkan bahwa fermentasi pada berbagai kulit buah dapat meningkatkan atau mengubah kandungan senyawa fenolik, flavonoid, dan tanin, yang pada beberapa penelitian disertai peningkatan aktivitas antioksidan, antibakteri, dan antiinflamasi serta potensi prebiotik. Perubahan tersebut dipengaruhi oleh jenis mikroorganisme, kondisi fermentasi, karakteristik bahan, dan kemampuan mikroorganisme dalam melakukan biotransformasi senyawa. Kajian ini juga menunjukkan bahwa hubungan antara perubahan senyawa spesifik dan aktivitas farmakologis belum sepenuhnya dipahami, sehingga standarisasi kondisi fermentasi, karakterisasi senyawa, bioavailabilitas, keamanan, dan konsistensi hasil menjadi aspek penting dalam pengembangan kulit buah terfermentasi sebagai sumber bahan bioaktif bernilai tambah.

Kata Kunci: kulit buah, fermentasi, biotransformasi, senyawa bioaktif, aktivitas farmakologis

1. PENDAHULUAN

Industri pengolahan buah menghasilkan limbah dalam jumlah besar, salah satunya berupa kulit buah yang masih mengandung berbagai komponen bernilai. Kulit buah pada beberapa komoditas dapat mencapai sekitar 30-50% dari total massa buah dan umumnya belum dimanfaatkan secara optimal (Habiba *et al.*, 2025). Meskipun sering dianggap sebagai limbah, kulit buah kaya akan senyawa bioaktif seperti polifenol, asam fenolat, flavonoid, karotenoid, vitamin, minyak atsiri, serat pangan, dan pektin. Kandungan tersebut menyebabkan kulit buah berpotensi dikembangkan sebagai sumber bahan bioaktif untuk berbagai aplikasi, termasuk pangan fungsional, nutraseutikal, farmasi, dan produk kesehatan lainnya (Habiba *et al.*, 2025; Hussain *et al.*, 2023).

Penelitian mengenai pemanfaatan kulit buah selama beberapa tahun terakhir banyak berfokus pada ekstraksi dan karakterisasi senyawa bioaktif serta pengujian aktivitas biologis ekstraknya. Aktivitas antioksidan menjadi salah satu parameter yang paling banyak digunakan, disertai dengan pengujian aktivitas antimikroba, antiinflamasi, dan aktivitas biologis lainnya (Habiba *et al.*, 2025). Pendekatan berbasis ekstraksi telah menunjukkan bahwa kulit buah merupakan sumber senyawa bioaktif yang potensial, tetapi peningkatan kandungan atau hasil ekstraksi belum selalu menggambarkan peningkatan bioavailabilitas senyawa tersebut. Bioavailabilitas dan bioaktivitas senyawa fenolik juga dipengaruhi oleh bentuk kimia, struktur, bioaksesibilitas, serta proses metabolisme setelah dikonsumsi (Dissanayake *et al.*, 2025).

Fermentasi merupakan salah satu pendekatan bioteknologi yang dapat digunakan untuk

meningkatkan nilai fungsional bahan tanaman melalui aktivitas mikroorganisme. Bakteri asam laktat dan mikroorganisme fermentatif lainnya menghasilkan enzim yang dapat memengaruhi matriks tanaman serta mengubah bentuk dan ketersediaan senyawa fenolik (Dissanayake *et al.*, 2025). Proses tersebut dapat menyebabkan pelepasan senyawa fenolik yang sebelumnya berada dalam bentuk terikat serta perubahan flavonoid glikosida menjadi bentuk aglikon yang memiliki karakteristik bioaktivitas berbeda. Penelitian pada limbah *Citrus unshiu* menunjukkan bahwa fermentasi meningkatkan kandungan total polifenol dan menyebabkan biokonversi flavonoid glikosida menjadi bentuk aglikon, yang juga diikuti peningkatan aktivitas antioksidan dan antibakteri (Kim *et al.*, 2017).

