

KAJIAN PENINGKATAN AKTIVITAS ANTIOKSIDAN PADA UMBI-UMBIAN MELALUI FERMENTASI

Study of Increasing Antioxidant Activity in Tubers through Fermentation

Nur Hasanah Jusman¹, Prima Retno Wikandari^{1a}, Ratih Dewi Saputri¹

¹Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang, Kec. Gayungan, Surabaya, Jawa Timur 60231

^aKorespondensi : Prima Retno Wikandari, E-mail: primaretno@unesa.ac.id

Diterima: 11 Mei 2025 Disetujui: 28 Juni 2025

ABSTRACT

Tubers are recognized as local food sources rich in bioactive compounds, particularly phenolics and flavonoids, which function as natural antioxidants. However, in many tubers, phenolic compounds are often bound in glycosidic forms, reducing their antioxidant effectiveness. To enhance their bioactivity, these glycosidic bonds can be hydrolyzed through fermentation, utilizing microorganisms with β -glucosidase activity such as *Lactobacillus plantarum*. This enzyme breaks glycosidic bonds, releasing glucose and aglycones in free forms that are more biologically active and possess greater antioxidant potential. As a result, the bioavailability and absorption of phenolic compounds in the human body are improved, enhancing their ability to neutralize free radicals. Several types of tubers, including Chinese yam, jicama, and cassava, have shown significant increases in total phenolic and flavonoid content after undergoing fermentation. Studies have demonstrated that fermentation not only boosts antioxidant activity but also supports the development of more nutritious and affordable functional food products derived from tubers like flour, probiotic drinks, or healthy snacks. Furthermore, fermented tuber flour can be used as raw material for making bread, cookies, and cakes. This review aims to summarize current findings on how fermentation enhances antioxidant properties in tubers and its potential application in functional food innovation.

Keywords: Antioxidant activity, Fermentation, Functional food, Phenolic compound, Tubers,

ABSTRAK

Umbi-umbian merupakan salah satu sumber pangan lokal yang kaya akan senyawa bioaktif, termasuk senyawa fenolik dan flavonoid, yang berperan penting sebagai antioksidan alami. Namun, adanya kandungan fenolik yang terikat secara glikosida seringkali mengurangi reaktivitas senyawa sebagai antioksidan dalam umbi-umbian sehingga ikatan glikosida perlu dihidrolisis melalui proses fermentasi oleh peran mikroorganisme yang mempunyai aktivitas enzim β -glukosidase misalnya pada bakteri asam laktat *Lactobacillus plantarum*. Enzim β -glukosidase mampu memutus ikatan glikosidik dalam senyawa fenolik kompleks sehingga menghasilkan glukosa dan aglikon dalam bentuk bebas yang lebih aktif secara biologis dan memiliki kapasitas antioksidan yang lebih tinggi. Proses hidrolisis membuat senyawa fenolik yang terkandung pada umbi menjadi lebih mudah diserap tubuh, sehingga meningkatkan efektivitasnya dalam menangkal radikal bebas. Jenis umbi-umbian seperti ubi china, bengkuang, dan singkong menunjukkan peningkatan kandungan total fenolik dan flavonoid setelah difermentasi. Hasil review menunjukkan bahwa fermentasi tidak hanya meningkatkan aktivitas antioksidan, tetapi juga membuka peluang pengembangan produk pangan fungsional berbasis umbi-umbian yang lebih bernilai gizi dan ekonomis. Produk tersebut dapat diolah menjadi tepung, minuman probiotik, atau kudapan sehat. Lebih lanjut tepung umbi fermentasi dapat dijadikan bahan baku pembuatan produk roti, *cookies*, dan kue. Artikel ini bertujuan untuk mereview berbagai penelitian terkait peningkatan aktivitas antioksidan pada berbagai jenis umbi melalui proses fermentasi.

Kata kunci: Aktivitas antioksidan, Fermentasi, Umbi-umbian, Pangan fungsional, Senyawa fenolik

Jusman, N. H., Wikandari, P. R., & Saputri, R. D. Kajian Peningkatan Aktivitas Antioksidan pada Umbi-Umbian Melalui Fermentasi. Jurnal Ilmiah Pangan Halal, 7(2), 219–234.

<https://ojs.unida.ac.id/JIPH/article/view/19321>

PENDAHULUAN

Penyakit degeneratif merupakan tantangan kesehatan global yang terus meningkat, mencakup kondisi seperti diabetes, penyakit jantung, kanker, dan gangguan neurodegeneratif seperti Alzheimer dan Parkinson. Penyakit-penyakit ini umumnya dipicu oleh stres oksidatif akibat akumulasi radikal bebas, yakni molekul tidak stabil yang merusak sel-sel tubuh termasuk DNA, protein, dan lipid (Folta *et al.*, 2023). Pembentukan radikal bebas atau *Reactive Oxygen Species* (ROS) dapat berasal dari metabolisme normal maupun paparan eksternal seperti polusi, radiasi, dan gaya hidup tidak sehat (Jomová *et al.*, 2023).

Stres oksidatif terjadi saat jumlah radikal bebas melebihi kapasitas sistem antioksidan tubuh dalam menetralsirkannya, menyebabkan kerusakan seluler dan memicu jalur apoptosis yang mempercepat penuaan dan perkembangan penyakit (Yiran *et al.*, 2024). Tubuh memiliki sistem antioksidan endogen, namun dalam kondisi beban oksidatif tinggi, dibutuhkan intervensi eksternal melalui konsumsi antioksidan tambahan. Antioksidan bekerja dengan mendonorkan elektron untuk menetralkan radikal bebas, dan kombinasi beberapa jenis antioksidan menunjukkan efek sinergis dalam perlindungan sel (Jomová *et al.*, 2023).

Dalam konteks ini, pangan fungsional yang kaya antioksidan menjadi strategi penting dalam pencegahan penyakit degeneratif. Umbi-umbian lokal Indonesia seperti ubi jalar (*Ipomoea batatas*), talas (*Colocasia esculenta*), dan singkong (*Manihot esculenta*) dikenal sebagai sumber karbohidrat, namun berpotensi dikembangkan sebagai sumber senyawa antioksidan alami karena kandungan fenoliknya (Karimah *et al.*, 2023). Sayangnya, aktivitas antioksidan alami pada umbi-umbian ini masih tergolong lemah. Misalnya, ekstrak umbi bit (*Beta vulgaris L.*) yang diuji menggunakan etanol dan asam tartarat 3% memperoleh nilai IC₅₀ sebesar 729,08 ppm (Lembong & Utama, 2021).

Rendahnya aktivitas ini disebabkan oleh bentuk senyawa fenolik yang terikat sebagai glikosida, yang memiliki kemampuan antioksidan lebih rendah dibanding bentuk aglikonnya. Struktur kimia senyawa seperti flavonoid glikosida diketahui mengurangi reaktivitas terhadap radikal bebas (Sari *et al.*, 2020; Yunita & Sari, 2022). Salah satu solusi potensial adalah proses fermentasi, yang dapat menghidrolisis ikatan glikosida melalui enzim β -glukosidase, sehingga meningkatkan kandungan senyawa aglikon yang lebih aktif sebagai antioksidan (Ningsih *et al.*, 2018).

Penelitian menunjukkan bahwa fermentasi kedelai edamame mampu meningkatkan kadar isoflavon aglikon yang memiliki aktivitas antioksidan lebih tinggi (Ningsih *et al.*, 2018). Hal serupa juga ditemukan oleh Rahayu *et al.* (2022), bahwa senyawa fenolik hasil fermentasi menunjukkan aktivitas antioksidan lebih tinggi dibanding senyawa non-fermentasi. Selanjutnya, produk umbi-umbian fermentasi yang kaya antioksidan memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai pangan fungsional di pasar global. Dengan didukung inovasi teknologi, *branding* berbasis manfaat kesehatan, serta strategi pemasaran yang tepat, produk-produk ini dapat menjadi komoditas unggulan Indonesia yang bersaing di kancah internasional dalam era gaya hidup sehat dan berkelanjutan.

