JURNAL BUANA SAINS
Volume 25, Number 1 (April 2025) : Hal 71-78, ISSN: 1412-1638 (p); 2527-5720 (e)
Terakreditasi Peringkat 4 Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan No 148/E/KPT/2020
Tersedia online https://jurnal.unitri.ac.id/index.php/buanasains

OPTIMALISASI WAKTU FERMENTASI UNTUK MENINGKATKAN KANDUNGAN BIOAKTIF TEPUNG LENGKUAS MERAH (*Alpinia officinarum*) MENGGUNAKAN *Lactobacillus plantarum*

Delsiana Gambul[1], Eka Fitasari[1]*, Rosyida Fajri Rinanti[1] dan Taufik Kurniawan[2]
[1] Universitas Tribhuwana Tunggadewi
[2]Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Kabupaten Gunungkidul
Corresponding Author : eka_fitasari83@yahoo.co.id

Article history:
Received 2 January 2025
Accepted 15 February 2025
Published 30 April 2025

Abstract

Red galangal (Alpinia officinarum) is an Indonesian native herb rich in bioactive compounds. Fermentation is a promising method to enhance these components. This study aimed to determine the optimal fermentation time using *Lactobacillus plantarum* to maximize the bioactive content of red galangal flour. A Randomized Block Design was employed, with fermentation times ranging from 1 to 7 days. The fermented flour was extracted using a two-step aqueous maceration process. Total phenolic content (TPC) and total flavonoid content (TFC) were analyzed spectrophotometrically. The results showed that fermentation significantly increased both TPC and TFC compared to the unfermented control. The optimal fermentation duration was 5 days, yielding the highest TPC of 1100.74 mg GAE/100 g and a significantly higher TFC of 34.30 mg QE/100 g ($P < 0.01$). After this point, the bioactive content began to decline. This study demonstrates that a 5-day fermentation period is optimal for enhancing the phenolic and flavonoid compounds in red galangal flour, highlighting a viable method for developing functional food ingredients.
Keywords: Alpinia officinarum; fermentation; Lactobacillus plantarum; total phenols; total flavonoids.

Pendahuluan

Lengkuas (*Alpinia spp.*) merupakan tanaman rimpang dari famili Zingiberaceae yang luas dimanfaatkan sebagai bumbu masak dan obat tradisional di Asia Tenggara. Di Indonesia, dikenal dua varietas utama, yaitu lengkuas merah (*Alpinia officinarum* Hance) dan lengkuas putih (*Alpinia galanga*). Lengkuas merah, yang menjadi fokus penelitian ini, memiliki karakteristik aroma yang lebih tajam dan kandungan senyawa bioaktif yang lebih tinggi dibandingkan lengkuas putih (Mardhiyyah et al., 2021). Senyawa bioaktif utama dalam lengkuas merah meliputi flavonoid, fenolik, diarylheptanoid, dan minyak atsiri (Zhou et al., 2018). Beberapa komponen spesifik yang telah diidentifikasi antara lain galangin, kaempferol, quercetin, dan pinocembrin (Zhang et al., 2015). Senyawa-senyawa ini berkontribusi pada berbagai aktivitas farmakologis, seperti antioksidan (Ly et al., 2003), anti-inflamasi (Sari, 2018), antibakteri (Zhang et al., 2010), dan proteksi terhadap

To cite this article: Gambul, D., E. Fitasari, R. F. Rinanti dan Taufik Kurniawan. 2025. Optimalisasi Waktu Fermentasi Untuk Meningkatkan Kandungan Bioaktif Tepung Lengkuas Merah (*Alpinia officinarum*) Menggunakan *Lactobacillus plantarum*. Jurnal Buana Sains 25(1): 71-78

penyakit degeneratif (Abubakar et al., 2018; Lin et al., 2020).

Polifenol, termasuk flavonoid, merupakan metabolit sekunder yang seringkali terikat dalam bentuk glikosida pada matriks tanaman, sehingga membatasi bioavailabilitas dan aktivitas biologisnya. Salah satu pendekatan untuk meningkatkan pelepasan senyawa bioaktif dari bentuk terikatnya adalah melalui proses fermentasi. Fermentasi menggunakan Bakteri Asam Laktat (BAL), seperti *Lactobacillus plantarum*, telah terbukti efektif dalam memodifikasi struktur kimia senyawa tanaman. *L. plantarum* menghasilkan enzim ekstraseluler seperti β-glukosidase, yang mampu menghidrolisis ikatan glikosida dan melepaskan aglikon fenolik bebas yang lebih aktif secara biologis (Michlmayr & Kneifel, 2014; Muñoz et al., 2017). Penelitian sebelumnya oleh Ramdhan et al. (2013) menunjukkan bahwa fermentasi jus lengkuas putih dengan *L. plantarum* selama 12 jam berhasil meningkatkan total fenol dan aktivitas antioksidan.