Kajian mengenai fermentasi kulit buah menjadi semakin relevan karena aktivitas biologis suatu bahan tidak hanya ditentukan oleh jumlah total fenolik atau flavonoid, tetapi juga oleh bentuk kimia dan perubahan senyawa yang terjadi selama proses biotransformasi. Fermentasi dapat mengubah profil fitokimia bahan melalui aktivitas mikroorganisme sehingga menghasilkan komposisi senyawa yang berbeda dibandingkan bahan sebelum fermentasi (Dissanayake *et al.*, 2025). Perubahan tersebut dapat berhubungan dengan aktivitas biologis seperti antioksidan, antimikroba, antiinflamasi, dan aktivitas lainnya, meskipun respons yang dihasilkan dapat berbeda bergantung pada jenis bahan, mikroorganisme, dan kondisi fermentasi (Mohammad *et al.*, 2026). Review terbaru mengenai fermentasi kulit buah juga menunjukkan bahwa hubungan antara perubahan fitokimia selama fermentasi dan aktivitas biologis masih perlu dikaji lebih mendalam, terutama dari aspek mekanisme biotransformasi dan kaitannya dengan potensi penggunaan di bidang biomedis.

Berdasarkan hal tersebut, review ini membahas fermentasi limbah kulit buah dengan menitikberatkan pada proses biotransformasi senyawa bioaktif yang terjadi selama fermentasi. Pembahasan difokuskan pada perubahan profil dan bentuk kimia senyawa bioaktif, peran jenis mikroorganisme serta kondisi fermentasi, dan kaitannya dengan perubahan aktivitas biologis. Pendekatan tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai bagaimana proses fermentasi memengaruhi ketersediaan dan karakteristik senyawa bioaktif pada kulit buah. Review ini bertujuan mengkaji hubungan antara proses fermentasi limbah kulit buah, perubahan struktur dan profil senyawa bioaktif, serta konsekuensinya terhadap aktivitas farmakologis sebagai dasar pengembangan pemanfaatan limbah kulit buah menjadi sumber bahan bioaktif bernilai tambah.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode literature review dengan pendekatan naratif untuk mengkaji biotransformasi senyawa bioaktif selama proses fermentasi limbah kulit buah serta kaitannya dengan aktivitas biologis dan farmakologis. Penelusuran literatur dilakukan melalui beberapa basis data ilmiah, yaitu PubMed, ScienceDirect, Google Scholar, dan SpringerLink. Literatur yang digunakan berupa artikel penelitian asli dan artikel review yang diterbitkan dalam rentang tahun 2016-2026 untuk memperoleh informasi mengenai perkembangan penelitian terbaru terkait fermentasi kulit buah. Kata kunci yang digunakan dalam proses pencarian meliputi “fruit peel fermentation”, “fruit peel waste”, “fermentation”, “biotransformation”, “bioactive compounds”, “phenolic compounds”, “flavonoids”, “antioxidant activity”, “pharmacological activity”, dan kombinasi kata kunci tersebut menggunakan operator Boolean AND dan OR.

Artikel yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan kesesuaian dengan tujuan kajian. Kriteria inklusi meliputi artikel yang membahas fermentasi kulit atau limbah bagian kulit buah, menggunakan mikroorganisme atau proses fermentasi yang relevan, melaporkan perubahan kandungan atau profil senyawa bioaktif, dan/atau mengevaluasi aktivitas biologis setelah fermentasi. Artikel yang tidak membahas kulit atau limbah buah, tidak berkaitan dengan proses fermentasi, hanya membahas karakteristik nutrisi tanpa mengkaji senyawa bioaktif atau aktivitas biologis, serta artikel berupa opini, editorial, atau abstrak konferensi tanpa informasi

penelitian yang memadai tidak digunakan dalam kajian. Literatur yang memenuhi kriteria kemudian dianalisis berdasarkan jenis bahan, mikroorganisme atau perlakuan fermentasi, kondisi fermentasi, perubahan senyawa bioaktif, serta aktivitas biologis yang dihasilkan.