Berdasarkan hal tersebut, artikel ini bertujuan mengkaji potensi umbi-umbian sebagai sumber senyawa fenolik dan flavonoid, peran fermentasi dalam meningkatkan aktivitas antioksidannya, serta peluang pengembangan diversifikasi produk fermentasi umbi-umbian sebagai pangan fungsional antioksidan. Diharapkan kajian ini dapat memberikan kontribusi terhadap strategi pencegahan penyakit degeneratif serta mendukung ketahanan pangan berbasis sumber daya lokal.

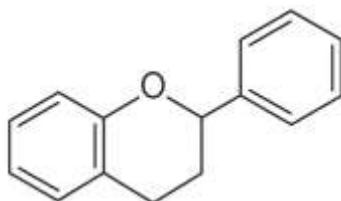
MATERI DAN METODE

Artikel ini menggunakan metode kajian literatur atau tinjauan pustaka kualitatif. Penulis mengumpulkan dan menganalisis berbagai hasil penelitian ilmiah yang relevan dari tahun 2015 hingga 2024, dengan sumber utama berasal dari database seperti Google Scholar, Frontier, ResearchGate, dan situs yang bersifat sumber data terbuka. Kajian ini memfokuskan pada penelitian yang membahas peningkatan aktivitas antioksidan pada umbi-umbian melalui proses fermentasi, khususnya yang melibatkan peran mikroorganisme penghasil enzim β -glukosidase seperti *Lactobacillus plantarum*. Data yang dikaji menggunakan kata kunci mencakup “fermentasi umbi”, “aktivitas antioksidan pada umbi fermentasi”, “kandungan fenolik pada umbi fermentasi”, dan “kandungan flavonoid pada umbi fermentasi”. Metode ini memungkinkan penulis untuk mengidentifikasi pola yang konsisten antar penelitian, membandingkan hasil, serta menyimpulkan efektivitas fermentasi dalam meningkatkan nilai fungsional dan gizi pangan lokal berbasis umbi-umbian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Potensi Umbi-umbian sebagai Sumber Fenolik

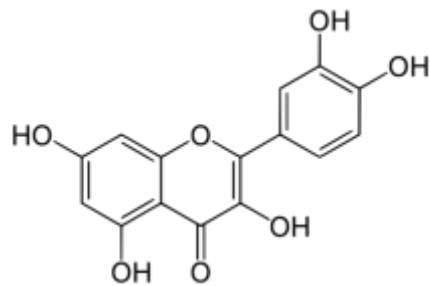
Senyawa fenolik memiliki cincin aromatik dengan satu atau lebih gugus hidroksil dan bertindak sebagai antioksidan. Senyawa ini berasal dari prekursor biosintesis seperti piruvat, asetat, beberapa asam amino, asetil-CoA, dan malonil-CoA mengikuti jalur metabolisme pentosa fosfat, shikimat, dan fenilpropanoid. Pada tumbuhan, fenilalanina dan tirosin merupakan dua asam amino utama yang terlibat dalam sintesis senyawa fenolik (Santos-Sánchez *et al.*, 2019; Albuquerque *et al.*, 2021; Deka *et al.*, 2022).



Gambar 1. Struktur umum pada senyawa fenolik jenis flavonoid

Fenolik dalam tumbuhan diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok utama, antara lain fenol sederhana, asam fenolat, flavonoid, kumarin, stilbena, tanin, lignan, dan lignin. Kandungan senyawa ini dipengaruhi oleh kultivar, lingkungan tumbuh, perlakuan budidaya, pascapanen, serta penyimpanan (Zhang *et al.*, 2018). Dalam umbi-umbian, senyawa fenolik dikenal tidak hanya karena aktivitas antioksidannya, tetapi juga efek antibakteri, antiinflamasi, dan antimutagenik. Sebagai antioksidan, senyawa fenolik bekerja dengan mendonorkan atom hidrogen untuk menetralkan radikal bebas, sehingga melindungi sel dari stres oksidatif (Moongngarm *et al.*, 2021; Molinu *et al.*, 2023; Kiani *et al.*, 2021). Aktivitas ini dipengaruhi oleh jumlah dan posisi gugus hidroksil pada struktur molekulnya. Senyawa seperti asam caffeic dan ferulic terbukti efektif mereduksi ROS (Zhang *et al.*, 2018), sementara flavonoid juga menghambat enzim lipooksigenase dan mencegah pembentukan oksigen singlet (Dhurhanian & Novianto, 2019; Albuquerque *et al.*, 2021). Korelasi positif antara kandungan fenolik total dan aktivitas antioksidan telah didemonstrasikan melalui berbagai metode pengujian (Xu *et al.*, 2018; Sharma & Giri, 2022).

Salah satu senyawa fenolik utama dalam umbi-umbian adalah quercetin, flavonoid yang bersifat antioksidan, anti-inflamasi, dan antikanker. Quercetin ditemukan dalam yacon (*Smallanthus sonchifolius*) dan berkontribusi pada peningkatan kapasitas antioksidan ekstrak umbi (Aghababaei & Hadidi, 2023; Khajehei *et al.*, 2018; Xu *et al.*, 2019).



Gambar 2. Struktur senyawa quercetin

Pada tanaman, senyawa fenolik umumnya ditemukan dalam bentuk glikosida, yaitu senyawa fenolik yang terikat pada gula. Bentuk ini menurunkan bioavailabilitas dan aktivitas antioksidannya. Fermentasi merupakan pendekatan potensial untuk mengatasi hal ini. Proses fermentasi, terutama oleh bakteri seperti *Lactobacillus*, mampu memecah senyawa glikosida menjadi aglikon yang lebih aktif secara biologis, sekaligus meningkatkan nilai gizi dan rasa pangan fermentasi (Mahardani & Yuanita, 2021; Rahmi *et al.*, 2016).

Fermentasi diketahui mampu meningkatkan kandungan dan aktivitas senyawa fenolik dalam berbagai bahan pangan, termasuk umbi-umbian. Studi menunjukkan bahwa fermentasi tidak hanya meningkatkan pelepasan senyawa fenolik dari bentuk terikatnya, tetapi juga meningkatkan stabilitas dan efektivitas antioksidan (Rahmi *et al.*, 2016).

Beberapa jenis umbi yang telah diteliti mengandung senyawa fenolik dalam jumlah tinggi, seperti asam klorogenat dan flavonoid. Kentang (*Solanum tuberosum*) dan artichoke Yerusalem (*Helianthus tuberosus*) adalah contoh yang menunjukkan kandungan tinggi asam klorogenat, yang menyumbang hingga 72–82% dari total fenolik (Showkat *et al.*, 2019). Pada Tabel 1 berikut ditampilkan beberapa jenis umbi beserta kandungan senyawa fenoliknya.