Meskipun potensi fermentasi telah diketahui, optimasi kondisi proses, terutama durasi fermentasi, memegang peranan krusial. Lama fermentasi yang tidak tepat dapat menyebabkan penurunan kandungan bioaktif akibat degradasi enzimatik berlebih atau penipisan substrat (Hur et al., 2014). Penelitian pada bahan lain seperti kopi hijau (Zofia et al., 2020) dan bawang hitam (Setiyoningrum et al., 2021) menunjukkan adanya titik waktu optimal yang menghasilkan kandungan bioaktif tertinggi. Selain itu, pemilihan pelarut ekstraksi juga menjadi faktor penting. Penggunaan akuades sebagai pelarut polar lebih diutamakan dalam penelitian ini karena keamanannya untuk aplikasi pangan, biaya yang rendah, dan kemampuannya melarutkan senyawa polar seperti fenol dan flavonoid, meskipun efisiensinya mungkin berbeda dengan pelarut organik seperti etanol.
Hingga saat ini, penelitian yang secara spesifik mengkaji pengaruh lama fermentasi (hingga 7 hari) terhadap profil komponen bioaktif tepung lengkuas merah menggunakan *L. plantarum* dengan metode ekstraksi berbasis air masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi waktu fermentasi optimal yang dapat memaksimalkan kandungan total fenol dan total flavonoid dari tepung lengkuas merah.

Metode Penelitian

Tepung lengkuas merah (*Alpinia officinarum* Hance) diperoleh dari Laboratorium Materna Medika, Batu, Jawa Timur. Bahan baku berasal dari rimpang yang dipanen pada bulan Februari dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 50°C. Kultur murni *Lactobacillus plantarum* FNCC 0026 diperoleh dari Pusat Studi Pangan dan Gizi, Universitas Gadjah Mada. Media deMan Rogosa Sharpe Broth (MRSB) dan bahan kimia lainnya yang digunakan memiliki kualitas pro-analisis.

Aktivasi dan Preparasi Inokulum *L. plantarum*

Kultur *L. plantarum* diaktivasi dengan menginokulasikan satu ose kultur ke dalam 100 mL media MRSB steril. Inkubasi dilakukan pada suhu 37°C selama 48 jam hingga media menjadi keruh, yang menandakan pertumbuhan bakteri. Kepadatan sel bakteri kemudian distandarisasi. Suspensi kultur diencerkan secara serial (10^{-1} hingga 10^{-5}) menggunakan larutan NaCl fisiologis 0,9%. Absorbansi setiap pengenceran diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 650 nm. Pengenceran yang menghasilkan nilai absorbansi antara 0,08-0,10 (setara dengan standar McFarland 0,5) digunakan sebagai inokulum. Pada penelitian ini, pengenceran 10^{-2} memenuhi standar tersebut.

Proses Fermentasi

Tepung lengkuas merah dicampur dengan akuades steril (perbandingan 1:7 b/v) di dalam wadah kaca steril. Inokulum *L. plantarum* yang telah distandarisasi ditambahkan sebanyak 10% dari berat tepung lengkuas, kemudian diaduk hingga homogen. Wadah ditutup rapat dan diinkubasi dalam ruang fermentasi pada suhu 30-40°C. Perlakuan yang diuji adalah lama fermentasi, yaitu 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 hari (T1-T7). Sebagai kontrol (T0), disiapkan campuran tepung lengkuas dan air tanpa penambahan inokulum dan tanpa proses fermentasi. Setiap perlakuan

dilakukan secara duplo. Setiap hari, campuran diaduk untuk memastikan homogenitas. Setelah mencapai waktu fermentasi yang ditentukan, sampel dipanen dan dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C hingga kadar air konstan untuk menghasilkan tepung lengkuas fermentasi.