Data dari artikel terpilih disusun secara deskriptif untuk membandingkan pola perubahan senyawa bioaktif pada berbagai jenis kulit buah dan kondisi fermentasi. Informasi yang dikaji meliputi perubahan kandungan fenolik, flavonoid, tanin, dan senyawa bioaktif spesifik, termasuk perubahan dari bentuk glikosida menjadi aglikon atau pelepasan senyawa yang sebelumnya terikat pada matriks tanaman. Hasil perubahan profil senyawa tersebut kemudian dikaitkan dengan aktivitas biologis yang dilaporkan, seperti aktivitas antioksidan, antibakteri, antiinflamasi, dan potensi prebiotik. Analisis dilakukan dengan menekankan hubungan antara jenis mikroorganisme, kondisi fermentasi, mekanisme biotransformasi, perubahan profil senyawa, dan perubahan aktivitas biologis sehingga diperoleh gambaran mengenai potensi fermentasi sebagai strategi valorisasi limbah kulit buah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil Kajian Mengenai Biotransformasi Senyawa Bioaktif dan Aktivitas Biologis pada Fermentasi Limbah Kulit Buah

No	Peneliti	Bahan	Mikroorganisme/ Perlakuan	Hasil utama	Aktivitas Biologis
1	Kim <i>et al.</i> (2017)	Kulit <i>Citrus unshiu</i>	Fermentasi	Peningkatan total polifenol; terjadi biokonversi flavonoid glikosida menjadi aglikon	Antioksidan dan antibakteri
2	Verotta <i>et al.</i> (2018)	Limbah kulit buah delima	Fermentasi	Ellagic acid menjadi salah satu komponen fenolik utama dan aktivitas antioksidan meningkat	Antioksidan dan antiinflamasi
3	Mamy <i>et al.</i> (2022)	Kulit buah <i>Citrus reticulata</i>	<i>Aspergillus niger</i>	TPC meningkat 70,0%, TFC 26,8%, ABTS 64,9%, dan DPPH 71,6%; hesperidin 19,36 menjadi 28,23 mg/g, nobiletin 6,31 menjadi 7,78 mg/g, dan tangeretin 2,91 menjadi 3,49 mg/g	Antioksidan
4	Buenrostr o-Figueroa <i>et al.</i> (2023)	Kulit buah delima	Solid-state fermentation	Kondisi optimum meningkatkan TPC menjadi $248,78 \pm 1,24$ mg GAE/g dan aktivitas antioksidan sekitar 5,81 kali lipat	Antioksidan
5	Tan <i>et al.</i> (2023)	Kulit buah rambutan	Simulasi pencernaan gastrointestinal dan fermentasi kolon <i>in vitro</i>	Geraniin mengalami transformasi menjadi corilagin, ellagic acid, dan gallic acid; ellagic acid selanjutnya dapat ditransformasi menjadi urolithin	Antioksidan dan bioavailabilitas
6	Razola-Díaz <i>et al.</i> (2024)	Kulit buah jeruk	Bakteri asam laktat	Salah satu strain <i>L. plantarum</i> meningkatkan kandungan asam fenolat sekitar 11% setelah 24 jam fermentasi	Antioksidan