Tabel 1. Kandungan jenis senyawa fenolik pada berbagai jenis umbi

No.	Jenis umbi	Senyawa Fenolik	Referensi
1.	Kentang (<i>Solanum tuberosum</i>)	Asam klorogenat, antosianin, quercetin, kaempferol, betakaroten	Kirui <i>et al.</i> , 2018; Saar-Reismaa <i>et al.</i> , 2020; Valcarcel <i>et al.</i> , 2015
2.	Suweg (<i>Amorphophallus paeoniifolius</i>)	Quercetin, kampferol, vitexin, fisetin, quercetin-o-glukosida, kaempferol-o-glukosida	Iwashina <i>et al.</i> , 2020
3.	Artichoke Yerusalem (<i>Helianthus tuberosus</i>)	Asam klorogenat dan dicaffeoylquinic	Showkat <i>et al.</i> , 2019
4.	Cassava (<i>Manihot esculenta</i>)	Antosianin, hidroksikumarin, flavonoid, betakaroten, tanin, saponin, stilben, lignin, fenilpropanoid, apokarotenoid	Wahengbam <i>et al.</i> , 2023; Laya <i>et al.</i> , 2022; Pérez-Fons <i>et al.</i> , 2023
5.	Yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	Quercetin, asam ferulat, asam klorogenat, asam kafein	Khajehei <i>et al.</i> , 2018; Chessum <i>et al.</i> , 2022

B. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Fermentasi dan Kaitannya dengan Peningkatan Aktivitas Antioksidan

Fermentasi merupakan proses biokimia kompleks yang melibatkan mikroorganisme untuk mengubah bahan organik menjadi senyawa yang lebih bermanfaat. Proses ini tidak hanya digunakan untuk pengawetan dan peningkatan rasa pada makanan, tetapi juga

berperan penting dalam meningkatkan kandungan senyawa bioaktif seperti antioksidan. Melalui fermentasi, senyawa kompleks dapat dipecah menjadi bentuk yang lebih sederhana dan bioaktif, sehingga meningkatkan bioavailabilitas serta kapasitas antioksidan dari bahan pangan yang difermentasi (Azzhar, 2023; Faizah *et al.*, 2020).

Salah satu mekanisme utama dalam peningkatan aktivitas antioksidan selama fermentasi adalah aktivitas enzim β -glukosidase yang dihasilkan oleh mikroorganisme. Enzim ini berfungsi memutus ikatan glikosidik pada senyawa fenolik kompleks, menghasilkan aglikon (bentuk fenolik bebas) dan glukosa. Aglikon memiliki aktivitas biologis yang lebih tinggi dan lebih mudah diserap oleh tubuh, sehingga memberikan efek antioksidan yang lebih kuat (Mahardani & Yuanita, 2021). Penelitian menunjukkan bahwa aktivitas β -glukosidase berkorelasi langsung dengan peningkatan kadar senyawa fenolik dan aktivitas antioksidan. Beberapa mikroorganisme seperti *Lactobacillus plantarum*, *Bacillus subtilis*, dan *Fervidobacterium nodosum* diketahui memiliki kemampuan tinggi dalam memproduksi enzim ini dan sangat potensial digunakan dalam fermentasi pangan (Aji & Wikandari, 2024).

Keberhasilan fermentasi dipengaruhi oleh sejumlah faktor utama, seperti jenis mikroorganisme, substrat, pH, suhu, kadar oksigen, durasi fermentasi, dan komposisi nutrisi. Mikroorganisme yang digunakan, seperti bakteri asam laktat (BAL), tidak hanya menentukan arah fermentasi, tetapi juga memengaruhi karakteristik sensorik, keamanan, dan aktivitas biologis produk akhir (Liu *et al.*, 2022). Konsentrasi BAL yang cukup tinggi penting untuk mendominasi mikroba liar dan menciptakan lingkungan fermentasi yang diinginkan (Li *et al.*, 2022; Ferrero *et al.*, 2021).

Substrat atau bahan baku fermentasi turut menentukan hasil akhir, karena komposisi karbohidrat, protein, dan senyawa fenolik di dalamnya memengaruhi aktivitas mikroba dan metabolit yang dihasilkan. Substrat dengan kandungan gula tinggi dapat mempercepat penurunan pH dan meningkatkan produksi asam organik, menciptakan lingkungan ideal bagi aktivitas enzim dan mikroorganisme (Bai *et al.*, 2022). pH berperan penting dalam menentukan efisiensi fermentasi. Sebagian besar BAL dan enzim β -glukosidase bekerja optimal dalam kondisi asam ringan, sekitar pH 4–6. Penurunan pH selama fermentasi menciptakan kondisi yang mendukung pertumbuhan mikroba menguntungkan sekaligus menghambat mikroba patogen (Kusuma *et al.*, 2023). Suhu juga merupakan faktor penting yang memengaruhi laju fermentasi dan aktivitas enzimatik. Suhu yang terlalu rendah dapat memperlambat pertumbuhan mikroorganisme, sementara suhu terlalu tinggi dapat menghasilkan senyawa samping yang tidak diinginkan dan bahkan merusak senyawa bioaktif (Peñuela-Martínez *et al.*, 2023). Oleh karena itu, pengendalian suhu yang tepat sangat penting untuk menjaga kualitas produk. Selain itu, kadar oksigen perlu dikontrol sesuai jenis fermentasinya. Fermentasi alkohol, misalnya, membutuhkan kondisi anaerobik agar ragi dapat mengubah gula menjadi etanol dan CO₂. Paparan oksigen berlebih dapat mengarahkan proses ke respirasi aerobik, yang tidak mendukung produksi etanol dan dapat mengubah profil rasa (Liang *et al.*, 2023). Durasi fermentasi juga berpengaruh terhadap peningkatan senyawa bioaktif. Fermentasi yang terlalu singkat dapat menghasilkan senyawa yang belum optimal, sementara fermentasi berlebihan dapat menurunkan kualitas sensorik atau stabilitas produk (Zhao *et al.*, 2021). Oleh karena itu, waktu fermentasi harus disesuaikan untuk mencapai puncak aktivitas antioksidan. Komposisi nutrisi, terutama ketersediaan nitrogen dan mikronutrien, sangat memengaruhi aktivitas metabolisme mikroba selama fermentasi. Sumber nitrogen yang cukup diketahui mampu meningkatkan produksi senyawa aroma dan senyawa bioaktif lainnya, seperti flavonoid dan fenol bebas (Ferrero *et al.*, 2021).

Berbagai studi aplikatif menunjukkan bahwa fermentasi secara nyata dapat meningkatkan kandungan senyawa fenolik spesifik, seperti asam protocatechuic, asam ferulat, flavonoid, dan antosianin—semuanya dikenal sebagai antioksidan kuat (Anjani, 2023; Kunnaryo & Wikandari, 2021). Contohnya, fermentasi bekatul dengan *Aspergillus oryzae*

terbukti meningkatkan kadar γ -oryzanol dan total fenol (Faizah *et al.*, 2020). Fermentasi tempe selama 72 jam menggunakan *Rhizopus oligosporus* dan *Bacillus subtilis* dilaporkan meningkatkan aktivitas antioksidan hingga 97% (Ningsih *et al.*, 2018). Sementara itu, produk fermentasi minuman seperti kombucha menunjukkan kandungan antioksidan yang tinggi karena kehadiran senyawa bioaktif seperti vitamin B, vitamin C, dan asam glukuronat (Yasmina *et al.*, 2016; Rabima, 2022).

C. Potensi Fermentasi Umbi-umbian dalam Meningkatkan Antioksidan

Fermentasi umbi-umbian merupakan proses biologis kompleks yang melibatkan aktivitas mikroorganisme dalam mengubah komposisi kimia bahan pangan, khususnya dalam meningkatkan nilai gizi dan bioaktivitasnya. Proses ini diawali dengan persiapan bahan baku, seperti ubi jalar, talas, atau gadung, yang dibersihkan, dipotong kecil, dan direbus atau dikukus. Perlakuan ini bertujuan untuk menurunkan kadar senyawa antinutrisi dan membuka akses mikroorganisme terhadap pati (Erawati, 2021). Setelah itu, bahan dicampur dengan inokulum mikroorganisme seperti bakteri asam laktat (BAL), ragi, atau jamur, lalu difermentasi dalam kondisi anaerobik untuk memecah karbohidrat menjadi asam organik, gas, dan alkohol.

Fermentasi tidak hanya meningkatkan pencernaan dan kandungan gizi bahan pangan, tetapi juga berdampak positif terhadap aktivitas antioksidan. Antioksidan merupakan senyawa penting yang melindungi tubuh dari kerusakan akibat radikal bebas, yaitu molekul reaktif yang terbentuk dari proses metabolisme, polusi, maupun radiasi (Popala *et al.*, 2022). Dalam sistem tubuh, antioksidan dibedakan menjadi dua kategori: enzimatis (misalnya superoxide dismutase dan katalase) dan non-enzimatis (seperti vitamin C, E, dan senyawa fenolik) (Kusuma, 2023).

