JOURNAL OF NUTRITION COLLEGE
Volume 15, Nomor 4, Tahun 2026, Halaman 351-369
Received: 13 Oktober 2025, Revised: 2 Juli 2026
Accepted: 13 Juli 2026, Published:30 Oktober 2026
Online di: http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jnc/ , DOI: 10.14710/jnc.v15i4.53859

FERMENTASI PADA GENUS CURCUMA: TINJAUAN TENTANG PERUBAHAN KIMIA, PENINGKATAN AKTIVITAS ANTIOKSIDAN, DAN PROFIL SENSORI

Dewandhaka Putra Andaru[1], Gemala Anjani[1,2]*, Anang Mohamad Legowo[2,3], Fitriyono Ayustaningwarno[1,2], Ahmad Ni'matullah Al-Baarri[3]

[1]Departemen Ilmu Gizi, Fakultas Kedokteran, Universitas Diponegoro, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia
[2]Center Of Nutrition Research (CENURE), Universitas Diponegoro, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia
[3]Departemen Pertanian, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia
***Korespondensi**: gemanjani@gmail.com

ABSTRACT

Background: *The genus Curcuma, comprising over 100 species, is notable for its medicinal and health benefits, particularly its antioxidant properties. Fermentation has the potential to enhance the functionality of bioactive compounds such as curcuminoids found in Curcuma species.*
Objective: *This review explores the impact of fermentation on the antioxidant activity and sensory profile of various Curcuma species. The primary focus is on microbial cultures like Aspergillus, Rhizopus, and lactic acid bacteria (LAB), which enhance the functional antioxidant and affecting sensory profile of curcuma genus.*
Methods: *The method used in writing this article is a literature review of five scientific databases: PubMed, Science Direct, Scopus, and Google Scholar. The search period for articles was 2010–2025.*
Results: *Fermentation of various Curcuma species using microorganisms has been shown to increase antioxidant activity and bioactive compound content, particularly phenolics and curcuminoids, by up to 3-5 times compared to non-fermented products. The fermentation process breaks down complex macromolecules (starch, protein, lipids) and releases bound phenolic compounds and terpenoids, even forming new analogues with higher antioxidant activity. Furthermore, fermentation enriches the sensory profile of the product by improving aroma, flavor, color, and texture through the formation of volatile compounds and enhanced pigmentation.*
Conclusion: *Fermentation is an effective approach to enhance the functional and sensory value of Curcuma spp. by increasing antioxidant activity, releasing and biotransforming bioactive compounds, and improving the flavor profile. This potential opens opportunities for utilizing fermented Curcuma as functional food and as a raw material for the health and food industries.*

Keywords: *Antioxidant; Curcuma; Fermentation; Phenolic; Sensory*

ABSTRAK

Latar Belakang: Genus Curcuma, yang terdiri dari lebih dari 100 spesies, dikenal karena manfaat obat dan kesehatannya, khususnya sifat antioksidannya. Fermentasi berpotensi meningkatkan fungsionalitas senyawa bioaktif seperti kurkuminoid yang terdapat pada spesies Curcuma.
Tujuan: Tinjauan ini mengeksplorasi dampak fermentasi terhadap aktivitas antioksidan dan profil sensori dari berbagai spesies Curcuma. Fokus utama adalah pada kultur mikroba seperti Aspergillus, Rhizopus, dan bakteri asam laktat (BAL) yang dapat meningkatkan aktivitas antioksidan fungsional serta memengaruhi profil sensori genus Curcuma.
Metode: Metode yang digunakan dalam penulisan artikel ini adalah tinjauan pustaka dari lima basis data ilmiah, yaitu PubMed, Science Direct, Scopus, dan Google Scholar. Rentang tahun pencarian artikel dari tahun 2010-2025.
Hasil: Fermentasi berbagai spesies Curcuma menggunakan mikroorganisme terbukti meningkatkan aktivitas antioksidan dan kandungan senyawa bioaktif, terutama fenolik dan kurkuminoid sampai 3-5 kali lipat dengan tanpa fermentasi. Proses fermentasi memecah makromolekul kompleks (pati, protein, lipid) dan melepaskan senyawa fenolik serta terpenoid terikat, bahkan membentuk analog baru dengan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi. Selain itu, fermentasi memperkaya profil sensori produk dengan meningkatkan aroma, rasa, warna, dan tekstur melalui pembentukan senyawa volatil dan pigmentasi yang lebih baik.
Simpulan: Fermentasi merupakan pendekatan efektif untuk meningkatkan nilai fungsional dan sensori Curcuma spp. melalui peningkatan aktivitas antioksidan, pelepasan serta biotransformasi senyawa bioaktif, dan pengembangan profil cita rasa. Potensi ini membuka peluang pemanfaatan Curcuma terfermentasi sebagai pangan fungsional dan bahan baku industri kesehatan maupun pangan.

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Kata Kunci: Antioksidan; Curcuma; Fermentasi; Fenolik; Sensori

PENDAHULUAN

Fermentasi adalah metode tradisional pengolahan pangan yang menggunakan mikroorganisme untuk mengubah senyawa organik menjadi berbagai zat baru. Awalnya, fermentasi digunakan sebagai metode pengawetan dengan menciptakan lingkungan yang menghambat pembusukan, meningkatkan kandungan gizi, dan mengembangkan cita rasa yang khas. Penggunaan fermentasi yang telah lama dikenal di berbagai budaya menegaskan pentingnya dalam teknologi dan keamanan pangan. Seiring dengan kemajuan di bidang bioteknologi pangan, pemanfaatan aktivitas metabolik mikroorganisme melalui fermentasi memberikan cara baru untuk meningkatkan sifat antioksidan dan kualitas sensori komoditas pangan[1]. Metode ini menjanjikan tidak hanya untuk pengawetan tetapi juga untuk meningkatkan aktivitas antioksidan dan profil sensorinya.

Fermentasi dapat meningkatkan bioavailabilitas dan stabilitas senyawa polifenol dan flavonoid, serta berpotensi menghasilkan senyawa bioaktif tambahan yang dapat meningkatkan potensi antioksidan secara keseluruhan[2]. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan pada produk dairy, berupa susu sapi, kambing maupun domba, dengan adanya fermentasi dapat meningkatkan aktivitas antioksidannya melalui mekanisme penghambatan langsung ataupun peningkatan senyawa fenolik[3]. Pada produk legumes juga diperoleh hasil peningkata aktivitas antioksidan antara 3 sampai 5 kali lipat setelah difermentasi melalui mekanisme aktivitas penghambatan langsung[4]. Hal ini memberikan peluang menarik untuk memanfaatkan genus *Curcuma* terfermentasi sebagai bahan pangan fungsional dengan manfaat antioksidan dan sensori yang lebih baik. Genus *Curcuma* sebelumnya banyak dimanfaatkan sebagai bahan herbal dalam pengobatan tradisional, dikenal memiliki efek antimikroba yang tinggi serta dimanfaatkan sebagai bumbu dalam masakan dan pewarna alami[5, 6]. Seiring dengan perkembangan penelitian, *Curcuma* mulai dimanfaatkan dalam proses fermentasi sebagai peningkatan efek fungsional pangan, hingga dijadikan substrat utama dalam proses fermentasi, namun belum ada yang mengulas secara keseluruhan temuan penelitian fermentasi diberbagai spesies, dalam genus *Curcuma.*

Genus Curcuma, memiliki lebih dari 100 spesies, merupakan kelompok tumbuhan herbal yang menarik dalam famili jahe-jahean (Zingiberaceae). Tumbuhan ini dikenal karena bagian rimpangnya, yang memiliki kandungan senyawa bioaktif yang berpotensi memberikan manfaat kesehatan[7, 8]. Tinjauan ini akan mengeksplorasi pemahaman terkini tentang bagaimana fermentasi dilakukan pada jenis-jenis *Curcuma*, mikroorganisme starter yang digunakan serta proses fermentasi yang terjadi untuk meningkatkan aktivitas antioksidan pada rimpang *Curcuma*, dengan fokus pada mekanisme yang mendasarinya serta pengaruhnya terhadap profil sensori. Tinjauan ini juga melihat pengaruh hubungan aktivitas mikroba dengan senyawa metabolit *Curcuma* serta metabolit hasil fermentasi yang menyebabkan perubahan senyawa bioaktif, mempengaruhi rasa, aroma, tekstur, dan warna, sekaligus melihat pola perubahan yang dapat meningkatkan potensi antioksidan.

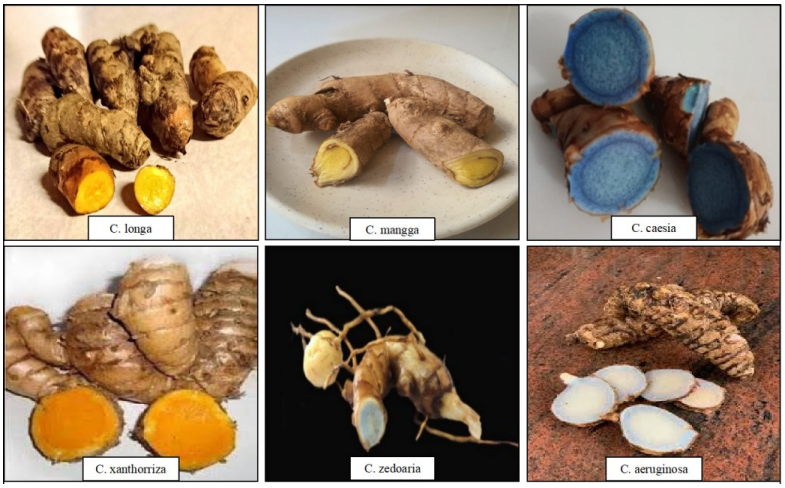
METODE

Metode yang digunakan dalam penulisan artikel ini adalah tinjauan pustaka dari lima basis data ilmiah, yaitu *PubMed, Science Direct, Scopus,* dan *Google Scholar*. Kriteria artikel yang digunakan dari jurnal internasional yang terindeks dalam Scimago, Scopus, Web of Science, dan DOAJ serta artikel nasional yang terindeks dalam SINTA. Rentang tahun pencarian artikel dari tahun 2010-2025. Kata kunci yang digunakan adalah kombucha, *curcuma*, *antioxidant*, *sensory*, *chemical*, *phenolic*, dan flavonoid.

Genus *Curcuma*

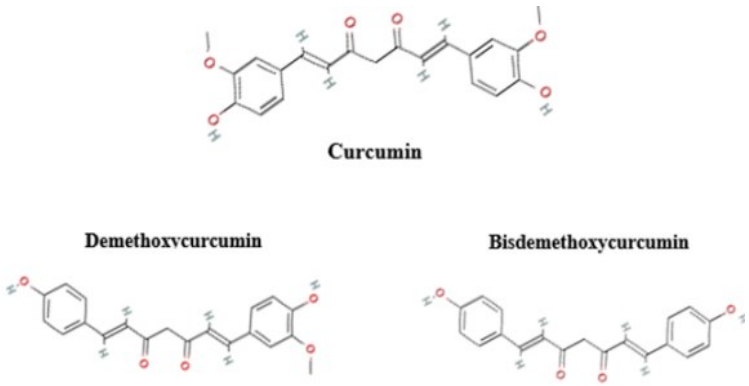
Genus *Curcuma* adalah kelompok tanaman yang beragam dalam keluarga jahe-jahean (*Zingiberaceae*), dengan jumlah kromosom bervariasi dari 2n = 20 hingga 105. Sebagian besar spesies *Curcuma* tumbuh subur di daerah tropis seperti Asia Tenggara, di mana iklimnya sangat ideal untuk pertumbuhannya[5]. Meskipun kunyit (*Curcuma longa*) adalah spesies yang paling dikenal, spesies *Curcuma* lainnya seperti *C. aeruginosa*, *C. amada*, *C. aromatica*, *C. caesia*, *C. xanthorrhiza*, *C. domestica*, *C. wenyujin*, dan *C. zedoaria* juga memiliki manfaat obat yang signifikan. Namun, banyak dari spesies tersebut belum banyak dikomersialkan[7].