7	Li <i>et al.</i> (2024)	Kulit buah apel	<i>Aspergillus oryzae</i>	Fermentasi meningkatkan kandungan fenolik bebas dan mengubah komponen polisakarida pada kulit apel	Antioksidan dan potensi prebiotik
8	Vilas-Franquesa <i>et al.</i> (2024)	Kulit buah mangga	<i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Bifidobacterium animalis</i> dan hidrolisis enzimatik	Kombinasi fermentasi dan hidrolisis enzimatik meningkatkan produksi gallic acid dan mangiferin aglikon; kandungan oligosakarida larut mencapai 14%	Antioksidan
9	Nawaz <i>et al.</i> (2025)	Kulit buah apel	<i>Lactobacillus plantarum</i> ATCC14917	Fermentasi mengubah profil senyawa fenolik, termasuk peningkatan quercitrin dan quercetin-3-xyloside	Antioksidan dan antiinflamasi
10	Vafajoo <i>et al.</i> (2024)	Limbah kulit buah delima	Fermentasi biomimetik oleh <i>Aspergillus tubingensis</i> tanpa inokulum tambahan	Rasio bahan:air 1:10 selama 48 jam meningkatkan TPC dari 167,7 menjadi 300,3 mg GAE/g DM dan aktivitas DPPH dari 156,44 menjadi 256,34 mg GAE/g DM	Antioksidan
11	Casas-Rodríguez <i>et al.</i> (2024)	Limbah kulit nanas	<i>Aspergillus niger</i> HT3 dan Aa20, solid-state fermentation	<i>A. niger</i> HT3 menghasilkan tannin terhidrolisis 10,00 mg/g, sedangkan Aa20 menghasilkan tannin terkondensasi 82,59 mg/g. Senyawa seperti 3-feruloylquinic acid, caffeic acid, lariciresinol, dan 3-hydroxyphloretin 2'-O-xylosyl-glucoside juga teridentifikasi	Antioksidan
12	Soares <i>et al.</i> (2025)	Tepung kulit buah delima dan kulit buah jatobá	<i>Aspergillus niger</i> , solid-state fermentation	Pada kulit delima setelah 24 jam fermentasi, TFC meningkat 81% dari 737,3 menjadi 1337,1 mg QCT/100 g dan aktivitas ABTS meningkat 36% dari 532,3 menjadi 721,7 µmol Trolox/g; isoquercetin meningkat 164% dari 3,26 menjadi 8,61 mg/L	Antioksidan
13	Santos <i>et al.</i> (2026)	Kulit buah nanas	<i>Aspergillus niger</i> , solid-state fermentation	Fermentasi selama 120 jam meningkatkan nilai nutrisi dan kandungan fitokimia kulit nanas; crude protein meningkat 263,12% dan crude fiber 37,93%	Antioksidan

Fermentasi sebagai Proses Biotransformasi Senyawa Bioaktif

Fermentasi limbah kulit buah merupakan proses yang dapat menyebabkan perubahan komposisi senyawa bioaktif melalui aktivitas mikroorganisme. Mikroorganisme menghasilkan enzim yang dapat memecah komponen kompleks pada matriks tanaman sehingga senyawa yang sebelumnya berada dalam bentuk terikat dapat dilepaskan atau mengalami perubahan struktur. Proses tersebut dapat memengaruhi kandungan fenolik, flavonoid, serta aktivitas biologis bahan hasil fermentasi. Kim *et al.* (2017) menunjukkan bahwa fermentasi limbah *Citrus unshiu* meningkatkan total polifenol dan menyebabkan biokonversi flavonoid glikosida menjadi aglikon, yang disertai peningkatan aktivitas antioksidan dan antibakteri (Kim *et al.*, 2017).

Proses biotransformasi tersebut juga dapat ditemukan pada kulit buah delima. Buenrostro-Figueroa *et al.* (2023) melaporkan bahwa fermentasi solid-state pada kondisi optimum menghasilkan TPC sebesar $248,78 \pm 1,24$ mg GAE/g dan meningkatkan aktivitas antioksidan sekitar 5,81 kali. Senyawa seperti punicalin, punicalagin, punigluconin, dan ellagic acid juga teridentifikasi pada hasil fermentasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa fermentasi dapat berperan sebagai proses biotransformasi yang meningkatkan ketersediaan senyawa bioaktif dari matriks kulit buah (Buenrostro-Figueroa *et al.*, 2023).