Ekstraksi Senyawa Bioaktif

Ekstrak diperoleh melalui metode maserasi bertingkat menggunakan akuades. Tepung lengkuas fermentasi kering dimaserasi dengan akuades (perbandingan 1:10 b/v) selama 24 jam. Filtrat pertama dipisahkan, dan ampasnya dimaserasi kembali dengan akuades (perbandingan 1:7 b/v) selama 24 jam. Filtrat dari kedua tahap maserasi digabungkan. Untuk memisahkan padatan halus, ekstrak gabungan disentrifugasi pada 5000 rpm selama 7 menit. Supernatan yang diperoleh kemudian dipekatkan menggunakan *rotary evaporator* pada suhu 80°C hingga menjadi ekstrak kental. Prosedur ekstraksi yang sama juga diterapkan pada sampel kontrol (T0).

Analisis Total Fenol

Kandungan total fenol ditentukan menggunakan metode Folin-Ciocalteu yang dimodifikasi dari Wolfe et al. (2003). Sebanyak 0,1 mL larutan ekstrak dicampur dengan 1 mL reagen Folin-Ciocalteu (1:10 v/v) dan diinkubasi selama 5 menit. Selanjutnya, ditambahkan 0,8 mL larutan Na_2CO_3 (7,5% b/v) dan diinkubasi kembali selama 30 menit pada suhu ruang. Absorbansi diukur pada panjang gelombang 750 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Asam galat digunakan sebagai standar, dan hasil dinyatakan sebagai miligram ekuivalen asam galat per 100 gram ekstrak (mg GAE/100 g).

Analisis Total Flavonoid

Kandungan total flavonoid dianalisis berdasarkan metode Purnamasari et al. (2022). Sebanyak 1 mL larutan ekstrak direaksikan dengan 1,5 mL etanol, 2,8 mL akuades, 0,1 mL $AlCl_3$ 10%, dan 0,1 mL kalium asetat 1 M. Campuran diinkubasi selama 30 menit, dan absorbansinya diukur pada panjang gelombang 439 nm. Kuersetin digunakan sebagai standar, dan hasil dinyatakan sebagai miligram ekuivalen kuersetin per 100 gram ekstrak (mg QE/100 g).

Analisis Statistik

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan Analysis of Variance (ANOVA) berdasarkan Rancangan Acak Kelompok (RAK). Jika hasil ANOVA menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p<0,05$ atau $p<0,01$), maka dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) atau *Least Significant Difference* (LSD) pada taraf signifikansi 5% untuk membandingkan rata-rata antar perlakuan.

Hasil Dan Pembahasan

Proses fermentasi yang dilakukan dengan menggunakan bakteri *Lactobacillus plantarum* terbukti menjadi strategi efektif untuk memodifikasi profil bioaktif tepung lengkuas merah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama fermentasi secara signifikan memengaruhi kandungan total fenol dan total flavonoid, dengan dinamika yang mencapai titik optimal sebelum mengalami penurunan (Tabel 1).

Dinamika Biokonversi Senyawa Fenolik Selama Fermentasi

Temuan utama dari penelitian ini adalah adanya tren peningkatan konsentrasi total fenol dan total flavonoid yang mencapai puncaknya pada hari kelima fermentasi (T5). Pada titik ini, kandungan total fenol mencapai nilai tertinggi sebesar 1100,74 mg GAE/100 g, sementara total flavonoid mencapai 34,30 mg QE/100 g. Peningkatan ini dapat diatribusikan pada mekanisme biokonversi yang dimediasi oleh *L. plantarum*. Sebagaimana dilaporkan oleh Muñoz et al. (2017) dan Yang et al. (2023), *L. plantarum* memproduksi serangkaian enzim hidrolitik, terutama β-glukosidase. Enzim ini berperan krusial dalam memecah ikatan β-glikosida yang mengikat senyawa fenolik pada matriks polisakarida tanaman.