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



Gambar 1. Macam Spesies dalam Genus *Curcuma*
Sumber : *C. longa*[9]; *C. mangga*; *C. caesia*[10]; *C. xanthorriza*[11]; *C. zedoaria*[12]; *C. aeruginosa*[13]

Curcuma mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti halnya rempah-rempah dan bahan tanaman lainnya. Rimpang *Curcuma* mengandung senyawa bioaktif seperti fenolik, terpenoid, dan alkaloid[14]. Senyawa dalam *Curcuma spp*. meliputi *diarylheptanoid*, *diarylheptane*, dan *isoflavon* dari kelompok fenolik, serta monoterpen, seskuiterpen, diterpen, dan triterpenoid dari kelompok terpenoid, yang berperan dalam pembentukan minyak atsiri. Kurkuminoid merupakan kelompok utama senyawa yang ditemukan dalam genus ini, terdiri dari dua cincin fenolik aromatik yang dihubungkan oleh rantai tujuh karbon. Senyawa-senyawa ini termasuk dalam kelompok *diarylheptanoid* dan mencakup molekul seperti kurkumin dan turunannya, yang memiliki berbagai gugus fungsional[6]. Tiga jenis kurkuminoid utama adalah kurkumin, demetoksikurkumin, dan bisdemetoksikurkumin (Gambar 1). Beberapa spesies *Curcuma* juga telah diteliti terkait kandungan fenolik, aktivitas antioksidan, dan efek farmakologisnya. Kurkuminoid merupakan senyawa utama yang ditemukan di setiap spesies *Curcuma*[6, 8].



Gambar 2. Struktur Senyawa Curcuminoid
Sumber : https://pubchem.nebi.nlm.nih.gov

Kunyit (*Curcuma longa*) adalah spesies yang paling dikenal dari genus *Curcuma*. Penelitian ekstensif telah dilakukan terhadap kunyit, dan menurut *World Health Organization* (WHO), kunyit adalah tanaman yang paling banyak digunakan di dunia untuk pengobatan tradisional. Kunyit mengandung 9,16 mg/g kurkuminoid, sementara penelitian lain melaporkan bahwa kurkuminoid menyusun 11,33% dari ekstrak kunyit[15]. Senyawa volatil yang terdapat dalam kunyit, seperti yang dianalisis menggunakan GC-MS, mencakup 64 senyawa volatil berbeda, sebagian besar termasuk dalam kategori terpen, ester, aldehid, alkohol, dan keton[16]. Menurut Nurani et al. (2021), kurkuminoid yang ditemukan dalam kunyit terdiri dari kurkumin, demetoksikurkumin, dan bisdemetoksikurkumin, yang tidak terdapat pada semua spesies tanaman *Curcuma*[17].

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Tabel 1. Perbandingan kandungan kurkuminoid, total fenolik, dan aktivitas antioksidan (% DPPH) antar spesies.

	Curcuma longa	*Curcuma mangga*	*Curcuma xanthorriza*	*Curcuma caesia*	*Curcuma aeruginosa*	*Curcuma aromatica*	*Curcuma zedoaria*
Curcuminoid (mg/g)	9,16[15]	0,88[18]	10,8[19]	0,02[15]	0,84[20]	0,2[21]	2,33[20]
TPC (mgGAE/g)	67,9[22]	23[23]	88[24]	63[23]	34[23]	69[23]	33[6]
Antioksidan DPPH (%)	73,9[6]	9,6[6]	64[24]	14,7[15]	21,5[6]	20,8[6]	65,7[6]

Curcuma xanthorrhiza, yang juga dikenal sebagai kunyit Jawa atau temulawak, memiliki kandungan kurkuminoid yang tinggi dengan aktivitas antioksidan yang hampir sebanding dengan kunyit. Namun, pada spesies *C. xanthorrhiza*, senyawa bisdemetoksikurkumin tidak ditemukan[17, 25]. Temulawak telah digunakan secara empiris di Indonesia sebagai obat tradisional, baik sebagai ramuan tunggal maupun sebagai bahan campuran. Statusnya sebagai tanaman obat telah lama diakui, khususnya di kalangan masyarakat Jawa[26].

Curcuma mangga mengandung senyawa terpenoid khas yang disebut kurkumamanggosida, yang memberikan aroma khas pada rimpangnya mirip dengan aroma mangga muda[27]. *Curcuma mangga* memiliki kandungan kurkuminoid yang lebih rendah dibandingkan dengan *Curcuma xanthorrhiza*, tetapi memiliki komposisi kurkuminoid yang kompleks, termasuk kurkumin, demetoksikurkumin, dan bisdemetoksikurkumin, mirip dengan yang terdapat pada kunyit (*C. longa*). Selain itu, kandungan terpenoid pada *C. mangga* juga ditemukan lebih tinggi dibandingkan dengan *C. longa*[17].

Curcuma zedoaria, yang dikenal sebagai kunyit putih, berasal dari India dan daerah sekitarnya seperti Nepal, Bangladesh, dan Sri Lanka, serta banyak dibudidayakan di Tiongkok, Jepang, dan Brasil. Berbagai bagian dari *C. zedoaria* sering digunakan dalam sistem pengobatan tradisional untuk tujuan seperti mengobati alergi, cacingan pada anak-anak, serta gangguan lambung, mual, dan muntah[8]. *Curcuma zedoaria* memiliki aktivitas antioksidan sebesar 65,7%, dengan kandungan kurkuminoid sebesar 2,33 mg/g. Dalam penelitian lain, kandungan kurkuminoid dilaporkan sebesar 2,80%[7]. Analisis fitokimia dari fraksi ekstrak metanol *C. zedoaria* telah mengidentifikasi beberapa seskuiterpen, termasuk *curcuzedoalide*, yang menunjukkan efek sitotoksik dengan mengaktifkan kaspase dan pemotongan *PARP*, yang mengindikasikan terjadinya apoptosis.

Curcuma caesia, yang dikenal sebagai kunyit hitam, berasal dari India dan memiliki berbagai efek terapeutik. Rimpangnya umum digunakan dalam pengobatan tradisional untuk kondisi seperti peradangan, demam, mual, muntah, gangguan menstruasi, dan kanker[8]. Berdasarkan analisis GC-MS, ekstrak metanol *C. caesia* mengungkapkan 44 senyawa bioaktif, dengan enam senyawa menunjukkan puncak tinggi. Sebaliknya, ekstrak aseton dan etil asetat *C. caesia* masing-masing mengidentifikasi 33 dan 31 senyawa. Sebagian besar senyawa ini termasuk dalam kelas terpenoid, termasuk hidrokarbon monoterpen, monoterpen teroksigenasi, hidrokarbon seskuiterpen, dan seskuiterpen teroksigenasi, yang diidentifikasi dalam semua ekstrak[28].

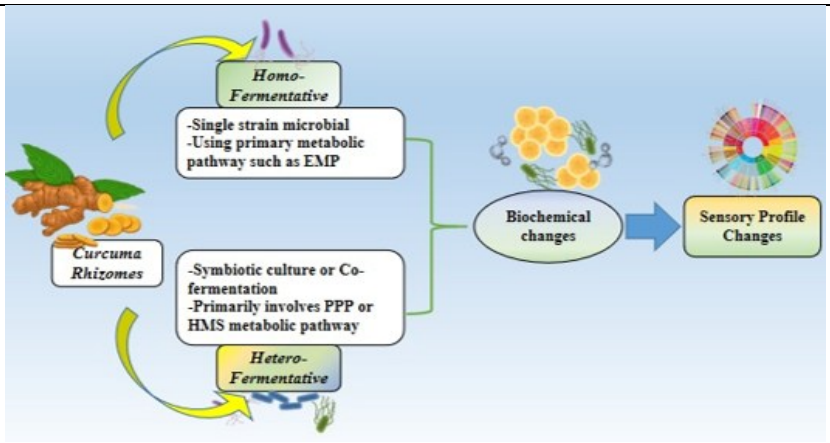
Fermentasi Pada Genus *Curcuma Spp*.

Fermentasi adalah proses yang menarik yang memanfaatkan aktivitas metabolik mikroorganisme, dengan kemampuan luar biasa untuk meningkatkan nilai gizi, fungsi, serta pengembangan profil cita rasa yang unik, sehingga membuat makanan dan minuman hasil fermentasi sangat menarik bagi konsumen[29]. Fermentasi dapat meningkatkan ketersediaan hayati nutrisi esensial, seperti vitamin dan asam amino, sekaligus mengurangi keberadaan faktor anti-nutrisi[30]. Fermentasi juga berperan penting dalam meningkatkan sifat fungsional pangan melalui pembentukan senyawa bioaktif baru yang bermanfaat bagi kesehatan.

Jalur Metabolisme dalam Fermentasi

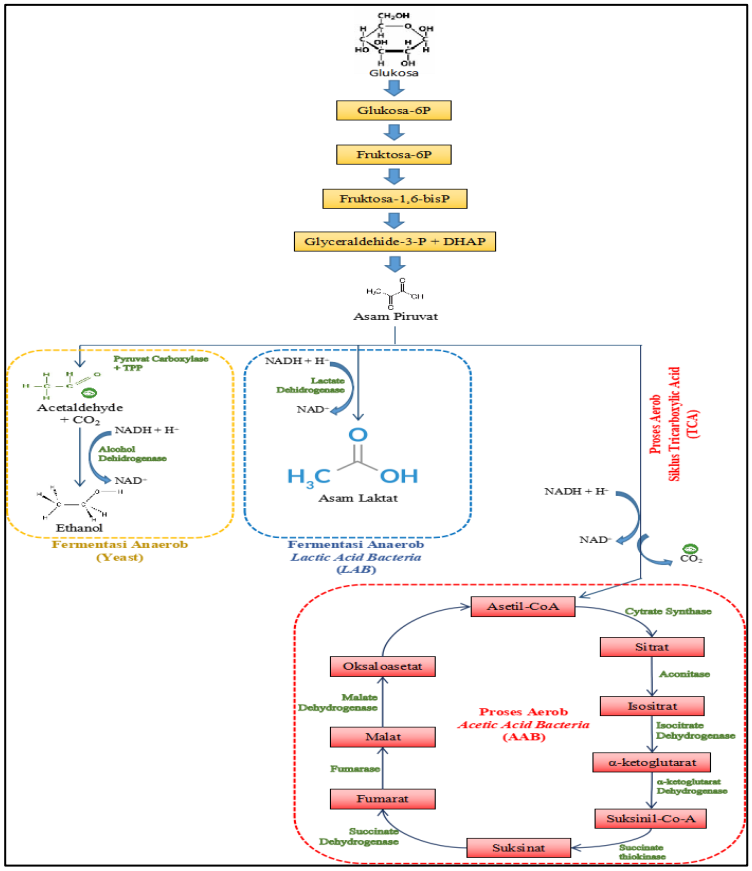
Peran aktivitas mikroorganisme dalam proses fermentasi pangan menunjukkan kemampuannya menjalankan proses biokimia yang kompleks serta beradaptasi dengan baik terhadap perubahan kondisi lingkungan. Pada fermentasi rimpang *Curcuma*, proses fermentasi tidak hanya melibatkan konversi gula menjadi asam organik melalui jalur glikolitik primer *Embden-Meyerhof-Parnas* (EMP) yang dikenal sebagai homofermentasi (Gambar 3).