Senyawa fenolik memiliki peranan penting sebagai antioksidan alami. Selama fermentasi, mikroorganisme dapat menghidrolisis senyawa kompleks menjadi bentuk fenolik yang lebih sederhana dan lebih aktif secara biologis. Penelitian oleh Aji dan Wikandari (2024) menunjukkan bahwa fermentasi meningkatkan ketersediaan senyawa fenolik dan flavonoid dalam bahan pangan. Beberapa hasil penelitian tentang peran fermentasi umbi dalam meningkatkan aktivitas antioksidan tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil fermentasi umbi-umbian dengan peningkatan aktivitas antioksidan

No	Jenis Umbi	Jenis Mikroba	Durasi Fermentasi	Hasil	Sumber
1.	Singkong (<i>Manihot esculenta</i>)	<i>Rhizopus oligosporus</i>	72 jam	Studi ini menemukan bahwa aktivitas antioksidan (DPPH) meningkat dari 17,81±1,38 dan 44,40±1,27% menjadi 26,88±0,46% dan 56,91±1,72% pada singkong dikupas (pH 4) dan tidak dikupas difermentasi (pH 6). Kandungan fenolik total meningkat dari 20,4 ± 0,91 dan 20,6 ± 0,45 (µg/ml) pada singkong kupas dan singkong mentah menjadi 72,5 ± 3,03 µg/ml pada singkong kupas fermentasi pada pH 7 dan 47,71 ± 4,21 µg/ml pada singkong mentah fermentasi	Egoamaka <i>et al.</i> , 2022

				pada pH 5. Konsentrasi flavonoid total meningkat dari $8,61 \pm 0,25$ dan $9,59 \pm 1,12$ $\mu\text{g/ml}$ pada singkong kupas dan singkong mentah menjadi $24,4 \pm 0,46$ $\mu\text{g/ml}$ pada singkong kupas fermentasi pada pH 6 dan 7. $25,59 \pm 1,02$ $\mu\text{g/ml}$ dalam singkong fermentasi.	
2.	Bengkuang (<i>Pachyrhizus erosus</i>)	<i>Lactobacillus plantarum</i> B1765	12 - 36 jam	Fermentasi menghasilkan peningkatan pertumbuhan bakteri asam laktat menjadi 10^8 CFU/mL, meningkatkan kandungan fenolik total (TPC) menjadi 40.26 mg GAE/g pada 36 jam fermentasi dan secara signifikan meningkatkan aktivitas antioksidan (DPPH) ekstrak bengkuang dengan nilai IC_{50} 83.88 $\mu\text{g/mL}$.	Aji dan Wikandari, 2024
3	Wortel	<i>Lactobacillus plantarum</i> WZ-01	48 jam	Fermentasi meningkatkan aktivitas antioksidan jus wortel dimana populasi bakteri meningkat dari $5,5 \times 10^4$ menjadi $5,3 \times 10^8$ CFU mL^{-1} dalam 48 jam, mengubah warna dan kandungan karotenoidnya, dan mengurangi rasa terpen dengan menyebabkan hilangnya β -pinen dan β -phellandren.	Zhang <i>et al.</i> , 2019
4	Ubi china (<i>Dioscorea opposita</i> Thunb.)	<i>Saccharomyces boulardii</i>	36 jam	Terjadi peningkatan aktivitas antioksidan in vitro, dikaitkan dengan penurunan berat molekul dan kondisi fermentasi yang dioptimalkan. Nilai IC_{50} UCYP (ubi china tanpa fermentasi) dan FCYP (ubi china fermentasi) dalam uji DPPH masing-masing $2,499 \pm 0,069$ mg/mL dan $1,764 \pm 0,033$ mg/mL, sedangkan aktivitas penangkapan ABTS FCYP dengan $\text{IC}_{50} = 18,181 \pm 0,633$ mg/mL sedikit meningkat dibandingkan dengan FCYP	Shao <i>et al.</i> , 2022

					(IC ₅₀ = 18,510 ± 1,069 mg/mL). Selain itu, TRP UCYP dan FCYP dinyatakan sebesar 3,524 ± 0,210 mg AAE/g dan 4,850 ± 0,183 mg AAE/g.	
5	Susu ubi buncis (Chickpea Chinese Yam)	<i>Lactocaseibacillus rhamnosus</i>	24 jam	Secara signifikan meningkatkan sifat fisikokimia dan aktivitas antioksidan dalam uji DPPH dan ABTS, serta kapasitas antioksidan FRAP. Peningkatan aktivitas antioksidan DPPH mencapai 73,6%. Laju penangkalan radikal ABTS tertinggi setelah fermentasi 12 jam, mencapai 73,89% Sampel CPBY (susu ubi buncis) dengan hidrolisis enzimatik memiliki kapasitas antioksidan FRAP tertinggi setelah fermentasi 24 jam, mencapai 398,86 mmol Trolox/mL.	Zhang <i>et al.</i> , 2021	
6	Ubi Ungu (<i>Ipomoea batatas</i> L.)	<i>Lactobacillus brevis</i>	48 jam	Setelah fermentasi, Asam aminobutirat meningkat lebih dari 8,6 kali lipat melalui fermentasi di semua sampel. Total polifenol Ubi ungu jenis Shinyulmi meningkat menjadi 361,38 µg GAE/mL. Kandungan flavonoid setelah fermentasi tidak meningkat signifikan dari sebelum fermentasi 74,56 µg QE/mL. Dalam penelitian ini, ubi jalar ungu memiliki kandungan polifenol tertinggi dan aktivitas penangkal radikal DPPH dan ABTS terbaik. Setelah fermentasi, aktivitas varietas ubi jalar menunjukkan sedikit peningkatan sebesar 13,52%	Ha <i>et al.</i> , 2019	

Salah satu studi oleh Egoamaka *et al.* (2022) menunjukkan bahwa fermentasi singkong menggunakan *Rhizopus oligosporus* secara signifikan meningkatkan kandungan total fenolik dan flavonoid, baik pada singkong kupas maupun tidak kupas. Proses ini meningkatkan aktivitas antioksidan dalam berbagai kondisi pH, yang menunjukkan ketahanan dan efektivitas fermentasi. Penelitian lain oleh Aji & Wikandari (2024) pada fermentasi sari bengkuang dengan *Lactobacillus plantarum* B1765 menunjukkan peningkatan kandungan

fenolik dan penurunan pH, yang mendukung pelepasan fenol bebas melalui aktivitas enzim β -glukosidase. Hal ini menghasilkan minuman fermentasi dengan aktivitas antioksidan tinggi. Efek serupa juga terlihat pada fermentasi jus wortel menggunakan *L. plantarum* WZ-01 yang meningkatkan populasi bakteri dari $5,5 \times 10^4$ menjadi $5,3 \times 10^8$ CFU/mL dalam 48 jam, meningkatkan asam organik dan kualitas sensorik, serta memperkuat aktivitas antioksidan (Zhang *et al.*, 2019).

Fermentasi ubi China oleh *Saccharomyces boulardii* juga menghasilkan peningkatan kandungan total polifenol dan flavonoid secara signifikan dibandingkan dengan ubi yang tidak difermentasi. Hal ini menunjukkan potensi besar fermentasi dalam meningkatkan fungsi antioksidan dari umbi-umbian tersebut (Li *et al.*, 2023). Pada umbi lokal lainnya seperti suweg (*Amorphophallus paeoniifolius*), aktivitas antioksidan ekstrak etanolnya diketahui cukup tinggi dengan nilai IC_{50} sebesar 81,34 ppm menggunakan metode DPPH (Herlina & Muhtadi, 2021). Sementara itu, penelitian Dewi (2016) mengenai jus umbi sarang semut menunjukkan bahwa aktivitas antioksidannya tetap stabil meskipun melalui proses fermentasi dan perlakuan suhu tinggi, dengan kandungan fenolik tertinggi ditemukan pada suhu 100 °C. Namun, penelitian Ha *et al.* menemukan bahwa fermentasi beberapa varietas ubi ungu di Korea tidak meningkatkan kandungan flavonoid secara signifikan.