Perubahan Profil Senyawa Bioaktif selama Fermentasi

Perubahan kandungan fenolik dan flavonoid merupakan salah satu hasil yang banyak ditemukan pada fermentasi kulit buah. Mamy *et al.* (2022) melaporkan bahwa fermentasi kulit *Citrus reticulata* menggunakan *Aspergillus niger* meningkatkan TPC sebesar 70,0%, TFC sebesar 26,8%, ABTS sebesar 64,9%, dan DPPH sebesar 71,6%. Hesperidin meningkat dari 19,36 menjadi 28,23 mg/g, nobiletin dari 6,31 menjadi 7,78 mg/g, dan tangeretin dari 2,91 menjadi 3,49 mg/g. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas antioksidan dapat berkaitan dengan perubahan kandungan senyawa fenolik dan flavonoid tertentu (Mamy *et al.*, 2022).

Perubahan tersebut tidak selalu berupa peningkatan seluruh senyawa. Nawaz *et al.* (2025) menemukan bahwa fermentasi kulit apel dengan *Lactobacillus plantarum* meningkatkan *quercitrin* dan *quercetin-3-xyloside*, tetapi menurunkan *chlorogenic acid*, *rutin*, dan *isoquercitrin*. Li *et al.* (2024) juga menunjukkan bahwa fermentasi kulit apel menggunakan *Aspergillus oryzae* meningkatkan fenolik bebas dan menyebabkan perubahan komponen pektin serta serat pangan. Hal ini menunjukkan bahwa fermentasi dapat menghasilkan pola biotransformasi yang berbeda pada setiap senyawa, bukan sekadar meningkatkan kandungan senyawa bioaktif secara keseluruhan (Li *et al.*, 2024; Nawaz *et al.*, 2025).

Pelepasan senyawa bioaktif juga terlihat pada kulit nanas dan delima. Casas-Rodríguez *et al.* (2024) menemukan tannin terhidrolisis sebesar 10,00 mg/g dan tannin terkondensasi sebesar 82,59 mg/g pada kondisi fermentasi tertentu menggunakan *A. niger*. Soares *et al.* (2025) melaporkan bahwa fermentasi kulit delima selama 24 jam meningkatkan TFC sebesar 81%, dari 737,3 menjadi 1337,1 mg QCT/100 g, serta meningkatkan isoquercetin sebesar 164%. Vilas-Franquesa *et al.* (2024) juga menunjukkan bahwa kombinasi hidrolisis enzimatis dan fermentasi pada kulit mangga meningkatkan *gallic acid* dan mangiferin aglikon. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa modifikasi matriks dan biotransformasi senyawa dapat meningkatkan ketersediaan bentuk bioaktif tertentu (Casas-Rodríguez *et al.*, 2024; Soares *et al.*, 2025; Vilas-Franquesa *et al.*, 2024).

Pengaruh Jenis Mikroorganisme dan Kondisi Fermentasi

Jenis mikroorganisme berperan penting dalam menentukan pola perubahan senyawa selama fermentasi karena setiap mikroorganisme memiliki kemampuan enzimatis yang berbeda. Razola-Díaz *et al.* (2024) menunjukkan bahwa beberapa strain bakteri asam laktat menghasilkan perubahan komposisi fenolik yang berbeda pada kulit jeruk. Salah satu strain *Lactiplantibacillus plantarum* meningkatkan kandungan asam fenolat sekitar 11% setelah fermentasi 24 jam (Razola-Díaz *et al.*, 2024). Perbedaan strain juga terlihat pada penelitian

Casas-Rodríguez *et al.* (2024), ketika *A. niger* HT3 dan Aa20 menghasilkan profil tannin yang berbeda (Casas-Rodríguez *et al.*, 2024).

Kondisi fermentasi juga memengaruhi hasil biotransformasi. Mamy *et al.* (2022) memperoleh kondisi optimum pada suhu 30°C, pH 4,0, kadar air 80%, dan waktu 192 jam, sedangkan Buenrostro-Figueroa *et al.* (2023) memperoleh kondisi optimum pada suhu 42 °C, pH 5,0, kadar air 50%, dan waktu 36 jam. Vafajoo *et al.* (2024) menggunakan fermentasi biomimetik pada limbah delima dan memperoleh TPC sebesar 300,3 mg GAE/g DM serta aktivitas antioksidan sebesar 256,34 mg GAE/g DM setelah 48 jam pada rasio bahan 1:10. Perbedaan kondisi optimum tersebut menunjukkan bahwa parameter fermentasi perlu disesuaikan dengan karakteristik substrat dan mikroorganisme yang digunakan (Buenrostro-Figueroa *et al.*, 2023; Mamy *et al.*, 2022; Vafajoo *et al.*, 2024).