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



Gambar 3. Proses Fermentasi dalam Genus *Curcuma*

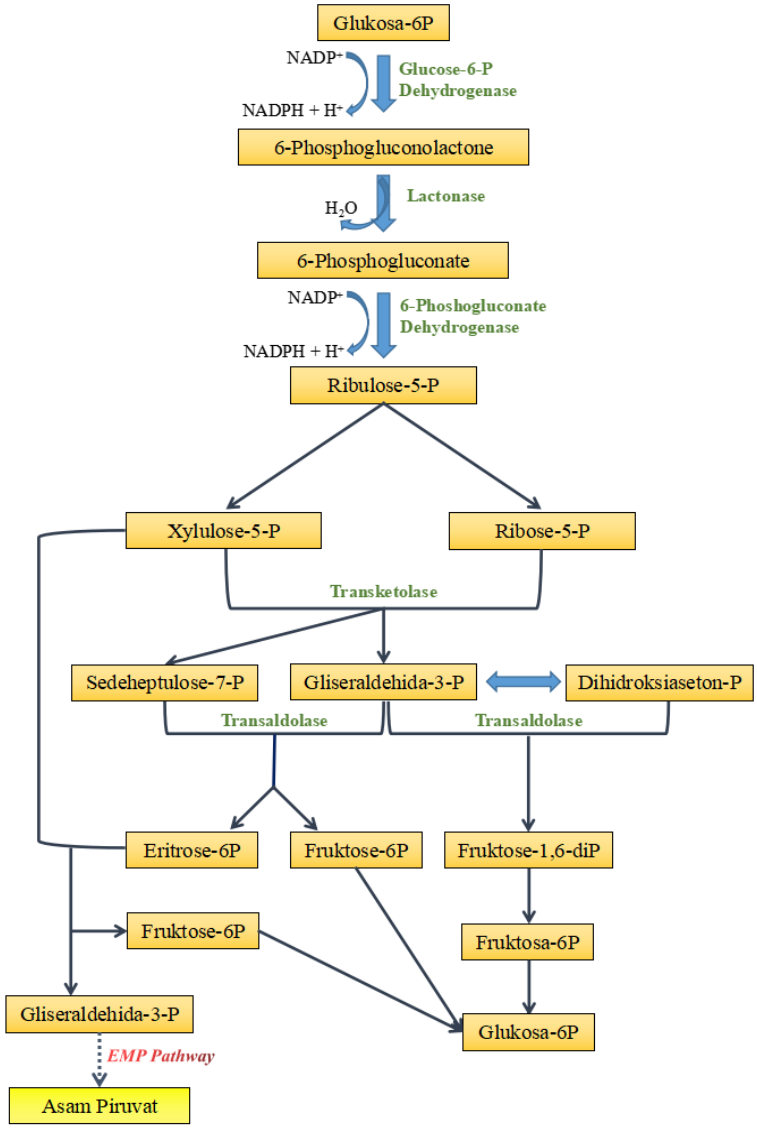
Proses ini juga dapat mencakup berbagai transformasi biokimia yang memengaruhi komposisi dan fungsionalitas produk fermentasi, seperti produksi senyawa bioaktif, modulasi aktivitas antioksidan, dan peningkatan sifat bermanfaat lainnya. Hal ini terjadi melalui jalur metabolik lain yang dikenal sebagai heterofermentasi[31]. Jalur heterofermentatif terutama melibatkan *Pentose Phosphate Pathway* (PPP), yang menghasilkan piruvat, NADPH, dan *Ribose-5-phosphate* selain glukosa yang kemudian diubah menjadi asam laktat, etanol, dan karbon dioksida melalui berbagai reaksi enzimatik[32]. NADPH dan *Ribose-5-phosphate* dibutuhkan untuk sintesis nukleotida, biosintesis asam lemak pada dinding sel dan mempertahankan keseimbangan redoks. Hal ini menyebabkan jalur PPP lebih aktif ketika sel membutuhkan kemampuan biosintesis dan perlindungan terhadap stres oksidatif. *Curcuma spp*. sebagai substrat diawal proses fermentasi memberikan tekanan lingkungan yang tinggi sehingga mikroorganisme perlu melakukan adaptasi.



Gambar 4. *Homofermentative pathway*

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Jalur heterofermentatif lebih mudah ditemukan pada proses fermentasi ketika terdapat simbiosis di antara mikroorganisme dalam kultur starter. Hal ini karena simbiosis memungkinkan mikroorganisme untuk saling bekerja sama dan memberikan manfaat satu sama lain melalui agen metabolik serta jalur metabolik yang berbeda. Sebagai contoh, pada kombucha, ragi memecah sukrosa menjadi glukosa menggunakan enzim invertase, yang kemudian menghasilkan etanol[33]. Sementara itu, bakteri asam asetat memanfaatkan glukosa dan etanol yang tersedia untuk meningkatkan produksi asam organik, seperti asam asetat dan asam glukuronat[34]. Proses serupa juga terjadi pada water kefir, di mana ko-kultivasi mendorong pertumbuhan ragi dan bakteri melalui jalur interaksi metabolik masing-masing[35].



Gambar 5. ***Pentose Phosphate Pathway (PPP)***

Dalam tinjauan ini, kami telah mengumpulkan berbagai literatur mengenai fermentasi berbagai spesies dalam genus *Curcuma* dengan menggunakan beragam kultur seperti *Aspergillus sp., Rhizopus sp., kombucha "SCOBY",* bakteri asam laktat dan mikrofungi lainnya. Jenis dan bentuk fermentasi yang digunakan memengaruhi sifat antioksidan dan profil sensori dari produk *Curcuma* terfermentasi.

Fermentasi dengan Aspergillus sp.

Spesies *Aspergillus* merupakan kelompok kapang yang telah lama dikenal karena perannya yang penting dalam berbagai proses fermentasi pangan. Salah satu spesies *Aspergillus* yang paling dikenal dalam industri pangan adalah *A. oryzae*, yang umum digunakan sebagai kultur starter dalam produksi makanan dan minuman fermentasi tradisional, seperti kecap, miso, dan sake.

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Kemampuan kultur *Aspergillus* untuk menghasilkan berbagai enzim secara bersamaan selama fermentasi memungkinkan pemecahan berbagai molekul seperti pati, lemak, dan protein, sehingga menjadikannya sangat adaptif dalam proses fermentasi[37].

Fermentasi kunyit (*C. longa*) merupakan salah satu teknik pengolahan yang dapat digunakan untuk meningkatkan rendemen minyak dan meningkatkan kandungan senyawa aromatik dalam produksi minyak atsiri kunyit. Kunyit yang difermentasi sampai dengan hari ke-10 mampu meningkatkan rendemen minyaknya sampai dengan 3-kali lipat[38, 39]. Fermentasi rimpang kunyit oleh *A. oryzae* menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan produk terfermentasi lebih tinggi dibandingkan dengan yang tidak difermentasi dengan peningkatan sebesar 2-kali lipat dengan fermentasi selama 28 hari[38]. Kunyit yang difermentasi dengan *A. awamori* juga menunjukkan degradasi pati yang tinggi, sedangkan fermentasi dengan *A. oryzae* menghasilkan rendemen minyak yang tinggi[39]. Hasil yang sama juga diamati pada *Curcuma aromatica*[40]. Degradasi senyawa kurkuminoid dan karotenoid ditunjukkan oleh perubahan warna dalam proses fermentasi, dari kuning menjadi kuning kecokelatan dengan refractive index berkisar antara 1,45-1,47. Pigmen kurkuminoid ini juga dapat diekstraksi melalui fermentasi padat menggunakan *Aspergillus sp*[41, 42].

Penelitian menunjukkan bahwa kunyit yang difermentasi menggunakan *A. awamori* dan *A. niger* memberikan dampak serupa terhadap konsentrasi senyawa minyak kunyit, yang mengindikasikan adanya proses biotransformasi, dimana kadar ar-turmeron menurun pada hari ketujuh sebelum meningkat kembali akibat transformasi α-turmeron dan β-turmeron[39]. Biotransformasi lainnya juga ditunjukkan oleh *A. niger* pada senyawa seskuiterpen lain, seperti kurkumol dalam *C. wenyujin*, yang diubah menjadi 3α-hidroksikurkumol melalui proses esterifikasi substrat dengan asam suksinat[41]. Kapang *Aspergillus sp.* menghasilkan beragam enzim seperti glukosidase, amilase, selulose, dan pektinase, sehingga mampu memecah ikatan glikosida, menjadi senyawa glikon yang terdiri dari gula sederhana dan melepaskan senyawa aglikonnya yang dapat tersusun dari senyawa fenolik, flavonoid, atau terpenoid[43, 44]. Senyawa fenolik, flavonoid dan terpenoid yang terlepas dan terbebas inilah yang kemudian menyebabkan peningkatan aktivitas antioksidan.

Mikroorganisme ini juga mampu tumbuh dalam kondisi stres yang disebabkan oleh keberadaan fitokimia. Kemampuan ini terkait dengan kemampuan mereka menghasilkan berbagai enzim melalui jalur metabolik heterofermentatif yang berbeda, yang membantu melepaskan atau menguraikan senyawa dalam substrat[45]. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, secara umum, kapang *Aspergillus* sp., mampu menjadi mikroorganisme starter pada substrat *Curcuma*, khususnya *A. oryzae*, yang sering digunakan dalam fermentasi kedelai juga mampu digunakan sebagai starter fermentasi pada genus *Curcuma* untuk meningkatkan efek fungsionalnya.

Fermentasi dengan Rhizopus sp.

Rhizopus adalah genus kapang yang berperan penting dalam berbagai proses fermentasi, terutama dalam produksi makanan dan minuman fermentasi tradisional. Kapang ini digunakan dalam produksi makanan fermentasi seperti tempe dan miso, di mana mereka berkontribusi terhadap tekstur, cita rasa, dan kandungan gizi. *Rhizopus oligosporus* dan *Rhizopus oryzae* digunakan dalam produksi tempe[46].

C. aromatica yang difermentasi oleh *R. oligosporus* terbukti dapat meningkatkan sifat fungsionalnya, seperti kandungan senyawa fitokimia. Total kandungan fenolik dan kurkumin flavonoid pada kunyit liar menunjukkan peningkatan masing-masing sebesar 47% dan 124% setelah fermentasi selama 3 hari, kemudian menurun setelah fermentasi 5 hari. Selain total fenolik dan kurkuminoid, senyawa lain seperti asam ferulat dan vanilin juga menunjukkan peningkatan pada hari ke-1 dan ke-5 fermentasi[47]. Asam ferulat adalah senyawa fenolik yang ditemukan pada berbagai tanaman, terutama pada dinding sel tanaman. Struktur kimianya berupa asam fenilpropanoid yang mengandung gugus fenol dan asam. Sementara itu, vanilin adalah senyawa aromatik yang sering dihasilkan dari lignin melalui fermentasi atau pemecahan enzimatis[48]. Dalam proses fermentasi, mikroorganisme dapat menghasilkan enzim yang memecah berbagai senyawa bioaktif. Peningkatan tersebut mungkin terjadi karena dekomposisi atau pelepasan dari struktur dinding sel, atau modifikasi yang terjadi pada struktur kimia senyawa fenolik tertentu. Berdasarkan penelitian ini, juga ditunjukkan bahwa aktivitas antioksidan dengan metode ORAC setelah proses fermentasi mengalami peningkatan sebesar 45%, sedangkan dengan metode FRAP mengalami peningkatan sebesar 56%[47].

Studi lain pada *C. longa* yang difermentasi dengan *R. oryzae* juga menunjukkan hasil serupa, termasuk peningkatan kurkuminoid, polifenol, dan aktivitas antioksidan setelah proses fermentasi. Kandungan kurkumin dan bisdemetoksikurkumin pada kunyit menurun pada hari pertama fermentasi namun meningkat pada hari kedua, sementara

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

demetoksikurkumin menurun pada hari pertama fermentasi tetapi menunjukkan kecenderungan meningkat seiring berjalannya fermentasi[49]. *Rhizopus* sp. dikenal karena kemampuannya memfermentasi berbagai substrat dan menghasilkan berbagai senyawa bioaktif. Meskipun tidak secara langsung mensintesis kurkumin, kapang ini dapat memengaruhi produksi dan transformasi kurkumin melalui proses fermentasi[50].