Secara keseluruhan, jenis mikroba dan kondisi fermentasi memberikan pengaruh signifikan terhadap efektivitas peningkatan senyawa bioaktif dan kapasitas antioksidan. Mikroba seperti *Lactobacillus plantarum*, *L. rhamnosus*, dan *Rhizopus oligosporus* terbukti sangat efektif dalam mendegradasi senyawa kompleks dan melepaskan senyawa fenolik serta flavonoid yang aktif secara biologis. Aktivitas antioksidan yang meningkat melalui fermentasi ini penting dalam mendukung peran umbi-umbian sebagai pangan fungsional yang dapat melindungi tubuh dari stres oksidatif dan risiko penyakit degeneratif.

Namun, meskipun berbagai penelitian menunjukkan hasil positif, fermentasi umbi-umbian belum banyak diadopsi secara luas di Indonesia. Penelitian yang ada masih terbatas dan kurang berfokus pada peningkatan aktivitas antioksidan melalui fermentasi. Oleh karena itu, riset lanjutan perlu dilakukan untuk mengeksplorasi berbagai jenis umbi lokal dan mikroorganisme potensial dalam proses fermentasi. Pengembangan teknologi fermentasi yang aplikatif juga dibutuhkan untuk meningkatkan nilai tambah dan daya saing umbi-umbian sebagai pangan fungsional. Dengan optimalisasi fermentasi sebagai teknologi pengolahan, umbi-umbian berpotensi menjadi sumber pangan fungsional yang tidak hanya bergizi tinggi, tetapi juga mendukung kesehatan masyarakat melalui peningkatan aktivitas antioksidan alami.

D. Pengembangan diversifikasi produk umbi fermentasi sebagai sumber antioksidan

Pengembangan diversifikasi produk umbi fermentasi sebagai sumber antioksidan merupakan langkah strategis untuk meningkatkan nilai gizi dan ekonomi dari umbi-umbian. Umbi-umbian, seperti umbi gadung (*Dioscorea hispida*) dan umbi ganyong (*Canna discolor*), memiliki potensi besar sebagai sumber antioksidan. tetapi sering kali terhambat oleh senyawa toksik yang ada di dalamnya. Oleh karena itu, proses fermentasi dapat digunakan untuk mengurangi toksisitas dan meningkatkan kandungan senyawa bioaktif, termasuk antioksidan (Widyanti & Seveline, 2022).

Fermentasi umbi-umbian dengan menggunakan kultur bakteri asam laktat, seperti *Lactobacillus plantarum*, telah terbukti efektif dalam meningkatkan aktivitas antioksidan. Proses ini tidak hanya mengurangi senyawa berbahaya tetapi juga meningkatkan ketersediaan senyawa fenolik dan flavonoid yang berfungsi sebagai antioksidan. Penelitian menunjukkan bahwa umbi yang difermentasi memiliki kadar senyawa fenolik yang lebih tinggi dibandingkan dengan umbi yang tidak difermentasi, sehingga meningkatkan potensi kesehatan dari produk tersebut (Erawati, 2021).

Diversifikasi produk umbi fermentasi dapat dilakukan dengan menciptakan berbagai olahan, seperti tepung umbi fermentasi, minuman probiotik, atau kudapan sehat. Misalnya, tepung umbi gadung yang difermentasi dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produk roti atau kue yang lebih sehat dan bergizi. Penelitian menunjukkan bahwa substitusi tepung umbi gadung dalam produk roti dapat diterima dengan baik oleh konsumen dan meningkatkan nilai gizi produk tersebut (Yanti *et al.*, 2021). Beberapa deversifikasi produk fermentasi umbi-umbian tercantum pada Tabel 3.

Tabel 3. Diversifikasi produk fermentasi umbi-umbian

No.	Jenis Umbi	Produk akhir	Referensi
1.	Yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	Gelato Pickle	Hidaya & Wikandari, 2020 Puspitasari & Wikandari, 2016
2.	Bengkuang (<i>Pachyrhizus erosus</i>)	Minuman	Wijayanti & Wikandari, 2023; Nazarend & Wikandari, 2023; Aji & Wikandari, 2024; Salsabila & Wikandari, 2024
3.	Ubi ungu (<i>Ipomea batatas</i>)	Es krim Jus	Andriani & Wikandari, 2022 Fitria & Wikandari, 2024
4.	Ubi gembili (<i>Dioscorea oscorenta L.</i>)	Tepung	Natasya & Wikandari, 2022
5.	Suweg (<i>Amorphophallus paeoniifolius</i>)	Tepung	Herlina & Muhtadi, 2021

Selain itu, pengembangan produk olahan umbi fermentasi juga dapat meningkatkan daya saing di pasar. Dengan memanfaatkan media sosial dan strategi pemasaran yang tepat, produk-produk ini dapat dijangkau oleh konsumen yang lebih luas, sehingga meningkatkan pendapatan bagi pelaku usaha kecil dan menengah (UKM) (Adhitya *et al.*, 2022). Diversifikasi produk juga dapat membantu UKM untuk beradaptasi dengan perubahan permintaan pasar, terutama di era pasca-pandemi yang menuntut inovasi dalam produk dan pemasaran (Syafi'i, 2023). Dalam konteks ini, pelatihan dan pendampingan bagi pelaku UKM dalam proses diversifikasi produk umbi fermentasi sangat penting. Dengan memberikan pengetahuan tentang teknik fermentasi yang tepat dan cara mengolah umbi menjadi produk yang lebih bernilai, diharapkan dapat meningkatkan produktivitas dan pendapatan masyarakat (Husnaini *et al.*, 2023). Diharapkan pengembangan diversifikasi produk umbi fermentasi sebagai sumber antioksidan tidak hanya memberikan manfaat kesehatan bagi konsumen, tetapi juga meningkatkan nilai ekonomi bagi produsen. Dengan pendekatan yang tepat, produk-produk ini dapat menjadi pilihan yang menarik di pasar makanan sehat dan fungsional (Santi, 2024; Adhitya *et al.*, 2022).

KESIMPULAN

Umbi-umbian merupakan sumber pangan lokal yang potensial karena kaya akan senyawa bioaktif seperti fenolik dan flavonoid yang memiliki aktivitas antioksidan. Namun, kandungan dan efektivitas senyawa antioksidan ini dapat ditingkatkan secara signifikan melalui proses fermentasi dengan mengubah senyawa fenolik glikosida menjadi bentuk bebasnya sehingga dapat meningkatkan bioavailabilitasnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fermentasi meningkatkan total fenolik, total flavonoid, dan kapasitas antioksidan pada berbagai jenis umbi-umbian, seperti ubi jalar, bengkuang, ubi china, dan singkong. Fermentasi