Perubahan Aktivitas Biologis dan Kaitannya dengan Biotransformasi

Aktivitas antioksidan merupakan aktivitas biologis yang paling banyak dilaporkan setelah fermentasi kulit buah. Kim *et al.* (2017), Mamy *et al.* (2022), dan Buenrostro-Figueroa *et al.* (2023) menunjukkan peningkatan aktivitas DPPH, ABTS, atau parameter antioksidan lainnya yang berkaitan dengan perubahan kandungan fenolik dan flavonoid. Verotta *et al.* (2018) menunjukkan bahwa limbah delima hasil fermentasi mengandung ellagic acid sebagai komponen utama dan mampu menurunkan ekspresi IL-1 β , TNF- α , dan iNOS pada makrofag yang distimulasi LPS. Temuan tersebut menunjukkan bahwa perubahan senyawa akibat fermentasi dapat berhubungan dengan aktivitas antiinflamasi selain aktivitas antioksidan (Buenrostro-Figueroa *et al.*, 2023; Kim *et al.*, 2017; Mamy *et al.*, 2022; Verotta *et al.*, 2018).

Aktivitas biologis juga ditemukan pada kulit apel hasil fermentasi. Nawaz *et al.* (2025) melaporkan bahwa fermentasi menggunakan *L. plantarum* meningkatkan aktivitas antioksidan dan memberikan efek terhadap ROS serta respons inflamasi pada sel RAW 264.7 melalui jalur MAPKs/NF- κ B. Li *et al.* (2024) menemukan bahwa fermentasi kulit apel juga meningkatkan fermentabilitas in vitro dan memengaruhi komposisi mikrobiota, sehingga menunjukkan potensi prebiotik. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa perubahan komposisi kimia selama fermentasi dapat memberikan efek biologis yang lebih luas daripada sekadar peningkatan kapasitas penangkapan radikal (Li *et al.*, 2024; Nawaz *et al.*, 2025).

Biotransformasi juga dapat berlanjut setelah senyawa dikonsumsi. Tan *et al.* (2023) menunjukkan bahwa polifenol kulit rambutan mengalami transformasi selama simulasi pencernaan dan fermentasi kolon in vitro. Geraniin dapat berubah menjadi *corilagin*, *ellagic acid*, dan *gallic acid*, sedangkan ellagic acid dapat ditransformasi menjadi urolithin. Penelitian ini tidak membahas fermentasi kulit buah sebagai proses pengolahan, tetapi dapat menjadi pendukung bahwa bentuk senyawa bioaktif dapat terus berubah setelah berinteraksi dengan sistem gastrointestinal dan mikrobiota (Tan *et al.*, 2023).

Fermentasi sebagai Strategi Valorisasi Limbah Kulit Buah

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa fermentasi dapat meningkatkan nilai guna limbah kulit buah melalui perubahan kandungan dan struktur senyawa bioaktif. Kulit jeruk, apel, delima, nanas, dan mangga menunjukkan bahwa fermentasi dapat meningkatkan ketersediaan fenolik, flavonoid, tannin, atau bentuk aglikon tertentu, yang kemudian dapat diikuti oleh peningkatan aktivitas antioksidan, antibakteri, antiinflamasi, maupun potensi prebiotik. Pendekatan tersebut menjadikan limbah kulit buah tidak hanya sebagai bahan yang perlu dibuang, tetapi sebagai sumber bahan bioaktif yang dapat diberi nilai tambah melalui proses bioteknologi.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih menggunakan TPC, TFC, DPPH, ABTS, dan FRAP sebagai parameter utama. Beberapa penelitian telah mulai mengidentifikasi perubahan senyawa individual dan menghubungkannya dengan aktivitas biologis, tetapi hubungan antara jenis mikroorganisme, mekanisme biotransformasi, perubahan senyawa

spesifik, dan target farmakologis masih belum dibahas secara mendalam. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pendekatan mekanistik yang menghubungkan jenis mikroorganisme dan kondisi fermentasi dengan proses biotransformasi, perubahan profil senyawa, serta aktivitas biologis dan farmakologis masih diperlukan dalam pengembangan pemanfaatan limbah kulit buah.