Fermentasi dengan Mikrofungi lainnya

Genus kapang lain yang dapat digunakan sebagai agen fermentasi untuk rimpang *Curcuma* adalah *Trichoderma sp. Trichoderma* merupakan genus kapang berfilamen yang tersebar luas di tanah dan bahan tanaman yang membusuk. Kapang ini dikenal karena pertumbuhannya yang cepat, kemampuan produksi enzim yang tinggi, serta kemampuannya dalam menguraikan bahan organik yang kompleks[51, 52]. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa fermentasi dengan *Trichoderma* pada rimpang kunyit (*C. longa*) dapat meningkatkan total kandungan fenolik dan aktivitas antioksidan. Kandungan total fenolik dan kadar kurkumin meningkat secara signifikan akibat fermentasi, dari 2,5 mg GAE/g padatan dan 0,5 mg kurkumin/g bubuk kunyit menjadi 23,3 mg GAE/g padatan dan 6,8 mg kurkumin/g bubuk kunyit setelah fermentasi dengan *T. reesei*. Peningkatan ini juga disertai dengan peningkatan aktivitas antioksidan, yang diukur melalui nilai IC_{50} menggunakan tiga metode berbeda: DPPH, ABTS, dan FRAP. Selain menggunakan kultur *T. reesei*, proses fermentasi juga melibatkan spesies seperti *T. pseudomonas*, *T. V6*, *T. verins*, *T. viride*, dan *T. harzianum*, di mana *T. reesei* menunjukkan peningkatan tertinggi pada total fenol dan kurkumin, sedangkan *T. V6* menunjukkan peningkatan terendah[53]. Aplikasi *Trichoderma* spp. dalam pangan jarang dilaporkan, namun penelitian ini menunjukkan potensinya untuk meningkatkan kandungan fenolik dan meningkatkan aktivitas antioksidan pada *C. longa*.

Monascus purpureus adalah kapang berfilamen yang termasuk dalam kelas *Ascomycetes* dan famili *Monascaceae*. Kapang ini secara tradisional digunakan untuk memfermentasi beras, menghasilkan produk yang dikenal sebagai beras angkak (*red yeast rice*)[54]. Selain itu, *Monascus purpureus* juga dapat digunakan untuk memfermentasi kunyit. Sebuah penelitian menggunakan kultur mikroba *Monascus purpureus* dan *Eurotium cristatum* untuk memfermentasi kunyit menunjukkan bahwa fermentasi tersebut menghasilkan masing-masing 8 dan 27 jenis kurkuminoid baru. Selain pembentukan jumlah senyawa baru yang berbeda, hasil penelitian juga menunjukkan perbedaan kemampuan transformasi kurkuminoid selama proses fermentasi oleh kedua jenis kapang tersebut. Kandungan relatif kurkuminoid utama (Kurkumin, DMC, BDMC) juga menunjukkan penurunan pada ekstrak dari kedua kelompok terfermentasi, sementara kandungan kurkuminoid minor meningkat secara signifikan setelah fermentasi[55]. Dengan demikian, kemampuan transformasi ini dapat digunakan sebagai indikator penting dalam memilih kapang yang sesuai untuk proses fermentasi.

Fermentation with Bakteri Asam Laktat

Bakteri asam laktat (BAL) adalah kelompok bakteri yang dikenal karena kemampuannya mengubah gula menjadi asam laktat melalui proses fermentasi. Bakteri ini banyak digunakan dalam produksi makanan dan minuman fermentasi, seperti yogurt, sauerkraut, dan kimchi[56]. BAL mencakup spesies dari berbagai genus seperti *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Bifidobacterium*, dan *Pediococcus*.[57].

Sebuah penelitian terbaru menunjukkan bahwa kunyit yang difermentasi oleh bakteri asam laktat (BAL) dapat meningkatkan total kandungan fenolik dan aktivitas antioksidan. Dalam penelitian tersebut, enam strain BAL dikultur dalam fermentasi kunyit, kemudian pertumbuhannya diamati. Strain tersebut terdiri dari *Bifidobacterium longum*, *Lacticaseibacillus paracasei*, *Levilactobacillus brevis*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *delbrueckii*, *Lactobacillus acidophilus*, dan *Lacticaseibacillus casei*. Hasilnya menunjukkan bahwa fermentasi dapat menjadi metode efektif untuk meningkatkan kapasitas antioksidan kunyit. Aktivitas penangkal radikal bebas DPPH tertinggi diamati pada *L. brevis*, yaitu sebesar 1,97 ± 0,02 mmole/g bk, sedangkan susu kunyit yang tidak difermentasi memiliki nilai terendah yaitu 1,77 ± 0,01 mmole/g bk, sejalan dengan uji penangkal radikal bebas ABTS dan *ferric-reducing power capacity assay*[58]. Hal ini menunjukkan bahwa beberapa strain BAL mungkin memiliki kemampuan untuk mengonversi senyawa fenol tertentu menjadi bentuk yang lebih bioaktif melalui jalur metaboliknya.

Studi lain juga menunjukkan hasil serupa terkait peningkatan aktivitas antioksidan dan total kandungan fenolik. Kunyit yang difermentasi dengan *Enterococcus faecium*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, dan *Lactobacillus plantarum* menunjukkan peningkatan aktivitas antioksidan serta mengindikasikan bahwa kunyit terfermentasi memiliki bioavailabilitas yang lebih baik[59, 60]. Kunyit juga telah digunakan sebagai media fermentasi dengan 5 *strain* yang diisolasi dari kimchi,

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

menghasilkan peningkatan aktivitas antioksidan setelah fermentasi. Kapasitas antioksidan dari kelima strain terpilih selama fermentasi kemungkinan meningkat karena konversi biologis senyawa aktif dalam kunyit melalui proses fermentasi[61]. Selain itu, fermentasi kunyit dengan BAL juga dapat meningkatkan efek fungsionalnya.

Fermentasi kunyit dengan BAL dapat meningkatkan aktivitas penghambatan ACE dan potensi antiinflamasi[62, 63]. Kunyit terfermentasi juga menunjukkan penurunan yang signifikan pada kadar kolesterol total dan LDL yang meningkat akibat diet tinggi lemak, sementara kadar kolesterol HDL meningkat secara signifikan[64]. Campuran tepung kunyit dan kedelai panggang difermentasi bersama dalam fermentasi padat menggunakan *Bacillus subtilis* dan *Lactobacillus plantarum* menghasilkan peningkatan konsentrasi GABA, peptida, γ-PGA, dan probiotik[65]. Fermentasi bersama lebih efektif dibandingkan fermentasi dengan satu strain untuk meningkatkan efek fungsionalnya karena adanya efek sinergis dari berbagai mikroorganisme, yang berkontribusi melalui enzim atau aktivitas metabolik berbeda untuk meningkatkan produksi senyawa bermanfaat. Fermentasi *C. xanthorrhiza* menghasilkan hasil yang serupa dengan fermentasi kunyit. *C. xanthorrhiza* juga menunjukkan potensi prebiotik untuk pertumbuhan strain bakteri probiotik *Lactobacillus casei*. Pada fermentasi campuran tanaman yang mengandung *C. xanthorrhiza*, *C. aeruginosa*, dan *C. longa*, fermentasi menunjukkan peningkatan tertinggi dalam aktivitas antioksidan pada hari ke-18[66].

Studi lain menunjukkan bahwa *C. caesia* yang difermentasi menggunakan *L. plantarum* mengalami peningkatan aktivitas penangkal radikal DPPH hingga 84,25%. Optimasi media *Lactobacillus plantarum* untuk fermentasi ekstrak *C. caesia* juga telah diteliti, di mana aktivitas penangkal radikal DPPH tertinggi sebesar 84,25% diperoleh ketika konsentrasi ekstrak ragi, pepton, dan sukrosa masing-masing berada pada 7, 8, dan 10 (g/L), dengan konsentrasi *C. caesia* sebesar 2% (v/v) dan konsentrasi *L. plantarum* sebesar 2%[67, 68]. Sebuah studi juga meneliti efek fermentasi pada *C. heyneana* yang difermentasi dengan *Lactobacillus bulgaricus*. Ekstrak terfermentasi dari rimpang *C. heyneana* menunjukkan aktivitas antioksidan yang kuat, dengan nilai IC_{50} sebesar 3,49 ppm, yang menunjukkan bahwa ekstrak tersebut memiliki efek antioksidan yang sangat kuat[69].

Fermentasi dengan Starter Kombucha "SCOBY"

Kombucha adalah minuman teh fermentasi yang dibuat menggunakan kultur simbiotik bakteri dan ragi, yang dikenal sebagai *Symbiotic Cultures of Bacteria and Yeasts* (SCOBY). Kombucha umumnya dibuat dengan mengombinasikan teh, gula, starter cuka kombucha, dan SCOBY[70, 71]. Mikroba yang terlibat dalam fermentasi kombucha terutama meliputi *Komagataeibacter* spp. dan *Acetobacter* spp., yang merupakan spesies dominan, sedangkan *Lactobacillus* spp. hanya menyumbang kurang dari 1%. Spesies ragi yang hadir didominasi oleh *Zygosaccharomyces* spp. dan *Brettanomyces* spp. Bakteri asam asetat merupakan jenis bakteri yang paling banyak ditemukan dalam kombucha[72].

Kunyit dapat digunakan sebagai pengganti teh sebagai bahan utama dalam produksi kombucha. Substitusi ini diharapkan dapat meningkatkan manfaat fungsional dan nutrisi dari kombucha. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa fermentasi kombucha kunyit (*Curcuma longa*) dapat meningkatkan kandungan total fenolnya dari 62,31 µg GAE/ml menjadi 108,01 µg GAE/ml pada konsentrasi kunyit 0,4%. Konsentrasi kunyit juga memengaruhi kandungan total fenol dalam kombucha kunyit, dengan hasil tertinggi pada konsentrasi 2%, mencapai 155,95 µg GAE/ml[73]. Penelitian lain menunjukkan bahwa kombucha kunyit memiliki aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan kombucha *Paeoniae alba*. Selain itu, larutan fermentasi dari kunyit dan teh hitam kunyit secara signifikan menurunkan kadar sitokin inflamasi yang diinduksi oleh lipopolisakarida[74].

Selain menggunakan *Curcuma longa*, kombucha juga telah dibuat dengan rimpang spesies *Curcuma* lain, seperti *C. zedoaria*, *C. xanthorrhiza*, dan *C. aeruginosa*. Kombucha *Curcuma xanthorrhiza* menunjukkan peningkatan aktivitas antioksidan seiring dengan lamanya periode fermentasi. Peningkatan aktivitas antioksidan ini sejalan dengan peningkatan kandungan total fenol[75, 76]. Hal ini juga dipengaruhi oleh konsentrasi *C. xanthorrhiza* yang digunakan dalam persiapan substrat, yaitu 50,850 mg GAE/ml pada konsentrasi 0,2% dan 99,195 mg GAE/ml pada konsentrasi 1%[76]. Tren peningkatan total fenol dan aktivitas antioksidan serupa juga diamati pada kombucha *Curcuma zedoaria*, dengan konsentrasi antara 0,2% hingga 1%[77]; serta pada kombucha *Curcuma aeruginosa* dengan konsentrasi 2%, 4%, dan 6% selama periode fermentasi 6 hingga 16 hari[78].

Kombucha memiliki lebih banyak senyawa bioaktif yang teridentifikasi dibandingkan dengan *Curcuma spp*. yang tidak difermentasi, menunjukkan bahwa proses fermentasi berhasil meningkatkan kandungan total fenol. Selain itu, fermentasi memiliki kemampuan untuk melepaskan senyawa yang terikat pada matriks tanaman atau senyawa lain[75, 77]. Senyawa yang terlepas ini

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

kemudian dapat berikatan dan berkonjugasi dengan molekul lain, membentuk senyawa baru. Proses degradasi, sintesis, dan konjugasi ini kemudian dapat meningkatkan potensi bioaktifnya. Pada kombucha *C. aeruginosa*, dari 4 senyawa bioaktif yang ditemukan, terdapat bukti aktivitas anti-kanker[76].

Fermentasi Terhadap Peningkatan Aktivitas Antioksidan

Berdasarkan penelitian di atas, fermentasi berbagai spesies dalam genus *Curcuma* spp. menggunakan mikroorganisme yang berbeda dapat meningkatkan aktivitas antioksidan. Peningkatan aktivitas antioksidan ini dipengaruhi oleh perubahan berbagai senyawa kimia yang terjadi selama proses fermentasi, sebagaimana dijelaskan pada Tabel 2.