tidak hanya meningkatkan kandungan antioksidan, tetapi juga memperluas peluang pengembangan produk pangan fungsional berbasis umbi-umbian yang lebih bernilai gizi dan ekonomis. Namun, efektivitas fermentasi dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis mikroorganisme, waktu fermentasi, kondisi lingkungan, dan metode pengolahan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan proses fermentasi guna memaksimalkan potensi antioksidan pada umbi-umbian. Dengan demikian, fermentasi merupakan salah satu teknik yang menjanjikan untuk meningkatkan nilai tambah umbi-umbian sebagai sumber antioksidan alami yang bermanfaat bagi kesehatan dan mendukung inovasi pangan fungsional berbasis lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhitya, B., Zumaeroh, Z., & Winarto, H. (2022). Diversifikasi produk dan ekspansi pemasaran melalui sosial media. *WIKUACITYA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 75–79. <https://doi.org/10.56681/wikuacitya.v1i1.19>
- Aghababaei, F., & Hadidi, M. (2023). Recent Advances in Potential Health Benefits of Quercetin. *Pharmaceuticals*, 16(7), 1020. <https://doi.org/10.3390/ph16071020>
- Aji, A. P., & Wikandari, P. R. (2024). Antioxidant Potential of Jicama (*Pachyrhizus erosus*) Extract Fermented by *Lactobacillus plantarum* B1765. *Jurnal Pijar Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 19(1), 162–167. <https://doi.org/10.29303/jpm.v19i1.6218>
- Albuquerque, B. R., Heleno, S. A., Oliveira, M. B. P. P., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2021). Phenolic compounds: current industrial applications, limitations and future challenges. *Food & Function*, 12(1), 14–29. <https://doi.org/10.1039/d0fo02324h>
- Andriani, R. B., & Wikandari, P. R. (2022). The effect of fermentation time on the product quality of purple sweet potato (*Ipomea batatas*) probiotic ice cream with starter culture of *Lactobacillus plantarum* B1765. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 15(1), 001–009. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2022.15.1.0629>
- Anjani, N. N., & Laksmiani, L. (2023). Potensi Isokuersitrin Sebagai Agen Antihiperpigmentasi Secara In Silico Dengan Metode Molecular Docking. *Prosiding Workshop Dan Seminar Nasional Farmasi*, 1, 171–181. <https://doi.org/10.24843/wsnf.2022.v01.i01.p14>
- Azzhar, H. A., Mardiyono, M., & Ansory, H. M. (2023). Inovasi Fermentasi: Meningkatkan Kandungan Antioksidan pada Bekatul Menggunakan *Aspergillus Oryzae*. *Jurnal Farmasi Indonesia*, 20(2), 103–111. <https://doi.org/10.31001/jfi.v20i2.2234>
- Bai, C., Pan, G., Leng, R., Ni, W., Yang, J., Sun, J., ... & Xue, Y. (2022). Effect of ensiling density and storage temperature on fermentation quality, bacterial community, and nitrate concentration of sorghum-sudangrass silage. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.828320>
- Chessum, K., Chen, T., Kam, R., & Yan, M. (2022). A Comprehensive Chemical and Nutritional Analysis of New Zealand Yacon Concentrate. *Foods*, 12(1), 74. <https://doi.org/10.3390/foods12010074>
- Deka, H., Choudhury, A., & Dey, B. K. (2022). An Overview on Plant Derived Phenolic Compounds and Their Role in Treatment and Management of Diabetes. *Journal of Pharmacopuncture*, 25(3), 199–208. <https://doi.org/10.3831/kpi.2022.25.3.199>
- Dewi, Y. S. K., & Dominika. (2016). Aktivitas Antioksidasi Ekstrak Fenol Umbi Sarang Semut (*HYDNOPHYTUM* SP.) Pada berbagai Suhu Penyeduhan. *Jurnal Agritech*, 28(2). <https://doi.org/10.22146/agritech.9867>

- Dhurhania, C. E., & Novianto, A. (2019). Uji Kandungan Fenolik Total dan Pengaruhnya terhadap Aktivitas Antioksidan dari Berbagai Bentuk Sediaan Sarang Semut (*Myrmecodia pendens*). *Jurnal Farmasi Dan Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 5(2), 62. <https://doi.org/10.20473/jfiki.v5i22018.62-68>
- Egoamaka, O. E., Theresa, E., Akpovwehwee, A. A., Eferhire, A., Alex-Ifo, A., & Nyerhovwo, J. T. (2022). Antioxidants and antigenotoxic properties of *Rhizopus oligosporus* fermented cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *African Journal of Biochemistry Research*, 16(3), 39–46. <https://doi.org/10.5897/ajbr2022.1153>
- Erawati, E., & Sari, C. A. (2021). Pembuatan bioetanol dari umbi ganyong (*canna discolor*) dengan metode solid state fermentation (SSF). *Jurnal Teknik Kimia Universitas Sriwijaya*, 27(2), 61–67. <https://doi.org/10.36706/jtk.v27i2.809>
- Fadhlorrohman, N. I., Wulandari, N. C., & Muhammad, N. (2023). Diversifikasi Produk Susu Fermentasi dengan Pemanfaatan Kayu Manis (*Cinnamomum burmannii*) sebagai Inovasi Pangan Fungsional: Review. *Prosiding Seminar Nasional Pembangunan Dan Pendidikan Vokasi Pertanian*, 4(1), 363–374. <https://doi.org/10.47687/snppvp.v4i1.659>
- Faizah, Kusnandar, F., & Nurjanah, S. (2020). Senyawa fenolik, oryzanol dan aktivitas antioksidan bekatul yang diferemntasi dengan dengan *Rhizopus oryzae*. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 31(1), 86–94. <https://doi.org/10.6066/jtip.2020.31.1.86>
- Ferrero, F., Tabacco, E., Piano, S., Casale, M., & Borreani, G. (2021). Temperature during conservation in laboratory silos affects fermentation profile and aerobic stability of corn silage treated with *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus hilgardii*, and their combination. *Journal of Dairy Science*, 104(2), 1696–1713. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18733>
- Fitria, M. N., & Wikandari, P. R. (2024). Study on Antioxidant Activity of Purple Sweet Potato (*Ipomoea Batatas*) Juice Fermented with *Lactobacillus plantarum* B1765. *Jurnal Pijar Mipa*, 19(5), 846–853. <https://doi.org/10.29303/jpm.v19i5.7286>
- Fořta, J., Rzepka, Z., & Wrzeřniok, D. M. (2023). Participation of oxidative stress in selected diseases in the light of the latest research. *Farmacja Polska*, 79(2), 83–89. <https://doi.org/10.32383/farmpol/167071>
- Ha, G. J., Kim, H. Y., Ha, I. J., Cho, S. R., Moon, J. Y., & Seo, G. I. (2019). Quality and Antioxidant Properties of Fermented Sweet Potato Using Lactic Acid Bacteria. *The Korean Journal of Food And Nutrition*, 32(5), 494–503. <https://doi.org/10.9799/KSFAN.2019.32.5.494>
- Herlina, L., & Muhtadi. (2021). Penetapan kadar glukomannan dan asam oksalat dalam ekstrak etanol umbi suweg (*Amorphophallus paeoniifolius*) beserta uji aktivitas antioksidan dan antibakterinya. *Proceeding of the URECOL*, 604–621.
- Hidaya, I., & Wikandari, P. R. (2020). Pengembangan gelato sinbiotik berbahan dasar soygurt dan umbi Gembili (*Dioscorea esculenta* L.). *Unesa Journal of Chemistry*, 9(1), 17–22.
- Husnaini, W., Cahyaningtyas, S. R., Isnaini, Z., Rakhmawati, I., & Agustiani, E. (2023). Pendampingan Diversifikasi Camilan Tradisional Dalam Meningkatkan Pendapatan Rumah Tangga. *Jurnal Abdimas Independen*, 4(1), 32–36. <https://doi.org/10.29303/independen.v4i1.547>
- Iwashina, T., Destri, Rahayu, S., Tsutsumi, C., Yuzammi, Mizuno, T., & Widyatmoko, D. (2020). Flavonoids and xanthones from the leaves of *Amorphophallus titanum* (Araceae).