Tabel 1. Data Pengaruh Lama Fermentasi terhadap Komponen Bioaktif

Perlakuan	Komponen Bioaktif	
	Total Fenol (mg GAE/100 g)	Total Flavonoid (mg/EQ/ 100 g)
T0: Kontrol (Tanpa fermentasi)	659,66±466,4	$11,16^{a}$±7,8
T1: Fermentasi dilakukan 1 hari	679,25±480,3	$12,68^{a}$±8,9
T2: Fermentasi dilakukan 2 hari	766,57±542,05	$14,95^{ab}$±10,6
T3: Fermentasi dilakukan 3 hari	784,92±555,02	$17,48^{ab}$±12,4
T4: Fermentasi dilakukan 4 hari	1047,56±740,7	$21,20^{ab}$±14,9
T5: Fermentasi dilakukan 5 hari	1100,74±778,3	$34,30^{b}$±24,3
T6: Fermentasi dilakukan 6 hari	836,21±591,3	$27,96^{b}$±19,8
T7: Fermentasi dilakukan 7 hari	586,25±414,5	$13,86^{a}$±9,8
BNT	P>0,05	P<0,01

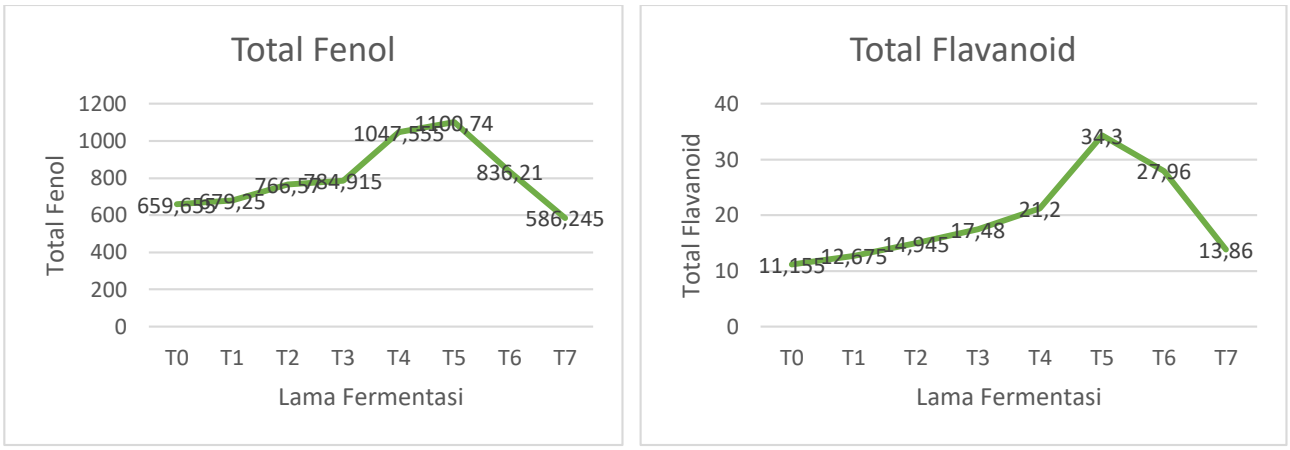
Dalam rimpang lengkuas merah, senyawa bioaktif utama seperti galangin, kuersetin, dan kaempferol seringkali berada dalam bentuk glikosida yang tidak aktif dan sulit diekstraksi (Zhou et al., 2018). Aktivitas enzimatik selama fermentasi secara efektif melepaskan aglikon-aglikon fenolik ini menjadi bentuk bebas yang lebih polar, lebih mudah larut dalam akuades, dan lebih reaktif secara biologis. Proses deglikosilasi ini merupakan penjelasan fundamental di balik peningkatan terukur pada kandungan total fenol dan flavonoid. Fenomena serupa juga telah dilaporkan secara konsisten pada fermentasi substrat nabati lainnya (Ramdhan et al., 2013; Rahmi et al., 2020; Wijayanti et al., 2017).

Namun, durasi fermentasi yang melebihi titik optimal terbukti kontra-produktif. Setelah hari kelima, terjadi penurunan yang signifikan pada kedua parameter, di mana pada hari ketujuh (T7), nilainya kembali mendekati level kontrol. Penurunan ini merupakan fenomena yang dapat diprediksi dalam sistem fermentasi (Hur et al., 2014) dan dapat dijelaskan oleh beberapa faktor. Pertama, penipisan sumber nutrisi dalam medium dapat menghambat metabolisme mikroba dan produksi enzim. Kedua, aktivitas enzimatik yang berlebihan dapat memicu degradasi lebih lanjut dari aglikon fenolik yang sudah terbentuk menjadi senyawa yang lebih sederhana atau non-fenolik. Ketiga, akumulasi produk sampingan metabolik seperti asam laktat akan menurunkan pH medium, yang berpotensi mempengaruhi stabilitas beberapa jenis flavonoid.