Peningkatan aktivitas antioksidan ini sangat berkaitan dengan peningkatan kandungan total fenol. Hal ini disebabkan karena sebagian besar senyawa fenolik memiliki sifat antioksidan, sehingga peningkatan total fenol diikuti oleh peningkatan aktivitas antioksidan. Sebagai contoh, penelitian oleh Muflihah, Gollavelli [79] menunjukkan bahwa *Curcuma longa*, dibandingkan dengan 11 rempah lainnya termasuk *Curcuma mangga*, *Curcuma heyneana*, *Curcuma zedoaria*, *Curcuma xanthorrhiza*, dan *Curcuma aeruginosa*, memiliki aktivitas antioksidan tertinggi berdasarkan uji DPPH, yaitu 94,85%[79]. Selain itu, *C. longa* juga memiliki kandungan total fenol dan total flavonoid tertinggi, masing-masing sebesar 32,57 mg GAE/g dan 279,87 mg QE/g[80]. Fermentasi dapat meningkatkan aktivitas antioksidan dengan melepaskan senyawa fenolik yang terikat pada molekul seperti pati, protein, dan lemak.

Tabel 2. Perubahan senyawa antioksidan selama proses fermentasi pada genus *Curcuma*

No.	Species *Curcuma*	Kultur Fermentation	Senyawa Potensi Antioksidan	Ref.
1.	*C.longa*	*A. niger* *A. awamori* *A. oryzae*	• Lama fermentasi 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 hari • Transformasi senyawa Ar-turmerone menjadi bentuk α and β turmerone↑	(39)
		A. oryzae	• Lama fermentasi 14, 21, dan 28 jam • Antioxidant activity ↑ (17 menjadi 34.1 mg quercetin/g) • Total fenolik ↑ (261 menjadi 374.3 mg GAE/g)	(38)
		R. oryzae	• Lama fermentasi 1, 2, dan 3 hari • Kandungan fenolik, flavonoid dan aktivitas antioxidant↑ • Curcuminoid , curcumin, DMC, and BDMC↑	(49)
		Trichoderma sp.	• Lama fermentasi 7 hari • Total phenolic content ↑ (2,5 to 11,3-23,3 mg GAE/g) • Curcumin ↑ (0,5 to 6,8 mg curcumin/g) • Aktivitas Antioxidant ↑ (FRAP, DPPH, and ABTS radical scavenging assay).	(53)
		M. purpureus *E. cristatum*	• Lama fermentasi 7 hari • Curcuminoid ↑ (97 curcuminoid telah teridentifikasi, 27 senyawa baru dengan M. purpureus and 8 senyawa baru dengan E. cristatum)	(55)
		P. angusta BT21	• Lama fermentasi 4 hari • Transformasi dari senyawa kurkumin menjadi flavonoid, aldehida fenolik (vanilin, asam vanilat, isoeugenol), fenol sederhana, dan asam fenolat.	(81)
		Bacillus natto	• Lama fermentasi 5 hari • Antioxidant ↑ 78% to 82%	(64)

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Tabel 2. Perubahan senyawa antioksidan selama proses fermentasi pada genus Curcuma(Lanjutan…)

No.	Species *Curcuma*	Kultur Fermentation	• Senyawa Potensi Antioksidan	Ref.
		E. faecium *L. lactis subsp. lacti* *L. plantarum*	• Lama fermentasi 24 jam, dengan pengamatan setiap interval 2 jam • Lactic acid ↑ • total phenolics ↑ Hari-10 • Antioxidants ↑ Hari ke-20 (DPPH and FRAP)	(59)
		L. plantarum	• Lama fermentasi 24 jam, dengan pengamatan setiap interval 2 jam • Aktivitas Antioksidan (DPPH) ↑ (66% vs. 62%) • FRAP ↑ (1.47 to 1.8 mg FeSO4/ml)	(60)
		L. coryniformis *L. paracasei*	• Lama fermentasi 3 hari. • Produksi asam laktat ↑ (97.13 g/L L-lactic acid dan 91.61 g/L D-lactic acid)	(82, 83)
		Bacillus subtilis *L. plantarum*	• Lama fermentasi 1, 3, 5, 7 hari • Kandungan GABA ↑ (1.78%) dengan co-fermentation.	(65)
		L. fermentum	• Lama fermentasi 24 jam • Curcumin ↑ 1,85 ke 2,03 mg/g.	(63)
		LAB isolates from kimchi	• Lama fermentasi 0, 2, 5, dan 7 hari • ABTS ↑ pada hari ke-5 (5.43 menjadi 5.64 mg VCE/ml)	(61)
		L. brevis	• Lama fermentasi 1 hari • Kandungan Fenolik Bebas ↑ • (2.86 menjadi 3.03 mmole/g dw) • DPPH assay ↑ • (1.77 menjadi 1.93 mmole TE/g dw) • ABTS assay ↑ • (3.98 menjadi 4.41 mmole TE/g dw) • FRAP assay↑ • (2.82 menjadi 2.90 mmole TE/g dw)	(58)
		L. plantarum	• Lama fermentasi 0, 10, 24, 48 jam • Total fenolik menunjukkan peningkatan signifikan ↑	(62)
		Kombucha SCOBY	• Lama fermentasi 0 dan 12 hari • Total fenolik dari kombucha kunyit konsentrasi 2%↑ (99.21 menjadi 155.95 µg GAE/ml).	(73)
2.	*C. aromatica*	*A. oryzae*	• Lama fermentasi 72 jam • Total Flavonoid ↓ (32,92 menjadi 23,07 mgGAE/g) • Total Fenolik ↓ (756,67 ke 722,22 mgNE/100g) • DPPH Assay ↑ (47,10 ke 50,12%) • ABTS Assay↑ (42,76 ke 60,21%)	(40)
		R. oligosporus	• Lama fermentasi 0, 1, 3, 5, 7 hari • Curcumin, DMC, BDMC ↓, Ferullic Acid ↑, Total Flavonoid-curcuminoid ↑ • Total Fenolik ↑, Antioxidant ORAC ↑, Antioxidant FRAP ↑	(47)
3.	*C. xanthorrhiza*	Kombucha *"SCOBY" culture*	• Lama fermentasi 0 dan 12 hari • Total fenolik ↑ (33 menjadi 182 mlGAE/ml) • Antioxidant IC50 ↑ (195 menjadi 129 ppm) • Bisacurol ✓ dan asam organik✓	(75)
			• Lama fermentasi 6, 9, 12, 15 hari • Aktivitas Antioxidant↑ (64 menjadi 70%)	(76)

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Tabel 2. Perubahan senyawa antioksidan selama proses fermentasi pada genus Curcuma(Lanjutan…)

No.	Species *Curcuma*	Kultur Fermentation	• Senyawa Potensi Antioksidan	Ref.
4.	*C. zedoaria*	Kombucha	• Lama fermentasi 0 dan 12 hari • Total fenolik↑ (202 menjadi 103 mlGAE/ml) • Antioxidant IC50↑ (202 menjadi 103 ppm) • Quercetin ✓, vitamin B, C, K ✓, dan asam organik ✓	(77)
5.	*C. aeruginosa*	Kombucha	• Lama fermentasi 6, 8, 10, 12, 14, 16 hari • Antioxidant IC50 ↑ (24 menjadi 13 ppm) • Zedoarondiol ✓	(78)
6.	*C. caesia*	*L. plantarum*	• Lama fermentasi 48 jam • Aktivitas Antioksidan (DPPH) ↑ (67,03 menjadi 84,25%)	(67, 68)
		Endophytic fungus	• Lama fermentasi 7 hari • Biotransformasi senyawa Curcumin menjadi Calebin-A↑	(84)
7.	*C. heyneana*	*L. bulgariccus*	• Lama fermentasi 24 jam • Flavonoid ✓, Fenol ✓ • DPPH IC50 (3,49 ppm) ↑	(69)
8.	*C. wenyujin*	*Aspergillus niger*	• Lama fermentasi 2, 5, 7 hari • Transformasi senyawa curcumol menjadi 3α-hydroxycurcumol ↑ & α-(4'-methoxy-succinyloxy)-curcumol ↑	(41)
		Endophytic fungus	• Lama fermentasi 10 hari • curcumin✓, cinnamic acid✓, 1,4-dihydroxyanthra-quinone✓, gibberellic acid✓, kaempferol✓	(85)
9.	*C. domestica*	*L. acidophilus* *B. longum* *L. casei*	• Lama fermentasi 35-40 jam • Antioxidant DPPH ↑ • Free Radical Anion Scavenging ↑ • Peroxide Removel ↑	(86)
10.	*The plant blends containing C.xanthorrhiza, C.aeruginosa, and C. longa*	*L. casei*	• Lama fermentasi 0, 6, 12, 18 hari • Aktivitas Antioxidant↑ (38.90% menjadi 46.97%) • Total fenolik↑ (39,29-46.39 mg/100ml)	(66)

Degradasi molekuler terjadi selama fermentasi sebagai bagian dari metabolisme mikroba. Mikroorganisme bekerja dengan memecah makromolekul seperti pati, protein, dan lemak sebagai sumber karbon. Pada tumbuhan, senyawa fenolik sering terikat pada molekul-molekul ini sebagai mekanisme pertahanan[87]. Ketika pati, lemak, dan protein terdegradasi menjadi gula sederhana, asam lemak, asam amino, dan asam organik, senyawa fenolik yang terikat juga dilepaskan menjadi senyawa yang lebih polar, sehingga meningkatkan aktivitas antioksidannya. Hal ini dapat diamati pada fermentasi *Curcuma longa* dengan *Lactobacillus brevis*, di mana peningkatan aktivitas antioksidan tercatat meskipun tidak terjadi perubahan dalam kandungan total fenol antara sampel yang tidak difermentasi dan yang difermentasi. Dalam analisis kandungan total fenol, perbandingan antara kandungan fenol bebas dan fenol terikat menunjukkan peningkatan kandungan fenol bebas setelah fermentasi[58]. Fermentasi meningkatkan kadar senyawa fenolik bebas karena mikroorganisme mensekresikan enzim yang mendegradasi dinding sel tanaman dan melepaskan senyawa fenolik bioaktif.

Kandungan fenol bebas cenderung memiliki polaritas tinggi, dan tingkat polaritas ini memengaruhi fungsi bioaktif senyawa tersebut, termasuk aktivitas antioksidannya[55]. Selain mendegradasi makromolekul, mikroorganisme juga dapat memecah senyawa polifenolik seperti kurkumin menjadi senyawa fenolik yang lebih sederhana. Kurkuminoid utama, yang meliputi kurkumin, demetoksikurkumin, dan bisdemetoksikurkumin, memiliki rantai karbon 20–30, yang dapat dipecah selama fermentasi menjadi

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

senyawa analog seperti dihidrokurkumin, heksahidrakurkumin, dan tetrahidrakurkumin, yang mengandung rantai karbon 2–10 yang terikat pada atom hidrogen[77]. Senyawa fenolik ini, baik yang dilepaskan maupun yang terdegradasi, dapat berkonjugasi membentuk senyawa baru yang memengaruhi aktivitas antioksidan.

Pelepasan senyawa dari serat dan pati yang terdegradasi tidak hanya terjadi pada senyawa fenolik, tetapi juga pada senyawa terpenoid. Bisakurol adalah terpenoid yang secara alami terdapat pada *C. xanthorrhiza*, namun dalam penelitian Zubaidah, Dea (75), bisakurol hanya terdeteksi setelah fermentasi kombucha, menunjukkan pelepasan senyawa terpenoid akibat degradasi dalam matriks tanaman. Proses serupa juga terjadi pada *C. longa* yang difermentasi dengan *Aspergillus* sp., menunjukkan bahwa degradasi juga memengaruhi senyawa Ar-turmerone, sehingga terbentuk analognya, yaitu α-turmerone dan β-turmerone. Ar-turmerone, selain menjadi komponen volatil, juga memiliki efek fungsional, termasuk aktivitas antioksidan[39]. Dengan demikian, peningkatan aktivitas antioksidan dapat terjadi tidak hanya karena pelepasan senyawa fenolik, tetapi juga dari pelepasan senyawa lain seperti terpenoid yang memiliki aktivitas antioksidan. Seskuiterpena merupakan kelas senyawa terpenoid yang dapat mengalami biotransformasi, yang meningkatkan potensi bioaktifnya[80].