- Biochemical Systematics and Ecology*, 90(3), 104036.
<https://doi.org/10.1016/j.bse.2020.104036>
- Jomová, K., Raptova, R., Alomar, S. Y., Alwasel, S., Nepovimova, E., Kuca, K., & Valko, M. (2023). Reactive oxygen species, toxicity, oxidative stress, and antioxidants: chronic diseases and aging. *Archives of Toxicology*, 97(10). <https://doi.org/10.1007/s00204-023-03562-9>
- Karimah, N. I., Sukandar, D., & Heryatno, Y. (2023). Konsumsi Umbi-umbian di Indonesia. *Jurnal Ilmu Gizi Dan Dietetik*, 2(1), 45–52. <https://doi.org/10.25182/jigd.2023.2.1.45-52>
- Khajehei, F., Hartung, J., & Graeff-Hönniger, S. (2018). Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Yacon (*Smallanthus Sonchifolius* Poepp. and Endl.) Chips: Effect of Cultivar, Pre-Treatment and Drying. *Agriculture*, 8(12), 183. <https://doi.org/10.3390/agriculture8120183>
- Kiani, R., Arzani, A., & Maibody, S. A. M. M. (2021). Polyphenols, Flavonoids, and Antioxidant Activity Involved in Salt Tolerance in Wheat, *Aegilops cylindrica* and Their Amphidiploids. *Frontiers in Plant Science*, 12(1). <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.646221>
- Kirui, G. K., Dossaji, S. F., & Amugune, N. O. (2018). Changes in Phytochemical Content During Different Growth Stages in Tubers of Five Varieties of Potato (*Solanum Tuberosum* L.). *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 6(1), 12–22. <https://doi.org/10.12944/crnfsj.6.1.02>
- Kunnaryo, H. J. B., & Wikandari, P. R. (2021). Antosianin dalam produksi fermentasi dan perannya sebagai antioksidan. *Unesa Journal of Chemistry*, 10(1), 24–36.
- Kusuma, I. A., Nugrawati, L., Usman, R., & Daruki, R. (2023). Total Fenolik Ekstrak Kasar Nanas Hasil Fermentasi Sebagai Kandidat Kandidat Antioksidan. *Journal of Scientech Research and Development*, 5(2), 456–460. <https://doi.org/10.56670/jsrd.v5i2.222>
- Laya, A., Koubala, B. B., & Negi, P. S. (2022). Antidiabetic (α -amylase and α -glucosidase) and anti-obesity (lipase) inhibitory activities of edible cassava (*Manihot esculenta* Crantz) as measured by in vitro gastrointestinal digestion: effects of phenolics and harvested time. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 492–508. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2050256>
- Lembong, E., & Lara Utama, G. (2021). Potensi pewarna dari bit merah (*Beta vulgaris* L.) sebagai antioksidan. *Jurnal Agercolere*, 3(1), 7–13. <https://doi.org/10.37195/jac.v3i1.122>
- Li, L., Zhao, H., Gou, W., Lu, G., Xiao, B., Chen, C., ... & Li, P. (2022). Effects of lactic acid bacteria inoculants and stage-increased storage temperature on silage fermentation of oat on the qinghai-tibet plateau. *Fermentation*, 8(11), 631. <https://doi.org/10.3390/fermentation8110631>
- Li, X., Shao, Y., Hao, L., Kang, Q., Wang, X., Zhu, J., Zhao, C., Shi, Y., Lu, J., & Yi, J. (2023). The Metabolic Profiling of Chinese Yam Fermented by *Saccharomyces boulardii* and the Biological Activities of its Ethanol Extract in Vitro. *Food Sciences and Human Wellness*. <https://doi.org/10.26599/fshw.2022.9250219>
- Liang, C., Liu, L., Liu, J., Aihaiti, A., Tang, X., & Liu, Y. (2023). New insights on low-temperature fermentation for food. *Fermentation*, 9(5), 477. <https://doi.org/10.3390/fermentation9050477>

- Liu, Z., Cheng, H., Li, D., Zhu, W., Huang, T., Xiao, M., ... & Xiong, T. (2022). Optimizing the fermentation conditions of fermented goji using sensory analysis and the biomass of *Lactiplantibacillus plantarum* ncu137. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(10). <https://doi.org/10.1111/jfpp.16828>
- Mahardani, O. T., & Yuanita, L. (2021). Efek metode pengolahan dan penyimpanan terhadap kadar senyawa fenolik dan aktivitas antioksidan. *Unesa Journal of Chemistry*, 10(1), 64–78. <https://doi.org/10.26740/ujc.v10n1.p64-78>
- Molinu, M., Sulas, L., Campesi, G., Sanna, F., Re, G., & Piluzza, G. (2023). Subterranean Clover and Sulla as Valuable and Complementary Sources of Bioactive Compounds for Rainfed Mediterranean Farming Systems. *ProQuest*, 12(2), 417. <https://doi.org/10.3390/plants12020417>
- Moongngarm, A., Chottanom, P., & Nontasan, S. (2021). Melatonin, its precursors, total phenolic content and antioxidant activity in legumes germinated under normal and salines conditions. *Journal of Sustainability Science and Management*, 16(2), 53–66. <https://doi.org/10.46754/jssm.2021.02.007>
- Natasya, N. W. A., & Wikandari, P. R. (2022). Pengaruh Lama Fermentasi Umbi Gembili (*Dioscorea esculenta* L.) dengan Kultur Starter *Lactobacillus plantarum* B1765 Terhadap Produksi Fruktooligosakarida. *UNESA Journal of Chemistry*, 11(2), 88–96. <https://doi.org/10.26740/ujc.v11n2.p88-96>
- Nazarend, A., & Wikandari, P. R. (2023). Effect of fermented jicama extract with *Lactobacillus plantarum* B1765 as the starter culture on the product quality and total phenolic. *Journal of Tropical AgriFood*, 5(2), 96–96. <https://doi.org/10.35941/jtaf.5.2.2023.12465.96-104>
- Ningsih, T. E., Siswanto, S., & Winarsa, R. (2018). Aktivitas Antioksidan Kedelai Edamame Hasil Fermentasi Kultur Campuran oleh *Rhizopus oligosporus* dan *Bacillus subtilis*. *Berkala Sainstek*, 6(1), 17. <https://doi.org/10.19184/bst.v6i1.7556>
- Peñuela-Martínez, A., García-Duque, J., & Sanz-Urbe, J. (2023). Characterization of fermentations with controlled temperature with three varieties of coffee (*coffea arabica* l.). *Fermentation*, 9(11), 976. <https://doi.org/10.3390/fermentation9110976>
- Pérez-Fons, L., Rivera, T., Ospina Portilla, M. A., Gkanogiannis, A., Bohorquez-Chaux, A., Becerra, L. A., & Fraser, P. D. (2023). *Data - Integrated genetic and metabolic characterization of Latin American cassava (Manihot esculenta) germplasm*. Harvard Dataverse. <https://doi.org/10.7910/dvn/c937yn>
- Popala, J. S., Mongi, J., Tulandi, S., & Montolalu, F. (2022). Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daun Pining Bawang (*Horntedtia alliacea*). *Biofarmasetikal Tropis*, 5(1), 18–28. <https://doi.org/10.55724/jbiofartrop.v5i1.323>
- Puspitasari, K. N., & Wikandari, P. R. (2016). Potention of *Lactobacillus plantarum* B1765 to producing scfa in the fermentation process of yakon (*Smallanthus sonchifolius*) root pickles. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Dan Pembelajarannya*. Surabaya: Faculty of Mathematics and Natural Science Universitas Negeri Surabaya, 208–213.
- Rabima, & Shintawati, Z. (2022). Uji aktivitas antioksidan dan antidiabetik dari kombucha akar alang-alang (*Imperata cylindrica* (L.) P. Beauv.). *Indonesia Natural Research Pharmaceutical Journal*, 7(2), 68–76. <https://doi.org/10.52447/inrpj.v7i2.6220>
- Rahayu, L. O., Putri, O. K., & Manggarani, R. D. (2022). Kadar Flavonoid dan Fenolik Ekstrak Daun Waru (*Hibiscus tiliaceus*) Serta Aktivitasnya Sebagai Antioksidan. *JC-T (Journal*