Signifikansi Peningkatan Flavonoid

Salah satu temuan paling menarik dalam penelitian ini adalah perbedaan respons statistik antara total fenol ($p > 0,05$) dan total flavonoid ($p < 0,01$). Meskipun secara visual total fenol menunjukkan tren peningkatan, tingginya variasi data (standar deviasi besar) kemungkinan menutupi signifikansi statistiknya. Hal ini bisa disebabkan oleh heterogenitas alami sampel rimpang dan sifat non-spesifik reagen Folin-Ciocalteu.

Sebaliknya, peningkatan kandungan total flavonoid yang sangat signifikan secara statistik memberikan wawasan yang lebih dalam. Hal ini mengindikasikan bahwa senyawa flavonoid glikosida merupakan target utama dan paling efisien dari aktivitas enzimatik *L. plantarum* dalam substrat lengkuas merah. Mengingat flavonoid, khususnya galangin, adalah komponen dominan dalam *A. officinarum* (Zhou et al., 2018), pelepasan aglikonnya memberikan kontribusi yang sangat besar dan terukur secara kuat. Temuan ini menegaskan bahwa fermentasi bukan hanya sekadar meningkatkan jumlah senyawa fenolik secara umum, tetapi secara spesifik sangat efektif dalam memperkaya fraksi flavonoid yang memiliki nilai farmakologis tinggi.



(a) (b)

Gambar 1. Pengaruh lama fermentasi terhadap (a) kandungan total fenol ekstrak lengkuas merah dan (b) kandungan total flavanoid ekstrak lengkuas merah

Implikasi Fungsional Peningkatan Kandungan Fenol dan Flavanoid Ekstrak Lengkuas

Peningkatan signifikan pada kandungan flavonoid memiliki implikasi fungsional yang menjanjikan. Flavonoid seperti galangin, kuersetin, dan baicalein tidak hanya dikenal sebagai antioksidan kuat (Mardhiyyah et al., 2021), tetapi juga telah terbukti memiliki aktivitas antimikroba yang poten. Eumkeb et al. (2010) melaporkan bahwa flavonoid dari *A. officinarum* mampu menghambat *Staphylococcus aureus* yang resisten terhadap antibiotik. Selain itu, senyawa diarilheptanoid dalam lengkuas juga dilaporkan memiliki aktivitas anti-*Helicobacter pylori* (Zhang et al., 2010). Dengan demikian, peningkatan fraksi flavonoid melalui fermentasi berpotensi meningkatkan kapasitas antioksidan dan antimikroba dari ekstrak lengkuas, menjadikannya kandidat yang kuat untuk pengembangan pangan fungsional atau nutraceutical.

Berdasarkan analisis statistik, meskipun puncak tertinggi dicapai pada hari kelima, kandungan flavonoid pada hari keenam (T6) tidak berbeda nyata secara statistik ($p>0,05$) dari hari kelima. Hal ini memberikan fleksibilitas dalam proses produksi, di mana rentang waktu fermentasi antara 5 hingga 6 hari dapat dianggap sebagai jendela optimal. Namun, untuk aplikasi lebih lanjut, penelitian mendalam diperlukan. Identifikasi profil senyawa spesifik menggunakan metode kromatografi (HPLC atau LC-MS/MS) akan dapat mengonfirmasi aglikon mana yang paling banyak dilepaskan. Selain itu, pengujian aktivitas biologis secara *in vitro* (misalnya, uji kapasitas antioksidan DPPH/ABTS dan uji zona hambat bakteri) serta evaluasi keamanan produk menjadi langkah krusial berikutnya untuk memvalidasi potensi aplikasi dari ekstrak lengkuas fermentasi ini.

Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa waktu fermentasi optimal menggunakan *Lactobacillus plantarum* yaitu 5 hari. Pada periode ini, kandungan total fenol (TPC) mencapai puncaknya (1100,74 mg GAE/100 g), sementara kandungan total flavonoid (TFC) meningkat secara sangat signifikan (34,30 mg QE/100 g; $p<0,01$) dibandingkan kontrol. Temuan ini mengindikasikan bahwa biokonversi enzimatik oleh *L. plantarum* secara spesifik sangat efektif dalam melepaskan fraksi flavonoid. Oleh karena itu, fermentasi terkontrol selama 5 hari merupakan pendekatan yang baik dalam mengembangkan bahan pangan fungsional berbasis lengkuas dengan bioaktivitas yang ditingkatkan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terimakasih atas segala kontribusi dari berbagai pihak dalam penelitian dan penulisan artikel ini.