Mikroorganisme, khususnya ragi dan jamur dalam proses fermentasi, tidak hanya mensekresikan enzim glukosidase untuk memecah pati, tetapi juga enzim protease dan lipase, sehingga memungkinkan degradasi berbagai senyawa selain sekadar pelepasan fenolik[2]. Proses ini dapat memicu reaksi pemutusan cincin (ring cleavage), di mana senyawa siklik mengalami pemutusan satu atau lebih ikatan dalam struktur cincinnya, menghasilkan produk rantai linear atau terbuka[88]. Hal ini sering menyebabkan perubahan signifikan pada sifat dan reaktivitas senyawa asli, yang juga meningkatkan aktivitas antioksidan secara signifikan. Senyawa kuersetin yang ditemukan dalam kombucha *C. zedoaria* merupakan hasil dari reaksi ini. Kurkuminoid adalah senyawa fenolik dominan pada genus *Curcuma*. Perlu dicatat, selama fermentasi, kurkumin dapat terdegradasi menjadi kurkuminoid yang lebih sederhana seperti tetrahidrokurkumin (THC), dihidrokurkumin (DHC), dan heksahidrokurkumin (HKC), di antara lainnya. Proses degradasi ini dapat meningkatkan aktivitas antioksidan, baik dari segi kualitas maupun kuantitas senyawa fenolik[77].

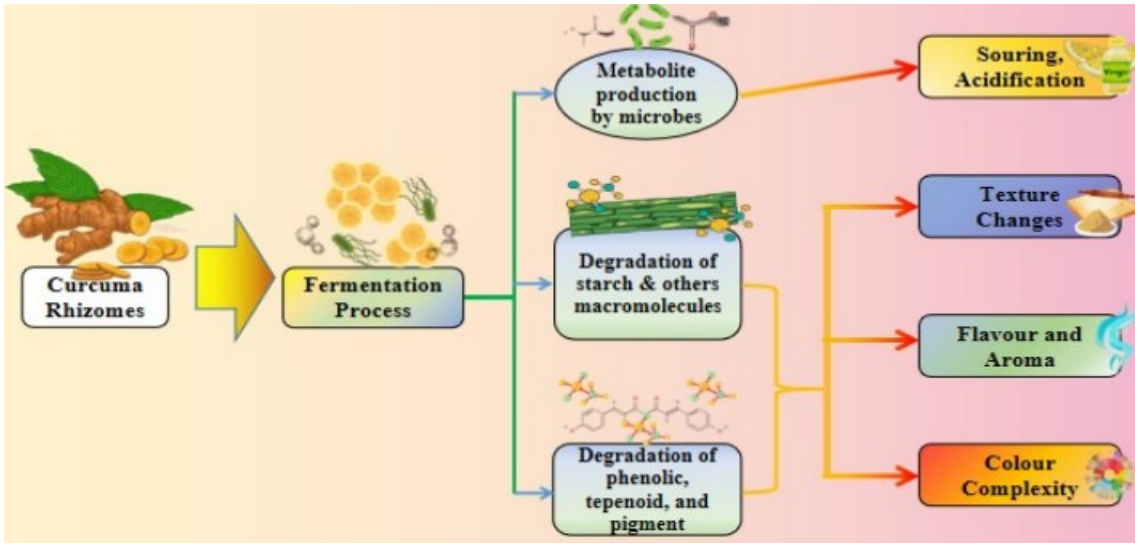
Berbagai mikroorganisme dapat menghasilkan senyawa yang sangat beragam melalui berbagai reaksi. Untuk senyawa flavonoid, selain pemutusan cincin dan konjugasi sulfat, dapat terjadi juga glikosilasi, deglikosilasi, metilasi, dan glukuronidasi, yang memengaruhi reaktivitas senyawa tersebut [47]. Beberapa penelitian, seperti oleh Lim, et.al., (2022) serta Gaur, et.al., (2023)[31,71], telah meneliti kemampuan mikroorganisme untuk mentransformasi senyawa tertentu dengan tujuan meningkatkan reaktivitasnya. Penelitian lain memanfaatkan kemampuan ragi *Saccharomyces cerevisiae* untuk mensintesis senyawa kurkumin[48, 89]. Biotransformasi kurkumin juga dilakukan oleh jamur *Rhizopus oryzae* dan *Aspergillus niger*, yang mengubahnya menjadi senyawa analognya[50]. *A. niger* juga dapat melakukan biotransformasi pada senyawa turmerone menjadi empat senyawa analog teroksidasi[90].

Proses fermentasi tidak hanya memengaruhi senyawa bioaktif dalam substrat, tetapi mikroorganisme juga menghasilkan metabolitnya sendiri, seperti asam organik. Mikroorganisme umumnya mengubah gula menjadi asam laktat melalui jalur EMP. Metabolit-metabolit ini biasanya disebut sebagai metabolit primer dan merupakan ciri khas dari proses fermentasi, terutama fermentasi bakteri. Asam laktat dan senyawa asam organik ini juga berkontribusi terhadap peningkatan aktivitas antioksidan[91].

Pengaruh Fermentasi Terhadap Profil Sensori

Fermentasi dapat sangat memengaruhi karakteristik sensorik suatu produk, termasuk rasa, aroma, tekstur, dan daya tarik visual (Gambar 6). Aktivitas metabolik yang terjadi selama fermentasi dapat memperkuat rasa, menciptakan aroma baru, dan mengubah tekstur, sehingga menghasilkan ciri khas yang membedakan produk fermentasi dari produk yang tidak difermentasi[92].

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



Gambar 6. Pengaruh Fermentasi pada Profil Sensory

Pembentukan rasa dan aroma, selain asam, juga dapat terjadi akibat aktivitas mikroorganisme. Ragi dan bakteri menghasilkan berbagai produk sampingan, termasuk alkohol, asam, ester, dan fenol, yang berkontribusi terhadap profil rasa secara keseluruhan. Hal ini dapat dilihat pada fermentasi *C. longa* dengan *A. niger* untuk meningkatkan aroma minyak kunyit, di mana senyawa volatil seperti *α,γ-terpinen* dan *1-phellandrene* dihasilkan[39]. Senyawa terpinen merupakan terpenoid yang memiliki aroma *woody* dan *oily*, serta nuansa herbal tropis, sedangkan *phellandrene* adalah senyawa *terpene* yang memiliki aroma citrus, herbal, dan *greeneries*[93]. Senyawa lain yang dapat muncul selama fermentasi termasuk linalool, yang memberikan aroma citrus, floral, dan *sweet*, serta etil butirat, yang berkontribusi pada aroma buah, segar, dan menyerupai nanas[94].

Fermentasi tidak hanya berkontribusi pada rasa dan aroma, tetapi juga berperan penting dalam meningkatkan warna dan profil pigmen pada berbagai produk. Mikroorganisme yang terlibat dalam fermentasi dapat memecah struktur sel pada bahan tanaman, sehingga melepaskan pigmen seperti antosianin, karotenoid, dan kurkuminoid dengan lebih efektif[95]. Hal ini ditunjukkan pada *kochujang* kunyit, di mana fermentasi yang lebih lama meningkatkan kecerahan warna, menunjukkan kecenderungan menuju nuansa kuning yang lebih terang dibandingkan produk yang tidak difermentasi[96]. Selain itu, proses fermentasi dapat memfasilitasi ekstraksi pigmen dengan mengubah matriks bahan, sehingga mempermudah pelarut atau air untuk mengekstraksi senyawa-senyawa tersebut.

Fermentasi dapat memengaruhi tekstur pada substrat padat (*solid-base fermentation*) melalui aktivitas metabolik mikroorganisme. Enzim yang dihasilkan selama fermentasi, seperti amilase dan protease, memecah pati menjadi gula sederhana dan protein menjadi peptida atau asam amino yang lebih kecil[97]. Fermentasi juga dapat mengubah kemampuan pengikatan air pada tepung dengan memecah polisakarida, sehingga meningkatkan penyerapan dan retensi air[98]. Pada substrat cair, prinsip yang sama dapat meningkatkan kekentalan disamping, beberapa mikroorganisme sebagai starter fermentasi menghasilkan metabolit sekunder seperti selulosa dan senyawa-senyawa polisakarida serta glycerol yang dapat menurunkan aktivitas air (A_w)[99].

SIMPULAN

Fermentasi spesies *Curcuma* menggunakan berbagai kultur starter mikroba secara signifikan meningkatkan aktivitas antioksidan dan karakteristik sensorik rimpang tersebut. Degradasi kurkuminoid menjadi senyawa yang lebih sederhana dan bioaktif selama fermentasi meningkatkan bioavailabilitas maupun manfaat fungsionalnya. Proses fermentasi juga memperkenalkan senyawa bioaktif baru yang meningkatkan kapasitas antioksidan secara keseluruhan. Selain itu, fermentasi berdampak positif pada profil sensorik produk, dengan meningkatkan rasa, aroma, dan warna. Penggunaan fermentasi pada spesies *Curcuma* merupakan pendekatan yang menjanjikan untuk pengembangan makanan fungsional dengan manfaat kesehatan yang lebih baik, menunjukkan potensi aplikasinya yang lebih luas dalam industri pangan dan kesehatan.

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

REFERENSI

1. Ardiansyah, Nada A, Rahmawati Nti, Oktriani A, David W, Astuti Rm, Et Al. Volatile Compounds, Sensory Profile And Phenolic Compounds In Fermented Rice Bran. Plants. 2021;10(6):1073.
2. Nguyen Thai H, Van Camp J, Smagghe G, Raes K. Improved Release And Metabolism Of Flavonoids By Steered Fermentation Processes: A Review. International Journal Of Molecular Sciences. 2014;15(11):19369-88.
3. Sarıtaş S, Portocarrero Acm, Miranda López Jm, Lombardo M, Koch W, Raposo A, Et Al. The Impact Of Fermentation On The Antioxidant Activity Of Food Products. Molecules. 2024;29(16):3941.
4. Verni M, Verardo V, Rizzello Cg. How Fermentation Affects The Antioxidant Properties Of Cereals And Legumes. Foods. 2019;8(9):362.
5. Ravindran P, Babu Kn, Sivaraman K. Turmeric: The Genus Curcuma: Crc Press; 2007.
6. Burapan S, Kim M, Paisooksantivatana Y, Eser Be, Han J. Thai Curcuma Species: Antioxidant And Bioactive Compounds. Foods. 2020;9(9):1219.
7. Yustinianus Rr, Wunas J, Rifai Y, Ramli N. Curcumin Content In Extract Of Some Rhizomes From Zingiberaceae Family. Jpms. 2019;4(1):15-9.
8. Ayati Z, Ramezani M, Amiri Ms, Moghadam At, Rahimi H, Abdollahzade A, Et Al. Ethnobotany, Phytochemistry And Traditional Uses Of Curcuma Spp. And Pharmacological Profile Of Two Important Species (C. Longa And C. Zedoaria): A Review. Current Pharmaceutical Design. 2019;25(8):871-935.
9. Wikipedia C. File:Turmeric Rhizomes.Jpg 2016 [Available From: Https://Commons.Wikimedia.Org/Wiki/File:Turmeric_Rhizomes.Jpg#Licensing.
10. Paudel A, Khanal N, Khanal A, Rai S, Adhikari R. Pharmacological Insights Into Curcuma Caesia Roxb., The Black Turmeric: A Review Of Bioactive Compounds And Medicinal Applications. Discover Plants. 2024;1(1):69.
11. Wikipedia C. Curcuma Xanthorrhiza [Available From: Https://Commons.Wikimedia.Org/W/Index.Php?Search=Curcuma+Xanthorrhiza&Title=Special%3amediasearch&Type=Image.
12. Jadhao Anand S, Bhuktar Anil S, Editors. Phytochemical Screening Of Rhizome Extract Of Curcuma Zedoaria (Christm) Roscoe By Hrlc-Ms Technique. National Conference On Challenges In Life Sciences And Agrobased Industries For Rural Development; 2019.
13. Conservation S. Temu Ireng 2026 [Available From: Https://Www.Socfindoconservation.Co.Id/Plant/391.
14. Andrade-Damián F, Michel Mr, Álvarez-Díaz Ng, Muñiz-Márquez Db, Wong-Paz Je, Veana-Hernández F, Et Al. Strategies For The Recovery Of Phytochemicals From Turmeric (Curcuma Longa L.) Cultivated In The Huasteca Potosina. Biocontrol Systems And Plant Physiology In Modern Agriculture. 2022:183-99.
15. Van Hung P, Vo Tnd. Structure, Physicochemical Characteristics, And Functional Properties Of Starches Isolated From Yellow (Curcuma Longa) And Black (Curcuma Caesia) Turmeric Rhizomes. Starch-Stärke. 2017;69(5-6):1600285.
16. He Y, Yin L, Zhou W, Wan H, Lei C, Li S, Et Al. Evaluation Of 60co Irradiation On Volatile Components Of Turmeric (Curcumae Longae Rhizoma) Volatile Oil With Gc–Ims. Foods. 2023;12(13):2489.
17. Nurani Lh, Rohman A, Windarsih A, Guntarti A, Riswanto Fdo, Lukitaningsih E, Et Al. Metabolite Fingerprinting Using 1h-Nmr Spectroscopy And Chemometrics For Classification Of Three Curcuma Species From Different Origins. Molecules. 2021;26(24):7626.
18. Yuliasmi S, Satria D, Dongoran R, Sinaga M, Marpaung N. Correlation Between The Phytochemical Constituents Of Curcuma Mangga And Its Immunomodulatory Effect. 2019.
19. Nurcholis W, Ambarsari L, Sari N, Darusman Lk, Editors. Curcuminoid Contents, Antioxidant And Anti-Inflammatory Activities Of Curcuma Xanthorrhiza Roxb. And Curcuma Domestica Val. Promising Lines From Sukabumi Of Indonesia. Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa; 2012.
20. Marliani L, Sukmawati Ik, Juanda D, Anjani E, Anggraeni I. Penapisan Fitokimia, Kadar Kurkuminoid Dan Aktivitas Antibakteri Temu Hitam (Curcuma Aeruginosa (Christm) Roscoe.), Temu Putih (Curcuma Zedoaria Roxb.) Dan Temulawak (Curcuma Xanthorrhiza Roxb.). Herb-Medicine Journal: Terbitan Berkala Ilmiah Herbal, Kedokteran Dan Kesehatan. 2021;4(1):57-64.
21. Umar Nm, Parumasivam T, Aminu N, Toh S-M. Phytochemical And Pharmacological Properties Of Curcuma Aromatica Salisb (Wild Turmeric). Journal Of Applied Pharmaceutical Science. 2020;10(10):180-94.
22. Maizura M, Aminah A, Wan Aida W. Total Phenolic Content And Antioxidant Activity Of