4. KESIMPULAN

Fermentasi limbah kulit buah berpotensi menjadi strategi biotransformasi yang dapat meningkatkan ketersediaan dan mengubah profil senyawa bioaktif. Proses tersebut dapat menyebabkan pelepasan senyawa fenolik dan flavonoid dari matriks tanaman, perubahan senyawa glikosida menjadi aglikon, serta perubahan komponen lain yang berkontribusi terhadap aktivitas biologis. Jenis mikroorganisme dan kondisi fermentasi menjadi faktor penting yang menentukan arah dan tingkat perubahan senyawa pada masing-masing bahan. Perubahan profil senyawa setelah fermentasi umumnya diikuti oleh peningkatan aktivitas antioksidan, serta pada beberapa penelitian menunjukkan aktivitas antibakteri, antiinflamasi, dan potensi prebiotik. Hubungan antara perubahan senyawa dan aktivitas biologis menunjukkan bahwa fermentasi tidak hanya berperan dalam mengolah limbah, tetapi juga dapat meningkatkan nilai fungsional kulit buah sebagai sumber bahan bioaktif. Kajian lebih lanjut diperlukan untuk memperjelas mekanisme biotransformasi senyawa spesifik dan hubungannya dengan target farmakologis sehingga pemanfaatan limbah kulit buah hasil fermentasi dapat dikembangkan secara lebih terarah.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Buenrostro-Figueroa, J. J., Nevárez-Moorillón, G. V., Chávez-González, M. L., Sepúlveda, L., Ascacio-Valdés, J. A., Aguilar, C. N., Pedroza-Islas, R., Huerta-Ochoa, S., and Arely Prado-Barragán, L. 2023. Improved Extraction of High Value-Added Polyphenols from *Pomegranate Peel* by Solid-State Fermentation. *Fermentation*. 9(6): 530. <https://doi.org/10.3390/fermentation9060530>
- Casas-Rodríguez, A. D., Ascacio-Valdés, J. A., Dávila-Medina, M. D., Medina-Morales, M. A., Londoño-Hernández, L., and Sepúlveda, L. 2024. Evaluation of Solid-State Fermentation Conditions from Pineapple Peel Waste for Release of Bioactive Compounds by *Aspergillus niger* spp. *Applied Microbiology*. 4(2): 934-947. <https://doi.org/10.3390/applmicrobiol4020063>
- Dissanayake, I. H., Tabassum, W., Alsherbiny, M., Chang, D., Li, C. G., and 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 (Ottawa, Ont.)*. 209: 1-19. 116283. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116283>
- Habiba, U., Singh, R., Pathare, P. B., Dar, A. H., Manzoor, M., Sidiqi, U. S., and Majeed, T. 2025. Exploring the Bioactive Potential of Fruit Peels: a Comprehensive Review. *Food Chemistry Advances*. 9: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.101136>
- Hussain, T., Kalhor, D. H., and Yin, Y. 2023. Identification of Nutritional Composition and Antioxidant Activities of Fruit Peels as a Potential Source of Nutraceuticals. *Frontiers in Nutrition*. 9: 1065698. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1065698>
- Kim, S. S., Park, K. J., An, H. J., and Choi, Y. H. 2017. Phytochemical, Antioxidant, and Antibacterial Activities of Fermented *Citrus unshiu* Byproduct. *Food Science and Biotechnology*. 26(2): 461-466. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0063-9>
- Li, J., Ye, F., Zhou, Y., Lei, L., Chen, J., Li, S., and Zhao, G. 2024. Tailoring the Composition, Antioxidant Activity, and Prebiotic Potential of Apple Peel by *Aspergillus oryzae* fermentation. *Food chemistry*: X. 21. 101134. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101134>