- Cis-Trans*) *Jurnal Kimia Dan Terapannya*, 6(1).
<https://doi.org/10.17977/um0260v6i12022p017>
- Rahmi, N., Harmayani, E., Santosa, U., & Darmadji, P. (2016). Identifikasi Bakteri Asam Laktat dan Aktivitas Penghambatan Radikal pada Jaruk Tigarun (*Crataeva nurvala*, Buch Ham) (Identification of Lactic Acid Bacteria and Radical Scavenging Activity in Jaruk Tigarun (*Crataeva nurvala*, Buch HAM)). *Jurnal Agritech*, 36(03), 317. <https://doi.org/10.22146/agritech.16604>
- Saar-Reismaa, P., Kotkas, K., Rosenberg, V., Kulp, M., Kuhtinskaja, M., & Vaher, M. (2020). Analysis of Total Phenols, Sugars, and Mineral Elements in Colored Tubers of *Solanum tuberosum* L. *Foods*, 9(12), 1862. <https://doi.org/10.3390/foods9121862>
- Salsabila, W., & Wikandari, P. R. (2024). The Effect of Fermented Jicama Extract with *Lactobacillus plantarum* B1765 as the Culture Starter on the Product Quality and Flavonoid Contents. *Jurnal Pijar Mipa*, 19(2), 319–325. <https://doi.org/10.29303/jpm.v19i2.6467>
- Santi, F. U., Ariyanti, A., Hermawan, Y., Sujarwo, & Wijayanto, A. (2024). Diversifikasi Olahan Berbahan Pisang Pada Kelompok Wanita Tani (KWT) di Ngawen, Gunungkidul. *Madaniya*, 5(1), 237–242. <https://doi.org/10.53696/27214834.742>
- Santos-Sánchez, N. F., Salas-Coronado, R., Hernández-Carlos, B., & Villanueva-Cañongo, C. (2019). Shikimic Acid Pathway in Biosynthesis of Phenolic Compounds. *Plant Physiological Aspects of Phenolic Compounds*, 12(1). <https://doi.org/10.5772/intechopen.83815>
- Sari, T. M., Nurdin, H., & Putri, E. A. (2020). Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Dan Fraksinya Dari Kulit Batang Rambutan (*Nephelium lappaceum* Linn) Menggunakan Metode DPPH. *Window of Health : Jurnal Kesehatan*, 86–94. <https://doi.org/10.33368/woh.v0i0.259>
- Shao, Y., Kang, Q., Zhu, J., Zhao, C., Hao, L., Huang, J., Lu, J., Jia, S., & Yi, J. (2022). Antioxidant properties and digestion behaviors of polysaccharides from Chinese yam fermented by *Saccharomyces boulardii*. *LWT*, 154, 112752–112752. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112752>
- Sharma, K. R., & Giri, G. (2022). Quantification of Phenolic and Flavonoid Content, Antioxidant Activity, and Proximate Composition of Some Legume Seeds Grown in Nepal. *International Journal of Food Science*, 2022(2), 1–8. <https://doi.org/10.1155/2022/4629290>
- Showkat, M. M., Falck-Ytter, A. B., & Strættkvern, K. O. (2019). Phenolic Acids in Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): Plant Organ Dependent Antioxidant Activity and Optimized Extraction from Leaves. *Molecules*, 24(18), 3296. <https://doi.org/10.3390/molecules24183296>
- Syafi'i, A., Shobichah, & Mulyani. (2023). Pengaruh Diversifikasi Produk Terhadap Pertumbuhan dan Keunggulan Bersaing: Studi Kasus pada Industri Makanan dan Minuman. *Jurnal Impresi Indonesia*, 2(6), 592–599. <https://doi.org/10.58344/jii.v2i6.3140>
- Valcarcel, J., Reilly, K., Gaffney, M., & O'Brien, N. M. (2015). Levels of potential bioactive compounds including carotenoids, vitamin C and phenolic compounds, and expression of their cognate biosynthetic genes vary significantly in different varieties of potato (*Solanum tuberosum* L.) grown under uniform cultural con. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(3), 1018–1026. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7189>

- Wahengbam, E. D., Devi, C. P., Sharma, S. K., Roy, S. S., Maibam, A., Dasgupta, M., Luikham, S., Chongtham, T., Ningombam, A., Bhupenchandra, I., Singh, L. K., Devi, Y. P., Thokchom, S., Khaba, C. I., Singh, N. B., Rajashekar, Y., Das, S., Mohanty, S., & Sahoo, M. R. (2023). Reactive oxygen species turnover, phenolics metabolism, and some key gene expressions modulate postharvest physiological deterioration in cassava tubers. *Frontiers in Microbiology*, *14*(3). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1148464>
- Widyanti, E. A., & Seveline, S. (2022). Karakteristik Organoleptik Dan Fisikokimia Tepung Umbi Gadung (*Dioscorea hispida* Dennst.) Fermentasi. *Gorontalo Agriculture Technology Journal*, *13*(2), 77. <https://doi.org/10.32662/gatj.v0i0.2431>
- Wijayanti, A. A., & Wikandari, P. R. (2023). Potency of fermented jicama extract cultured with *Lactobacillus plantarum* B1765 for producing short chain fatty acid. *Jurnal Pijar Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, *18*(5), 822–828. <https://doi.org/10.29303/jpm.v18i5.5457>
- Xu, M., Jin, Z., Peckrul, A., & Chen, B. (2018). Pulse seed germination improves antioxidative activity of phenolic compounds in stripped soybean oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*, *250*(2), 140–147. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.049>
- Yanti, L., Ansharullah, A., & Hermanto, H. (2021). Pengaruh Substitusi Tepung Ubi Gadung (*Dioscorea hispida* Dennst) Terhadap Organoleptik Dan Sifat Fisiko Kimia Roti Tawar. *Jurnal Sains Dan Teknologi Pangan*, *6*(3). <https://doi.org/10.33772/jstp.v6i3.18918>
- Yasmina, K.-P., Prabowo, W. C., & Rusli, R. (2016). Uji aktivitas antioksidan kombucha Bawang tiwai (*Eleutherine palmifolia*) dan kombucha Pasak bumi (*Eurycoma longifolia* jack). *Prosiding Farmasi Universitas Mulawarman*. <https://doi.org/10.25026/mpc.v4i1.178>
- Yiran, D., Jiayi, W., & Lifang, M. (2024). Harnessing antioxidants to counter oxidative stress-induced apoptosis. *Biochemistry*, *2*(3). <https://doi.org/10.5772/intechopen.1004460>
- Yunita, E., & Sari, D. R. A. P. (2022). Aktivitas Antioksidan dan Toksisitas Fraksi Etil Asetat dan Fraksi N-Heksan Daun Pegagan (*Centella Asiatica* L.). *Jurnal Mandala Pharmacon Indonesia*, *8*(1), 58–66. <https://doi.org/10.35311/jmpi.v8i1.167>
- Zhang, X., Duan, W., Zou, J., Zhou, H., Liu, C., & Yang, H. (2019). Flavor and antioxidant activity improvement of carrot juice by fermentation with *Lactobacillus plantarum* WZ-01. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *13*(4), 3366–3375. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00260-y>
- Zhang, X., Zhang, S., Xie, B., & Sun, Z. (2021). Influence of Lactic Acid Bacteria Fermentation on Physicochemical Properties and Antioxidant Activity of Chickpea Yam Milk. *Journal of Food Quality*, *2021*, e5523356. <https://doi.org/10.1155/2021/5523356>
- Zhang, Y., Pechan, T., & Chang, S. K. C. (2018). Antioxidant and angiotensin-I converting enzyme inhibitory activities of phenolic extracts and fractions derived from three phenolic-rich legume varieties. *Journal of Functional Foods*, *42*(1), 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.12.060>
- Zhao, Y., Eweys, A., Zhang, J., Zhu, Y., Bai, J., Darwesh, O., ... & Xiao, X. (2021). Fermentation affects the antioxidant activity of plant-based food material through the release and production of bioactive components. *Antioxidants*, *10*(12), 2004. <https://doi.org/10.3390/antiox10122004>