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Kesum (Polygonum Minus), Ginger (Zingiber Officinale) And Turmeric (Curcuma Longa) Extract. International Food Research Journal. 2011;18(2).
23. Rajamma Ag, Bai V, Nambisan B. Antioxidant And Antibacterial Activities Of Oleoresins Isolated From Nine Curcuma Species. Phytopharmacology. 2012;2(2):312-7.
24. Qader Sw, Abdulla Ma, Chua Ls, Najim N, Zain Mm, Hamdan S. Antioxidant, Total Phenolic Content And Cytotoxicity Evaluation Of Selected Malaysian Plants. Molecules. 2011;16(4):3433-43.
25. Cahyono B, Diah Khoirul Huda M, Limantara L. Pengaruh Proses Pengeringan Rimpang Temulawak (Curcuma Xanthorriza Roxb) Terhadap Kandungan Dan Komposisi Kurkuminoid. 2011.
26. Rosidi A, Khomsan A, Setiawan B, Riyadi H, Briawan D, Editors. Potensi Temulawak (Curcuma Xanthorrhiza Roxb) Sebagai Antioksidan. Prosiding Seminar Nasional & Internasional; 2014.
27. Awin T, Mediani A, Mohd Faudzi Sm, Maulidiani, Leong Sw, Shaari K, Et Al. Identification Of A-Glucosidase Inhibitory Compounds From Curcuma Mangga Fractions. International Journal Of Food Properties. 2020;23(1):154-66.
28. Chaturvedi M, Rani R, Sharma D, Yadav Jp. Comparison Of Curcuma Caesia Extracts For Bioactive Metabolite Composition, Antioxidant And Antimicrobial Potential. Natural Product Research. 2021;35(18):3131-5.
29. Dartora B, Hickert Lr, Fabricio Mf, Ayub Maz, Furlan Jm, Wagner R, Et Al. Understanding The Effect Of Fermentation Time On Physicochemical Characteristics, Sensory Attributes, And Volatile Compounds In Green Tea Kombucha. Food Research International. 2023;174:113569.
30. Zofia N-Ł, Aleksandra Z, Tomasz B, Martyna Z-D, Magdalena Z, Zofia H-B, Et Al. Effect Of Fermentation Time On Antioxidant And Anti-Ageing Properties Of Green Coffee Kombucha Ferments. Molecules. 2020;25(22):5394.
31. Elshaghabee Fm, Bockelmann W, Meske D, De Vrese M, Walte H-G, Schrezenmeir J, Et Al. Ethanol Production By Selected Intestinal Microorganisms And Lactic Acid Bacteria Growing Under Different Nutritional Conditions. Frontiers In Microbiology. 2016;7:47.
32. Yan J, Sun Y, Kang Y, Meng X, Zhang H, Cai Y, Et Al. An Innovative Strategy To Enhance The Ensiling Quality And Methane Production Of Excessively Wilted Wheat Straw: Using Acetic Acid Or Hetero-Fermentative Lactic Acid Bacterial Community As Additives. Waste Management. 2022;149:11-20.
33. Zailani Ns, Adnan A. Substrates And Metabolic Pathways In Symbiotic Culture Of Bacteria And Yeast (Scoby) Fermentation: A Mini Review. Jurnal Teknologi. 2022;84(5):155-65.
34. Devanthi Pvp, Kho K, Nurdiansyah R, Briot A, Taherzadeh Mj, Aslanzadeh S. Do Kombucha Symbiotic Cultures Of Bacteria And Yeast Affect Bacterial Cellulose Yield In Molasses? Journal Of Fungi. 2021;7(9):705.
35. Stadie J, Gulitz A, Ehrmann Ma, Vogel Rf. Metabolic Activity And Symbiotic Interactions Of Lactic Acid Bacteria And Yeasts Isolated From Water Kefir. Food Microbiology. 2013;35(2):92-8.
36. Suprayogi Wps, Ratriyanto A, Akhirini N, Hadi Rf, Setyono W, Irawan A. Changes In Nutritional And Antinutritional Aspects Of Soybean Meals By Mechanical And Solid-State Fermentation Treatments With Bacillus Subtilis And Aspergillus Oryzae. Bioresource Technology Reports. 2022;17:100925.
37. Tao A, Feng X, Sheng Y, Song Z. Optimization Of The Artemisia Polysaccharide Fermentation Process By Aspergillus Niger. Frontiers In Nutrition. 2022;9:842766.
38. Sulasiyah S, Sarjono Pr, Aminin Al. Antioxidant From Turmeric Fermentation Products (Curcuma Longa) By Aspergillus Oryzae. Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi. 2018;21(1):13-8.
39. Abduh My, Ramawati Ai, Komariyah T, Theda Y. Solid State Fermentation Of Turmeric Rhizomes With Aspergillus Sp. To Improve Yield And Composition Of Extracted Turmeric Oil. Iium Engineering Journal. 2023;24(1):1-12.
40. Ra Hn, Kim Hy. Antioxidant And Antimicrobial Activities Of Curcuma Aromatica Salisb. With And Without Fermentation. Korean Journal Of Food And Cookery Science. 2016;32(3):299-306.
41. Li-Xia C, Hui Z, Qian Z, Shi-Yu Y, Zhong Z, Tian-Xian L, Et Al. Microbial Transformation Of Curcumol By Aspergillus Niger. Natural Product Communications. 2013;8(2):1934578x1300800202.
42. Andrade-Damián M, Muñiz-Márquez D, Wong-Paz J, Veana-Hernández F, Reyes-Luna C, Aguilar-Zárate P. Exploratory Study Of Pigment Extraction From Curcuma Longa L. By Solid-State Fermentation Using Five Fungal Strains. Mexican J Biotechnol. 2019;4(3):1-11.
43. Ma Y, Ling T-J, Su X-Q, Jiang B, Nian B, Chen L-J, Et Al. Integrated Proteomics And Metabolomics Analysis Of Tea Leaves Fermented By Aspergillus Niger, Aspergillus

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Tamarii And Aspergillus Fumigatus. Food Chemistry. 2021;334:127560.
44. Souza Guimaraes Lh, Da Costa Souza Pn. Aspergillus Biotechnology: An Overview On The Production Of Hydrolases And Secondary Metabolites. Current Biotechnology. 2017;6(4):283-94.
45. Park H-S, Jun S-C, Han K-H, Hong S-B, Yu J-H. Diversity, Application, And Synthetic Biology Of Industrially Important Aspergillus Fungi. Advances In Applied Microbiology. 2017;100:161-202.
46. Wikandari R, Kinanti Da, Permatasari Rd, Rahmaningtyas Nl, Chairunisa Nr, Sardjono, Et Al. Correlations Between The Chemical, Microbiological Characteristics And Sensory Profile Of Fungal Fermented Food. Fermentation. 2021;7(4):261.
47. Lim J, Nguyen Tth, Pal K, Kang Cg, Park C, Kim Sw, Et Al. Phytochemical Properties And Functional Characteristics Of Wild Turmeric (Curcuma Aromatica) Fermented With Rhizopus Oligosporus. Food Chemistry: X. 2022;13:100198.
48. Costa Jmr, Rodrigues Jllc, Rodrigues Lr. Metabolic Engineering Of Curcumin Production In Saccharomyces Cerevisiae. 2021.
49. Kim E-J, Song B-N, Jeong D-S, Kim S-Y, Cho Y-S, Park S-Y. Anti-Oxidative And Anti-Inflammatory Activities Of Fermented Turmeric (Curcuma Longa L.) By Rhizopus Oryzae. Journal Of Life Science. 2017;27(11):1315-23.
50. Martin Gd, Mckenzie C, Moore M. Synthesis And Bioconversion Of Curcumin Analogs. Natural Product Communications. 2017;12(4):1934578x1701200424.
51. Chaiwut P, Chomnunti P, Thaochan N, Saikeur A, Pintathong P. Effect Of Solid State Fermentation With Trichoderma Spp. On Phenolic Content And Antioxidant Capacities Of Mature Assam Tea Leaves. Journal Of Food Science And Agricultural Technology (Jfat). 2019;5:106-13.
52. Ming S, Guan Y, Wu X, Zhang Y, Li J, Rong J, Et Al., Editors. Optimization Of Trichoderma Fermentation Medium. Iop Conference Series: Materials Science And Engineering; 2019: Iop Publishing.
53. Mohamed Sa, Saleh Rm, Kabli Sa, Al-Garni Sm. Influence Of Solid State Fermentation By Trichoderma Spp. On Solubility, Phenolic Content, Antioxidant, And Antimicrobial Activities Of Commercial Turmeric. Bioscience, Biotechnology, And Biochemistry. 2016;80(5):920-8.
54. Srianta I, Zubaidah E, Estiasih T, Yamada M. Comparison Of Monascus Purpureus Growth, Pigment Production And Composition On Different Cereal Substrates With Solid State Fermentation. Biocatalysis And Agricultural Biotechnology. 2016;7:181-6.
55. Xiang X, Song C, Shi Q, Tian J, Chen C, Huang J, Et Al. A Novel Predict-Verify Strategy For Targeted Metabolomics: Comparison Of The Curcuminoids Between Crude And Fermented Turmeric. Food Chemistry. 2020;331:127281.
56. Özer C, Yıldırım Hk. Some Special Properties Of Fermented Products With Cabbage Origin: Pickled Cabbage, Sauerkraut And Kimchi. Turkish Journal Of Agriculture-Food Science And Technology. 2019;7(3):490-7.
57. Wang Y, Wu J, Lv M, Shao Z, Hungwe M, Wang J, Et Al. Metabolism Characteristics Of Lactic Acid Bacteria And The Expanding Applications In Food Industry. Frontiers In Bioengineering And Biotechnology. 2021;9:612285.
58. Lu J-J, Cheng M-C, Khumsupan D, Hsieh C-C, Hsieh C-W, Cheng K-C. Evaluation Of Fermented Turmeric Milk By Lactic Acid Bacteria To Prevent Uv-Induced Oxidative Stress In Human Fibroblast Cells. Fermentation. 2023;9(3):230.
59. Pianpumepong P, Noomhorm A. Isolation Of Probiotic Bacteria From Turmeric (Curcuma Longa Linn.) And Its Application In Enriched Beverages. International Journal Of Food Science & Technology. 2010;45(12):2456-62.
60. Pianpumepong P, Anal Ak, Doungchawee G, Noomhorm A. Study On Enhanced Absorption Of Phenolic Compounds Of L Actobacillus-Fermented Turmeric (C Urcuma Longa Linn.) Beverages In Rats. International Journal Of Food Science & Technology. 2012;47(11):2380-7.
61. Youn Sj, Han G, Lee Gy, Na Dh, Lee H. Determination Of Optimum Culture Conditions And Screening Of Bacterial Isolates From Kimchi For Fermentation Of Turmeric (Curcuma Longa L.). Food Eng Prog. 2020;24:383-8.
62. Takamiya D, Takahashi H, Nakamura A, Xia Y, Kuda T. Effect Of Lactiplantibacillus Plantarum Fermentation On The In-Vitro Antioxidant And Angiotensin I-Converting Enzyme-Inhibitory Properties Of Turmeric, Coriander, Cumin, And Red Chili Pepper Suspensions. Biocatalysis And Agricultural Biotechnology. 2023;47:102610.
63. Yong C, Yoon Y, Yoo H, Oh S. Effect Of Lactobacillus Fermentation On The Anti-Inflammatory Potential Of Turmeric. 2019.
64. Kang J-K, Kang H-J, Seo J-H, Kim S-O, Choi J-H, Cho D-Y, Et Al. Effects Of Fermented Turmeric (Curcuma Longa) By Bacillus Natto