- Mamy, D., Huang, Y., Akpabli-Tsigbe, N. D. K., Battino, M., and Chen, X. 2022. Valorization of *Citrus reticulata* Peels for Flavonoids and Antioxidant Enhancement by Solid-State Fermentation Using *Aspergillus niger* CGMCC 3.6189. *Molecules (Basel, Switzerland)*. 27(24): 8949. <https://doi.org/10.3390/molecules27248949>
- Mohammad, A., Ariffin, S. A., Ghazali, A. H., and Zain, W. Z. W. M. 2026. Biological Application of Fruit Peels Fermentation: a Sustainable Approach to Biomedical. *Bioresource Technology Reports*. 33: 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2026.102589>
- Nawaz, M., Rizwan, H. M., Momand, Z. U. D., Ullah, I., He, J., Zhou, Q., and Wang, M. 2025. Apple Peel Fermentation by *Lactobacillus plantarum*: Phytochemical Transformations and Enhanced Abilities Against Inhibition of Advanced Glycation end Products. *Food Chemistry*. 495: 1-14. [10.1016/j.foodchem.2025.146567](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.146567)
- Razola-Díaz, M. d. C., De Montijo-Prieto, S., Guerra-Hernández, E. J., Jiménez-Valera, M., Ruiz-Bravo, A., Gómez-Caravaca, A. M., and Verardo, V. 2024. Fermentation of Orange Peels by Lactic Acid Bacteria: Impact on Phenolic Composition and Antioxidant Activity. *Foods*. 13(8): 1212. <https://doi.org/10.3390/foods13081212>
- Santos, N. T., Carillo, V. R. R., Idulsa, R. N. P., Melencion, M. G., Intong, R. L., and Guatierrez, W. M. 2026. Nutritional and Phytochemical Enrichment of Pineapple Peel Using *Aspergillus niger* Through Solid-state Fermentation. *Agriculture and Natural Resources*. 60: 1-9. <https://doi.org/10.34044/j.anres.2026.60.2.05>
- Soares, L. d. A., Germano, A. T., Vitali, L., Mazzuti, S., and Santana, L. C. d. A. 2024. Solid-state Fermentation as a Pre-treatment Method for the Extraction of Bioactive Compounds from Pomegranate (*Punica granatum* L.) and Jatoba' Peel (*Hymenaea courbaril* L.). *Food Bioscience*. 63: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105716>
- Tan, J., Ma, Q., Li, J., Liu, Q., and Zhuang, Y. 2023. Bioavailability and Antioxidant Activity of Rambutan (*Nephelium lappaceum*) Peel Polyphenols during *in Vitro* Simulated Gastrointestinal Digestion, Caco-2 Monolayer Cell Model Application, and Colonic Fermentation. *J. Agric. Food Chem.* 71 (42): 15829-15841. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04106>
- Vafajoo, A., Sahabi, H., Ebrahim, S. N., and Ahmadikia, K. 2024. Optimization of Biomimetic Fermentation Technique for Enhanced and Eco-friendly Extraction of Phenolics from Pomegranate Peel. *Bioresource Technology Reports*. 28: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2024.101986>
- Verotta, L., Panzella, L., Antenucci, S., Calvenzani, V., Tomay, F., Petroni, K., Caneva, E., and Napolitano, A. 2018. Fermented Pomegranate Wastes as Sustainable Source of Ellagic Acid: Antioxidant Properties, Anti-inflammatory Action, and Controlled Release Under Simulated Digestion Conditions. *Food chemistry*. 246: 129-136. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.131>
- Vilas-Franquesa, A., Frygas, C., Casertano, M., Montemurro, M., and Fogliano, V. 2024. Upcycling Mango Peels Into a Functional Ingredient by Combining Fermentation and Enzymatic-assisted Extraction. *Food chemistry*. 434: 137515. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137515>