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Supplementation On Liver Function And Serum Lipid Parameters In Mice. Journal Of The Korean Society Of Food Science And Nutrition. 2009;38(4):430-5.
65. Lim J-S, Garcia Cv, Lee S-P. Optimized Production Of Gaba And Γ-Pga In A Turmeric And Roasted Soybean Mixture Co-Fermented By Bacillus Subtilis And Lactobacillus Plantarum. Food Science And Technology Research. 2016;22(2):209-17.
66. Utama Cs, Sulistiyanto B, Sumarsih S. Chemical And Microbiological Quality Of Phytobiotics From Blends Plant With Different Fermentation Ripening. Online Journal Of Animal And Feed Research. 2021;11(5):171.
67. Jemain S, Jamal P, Jaswir I, Amid A, Raus A. Development Of Media Compositions Of Lactobacillus Plantarum For Improvement Of Scavenging Ability Of Curcuma Caesia. Malaysian Applied Biology. 2019;48(5):121-6.
68. Jemain S, Jamal P, Raus A, Amid A, Jaswir I. Mode Of Action Of Lactobacillus Plantarum On Antioxidant Activity Of Curcuma Caesia For Potential Application In Making Halal Anti Acne Soap And Cream. International Journal Of Allied Health Sciences. 2019;3(3):833-.
69. Wijayanti Ed, Yustin Lj. Aktivitas Antioksidan Sari Rimpang Temu Giring (Curcuma Heyneana) Terfermentasi Lactobacillus Bulgaricus. Journal Cis Trans: Jurnal Kimia Dan Terapannya. 2018;2(1).
70. Primiani Cn, Mumtahanah M, Ardhi W, Editors. Kombucha Fermentation Test Used For Various Types Of Herbal Teas. Journal Of Physics: Conference Series; 2018: Iop Publishing.
71. Putri Da, Komalasari H, Ulpiana M, Salsabilah A, Arianto Ar. Produksi Kombucha Teh Hitam Menggunakan Jenis Pemanis Dan Lama Fermentasi Berbeda. Jurnal Kolaboratif Sains. 2023;6(7):640-56.
72. Gaggìa F, Baffoni L, Galiano M, Nielsen Ds, Jakobsen Rr, Castro-Mejía Jl, Et Al. Kombucha Beverage From Green, Black And Rooibos Teas: A Comparative Study Looking At Microbiology, Chemistry And Antioxidant Activity. Nutrients. 2018;11(1).
73. Zubaidah E, Nisak Y, Wijayanti S, Christianty R, Editors. Characteristic Of Microbiological, Chemical, And Antibacterial Activity Of Turmeric (Curcuma Longa) Kombucha. Iop Conference Series: Earth And Environmental Science; 2021: Iop Publishing.
74. Su J, Tan Q, Wu S, Abbas B, Yang M. Application Of Kombucha Fermentation Broth For Antibacterial, Antioxidant, And Anti-Inflammatory Processes. International Journal Of Molecular Sciences. 2023;24(18):13984.
75. Zubaidah E, Dea Ec, Sujuti H. Physicochemical And Microbiological Characteristics Of Kombucha Based On Various Concentration Of Javanese Turmeric (Curcuma Xanthorrhiza). Biocatalysis And Agricultural Biotechnology. 2022;44:102467.
76. Fauzi M, Harsono Ss, Nurana Y. Karakteristik Minuman Kombucha Temulawak (Curcuma Xanthorrhiza Roxb) Hasil Fermentasi Pada Berbagai Konsentrasi Ekstrak Dan Lama Inkubasi. Jurnal Teknologi Pangan Dan Ilmu Pertanian (Jipang). 2023;5(2):1-10.
77. Zubaidah E, Putri Zm, Sujuti H, Rahayu Ap, Ardyati T. Physicochemical Characteristics Of Kombucha Based On Various Concentration Of White Turmeric (Curcuma Zedoaria (Berg.) Roscoe). Biocatalysis And Agricultural Biotechnology. 2024;56:102998.
78. Hartati Fk, Kurnia D, Nafisah W, Haryanto Ib. Potential Anticancer Agents Of Curcuma Aeruginosa-Based Kombucha: In Vitro And In Silico Study. Food Chemistry Advances. 2024;4:100606.
79. Muflihah Ym, Gollavelli G, Ling Y-C. Correlation Study Of Antioxidant Activity With Phenolic And Flavonoid Compounds In 12 Indonesian Indigenous Herbs. Antioxidants. 2021;10(10):1530.
80. Aminudin Ni, Ridzuan M, Susanti D, Zainal Abidin Za. Biotransformation Of Sesquiterpenoids: A Recent Insight. Journal Of Asian Natural Products Research. 2022;24(2):103-45.
81. Olanike Js, Ikeoluwa Br, Adesola An, Olajumoke La, Adefolake Sm. Evaluation Of Enzymatic Activity And Phenolic Compounds During Microbial Transformation Of Curcuma Longa To Vanillin. 2017.
82. Nguyen Cm, Kim J-S, Nguyen Tn, Kim Sk, Choi Gj, Choi Yh, Et Al. Production Of L-And D-Lactic Acid From Waste Curcuma Longa Biomass Through Simultaneous Saccharification And Cofermentation. Bioresource Technology. 2013;146:35-43.
83. Nguyen Cm, Nguyen Tn, Choi Gj, Choi Yh, Jang Ks, Park Y-J, Et Al. Acid Hydrolysis Of Curcuma Longa Residue For Ethanol And Lactic Acid Fermentation. Bioresource Technology. 2014;151:227-35.
84. Majeed A, Majeed M, Thajuddin N, Arumugam S, Ali F, Beede K, Et Al. Bioconversion Of Curcumin Into Calebin-A By The Endophytic Fungus Ovatospora Brasiliensis Epe-10 Mtcc

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

25236 Associated With Curcuma Caesia. Amb Express. 2019;9:1-13.
85. Yan J, Qi N, Wang S, Gadhave K, Yang S. Characterization Of Secondary Metabolites Of An Endophytic Fungus From Curcuma Wenyujin. Current Microbiology. 2014;69:740-4.
86. Chen I-N, Ng C-C, Wang C-Y, Chang T-L. Lactic Fermentation And Antioxidant Activity Of Zingiberaceae Plants In Taiwan. International Journal Of Food Sciences And Nutrition. 2009;60(Sup2):57-66.
87. Gaur G, Gänzle Mg. Conversion Of (Poly) Phenolic Compounds In Food Fermentations By Lactic Acid Bacteria: Novel Insights Into Metabolic Pathways And Functional Metabolites. Current Research In Food Science. 2023;6:100448.
88. Chen W, Zhu X, Lu Q, Zhang L, Wang X, Liu R. C-Ring Cleavage Metabolites Of Catechin And Epicatechin Enhanced Antioxidant Activities Through Intestinal Microbiota. Food Research International. 2020;135:109271.
89. Rainha J, Rodrigues Jl, Rodrigues Lr. De Novo Biosynthesis Of Curcumin In Saccharomyces Cerevisiae. Acs Synthetic Biology. 2024.
90. Fujiwara M, Marumoto S, Yagi N, Miyazawa M. Biotransformation Of Turmerones By Aspergillus Niger. Journal Of Natural Products. 2011;74(1):86-9.
91. Chen X, Lin M, Hu L, Xu T, Xiong D, Li L, Et Al. Research On The Effect Of Simultaneous And Sequential Fermentation With Saccharomyces Cerevisiae And Lactobacillus Plantarum On Antioxidant Activity And Flavor Of Apple Cider. Fermentation. 2023;9(2):102.
92. Ma Y, Peng S, Mi L, Li M, Jiang Z, Wang J. Correlation Between Fungi And Volatile Compounds During Different Fermentation Modes At The Industrial Scale Of Merlot Wines. Food Research International. 2023;174:113638.
93. Suffys S, Richard G, Burgeon C, Werrie P-Y, Haubruge E, Fauconnier M-L, Et Al. Characterization Of Aroma Active Compound Production During Kombucha Fermentation: Towards The Control Of Sensory Profiles. Foods. 2023;12(8):1657.
94. Benucci I, Cecchi T, Lombardelli C, Maresca D, Mauriello G, Esti M. Novel Microencapsulated Yeast For The Primary Fermentation Of Green Beer: Kinetic Behavior, Volatiles And Sensory Profile. Food Chemistry. 2021;340:127900.
95. Chen W, Xie C, He Q, Sun J, Bai W. Improvement In Color Expression And Antioxidant Activity Of Strawberry Juice Fermented With Lactic Acid Bacteria: A Phenolic-Based Research. Food Chemistry: X. 2023;17:100535.
96. Kim D-H. Effects Of Turmeric (Curcuma Longa L.) On The Physicochemical Characteristics Of Kochujang During Fermentation. Journal Of Applied Biological Chemistry. 2013;56(2):101-7.
97. Caponio Gr, Difonzo G, De Gennaro G, Calasso M, De Angelis M, Pasqualone A. Nutritional Improvement Of Gluten-Free Breadsticks By Olive Cake Addition And Sourdough Fermentation: How Texture, Sensory, And Aromatic Profile Were Affected? Frontiers In Nutrition. 2022;9:830932.
98. Xu H, Chen Y, Ding S, Qin Y, Jiang L, Zhou H, Et Al. Changes In Texture Qualities And Pectin Characteristics Of Fermented Minced Pepper During Natural And Inoculated Fermentation Process. International Journal Of Food Science & Technology. 2021;56(11):6073-85.
99. Ferremi Leali N, Binati Rl, Martelli F, Gatto V, Luzzini G, Salini A, Et Al. Reconstruction Of Simplified Microbial Consortia To Modulate Sensory Quality Of Kombucha Tea. Foods. 2022;11(19):3045.

Copyright © 2026 by the Authors, Published by Department of Nutrition Science, Faculty of Medicine, Universitas Diponegoro, Journal of Nutrition College Volume 15 (4) Oktober 2026, P-ISSN: 2337-6236; E-ISSN: 2622-884X
This is an open access article under the CC BY-SA License(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)