Daftar Pustaka

Abubakar, I. B., Malami, I., Yahaya, Y., & Sule, S. M. 2018. A review on the ethnomedicinal uses, phytochemistry and pharmacology of *Alpinia officinarum* Hance. Journal of Ethnopharmacology, 224:463–484.

Eumkeb, G., Sakdarat, S., & Siriwong, S. 2010. Reversing β-lactam antibiotic resistance of Staphylococcus aureus with galangin from *Alpinia officinarum* Hance and synergism with ceftazidime. Phytomedicine, 18(1): 40–45.

Hur, S. J., Lee, S. Y., Kim, Y. C., Choi, I., & Kim, G. B. 2014. Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods. Food Chemistry, 160, 346–356.

Lin, K., Wang, Y., Gong, J., Tan, Y., Deng, T., & Wei, N. 2020. Protective effects of total flavonoids from *Alpinia officinarum* rhizoma against ethanol-induced gastric ulcer in vivo and in vitro. Pharmaceutical Biology, 58(1):854–862.

Ly, T. N., Shimoyamada, M., Kato, K., & Yamauchi, R. 2003. Isolation and characterization of some antioxidative compounds from the rhizomes of smaller galanga (Alpinia officinarum Hance). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51(17):4924–929.

Mardhiyyah, K., Ryandini, Y. I., & Hermawan, Y. 2021. Uji Aktivitas Antioksidan dan Skrining Fitokimia Perasan Lengkuas Merah dan Lengkuas Putih. Jurnal Jamu Indonesia, 6(1):23–31.

Michlmayr, H., & Kneifel, W. 2014. β-Glucosidase activities of lactic acid bacteria: Mechanisms, impact on fermented food and human health. FEMS Microbiology Letters, 352(1): 1–10.

Muñoz, R., de las Rivas, B., López de Felipe, F., Reverón, I., Santamaría, L., Esteban-Torres, M., Curiel, J. A., Rodríguez, H., & Landete, J. M. 2017. Biotransformation of phenolics by Lactobacillus plantarum in fermented foods. In R. R. Watson & V. R. Preedy (Eds.), Fermented Foods in Health and Disease Prevention (pp. 57–78). Elsevier Inc.

Purnamasari, A., Zelviani, S., Sahara, S., & Fuadi, N. 2022. Analisis Nilai Absorbansi Kadar Flavonoid Tanaman Herbal Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis. Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi, 16(1): 57–64.

Rahmi, N., Khairiah, N., Rufida, R., Hidayati, S., & Muis, A. 2020. Effect of fermentation on total phenolic, radical scavenging activity and antibacterial activity of waterlily (Nymphaea pubescens Willd.) seed flour extract. Biopropal Industri, 11(1):9–18.

Ramdhan, T., Aminah, S., & Yanis, M. 2013. Efek Fermentasi Laktat pada Kandungan Total Polifenol dan Aktivitas Antioksidan Lengkuas (Alpinia galanga Linn). Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian, 10(2): 66–70.

Sari, L. O. R. K. 2018. Uji Aktivitas Anti-inflamasi Ekstrak Etanol 70% Rimpang Lengkuas Merah (Alpinia purpurata K. Schum) terhadap Edema Kaki Tikus Jantan Galur Wistar yang Diinduksi Karagenan. Jurnal Ilmiah Ibnu Sina, 3(2):241–251.

Setiyoningrum, F., Priadi, G., Afiati, F., Herlina, N., & Solikhin, A. 2021. Composition of spontaneous black garlic fermentation in a water bath. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 41(1): 351–357.

Wijayanti, E. D., Setiawan, N. C. E., & Christi, J. P. 2017. Effect of lactic acid fermentation on total phenolic content and antioxidant activity of fig fruit juice (Ficus carica). Proceedings of the 2nd Health Science International Conference (HSIC 2017).

Wolfe, K., Wu, X., & Liu, R. H. 2003. Antioxidant activity of apple peels. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51(3):

609–614.

Yang, F., Chen, C., Ni, D., Yang, Y., Tian, J., Li, Y., Chen, S., Ye, X., & Wang, L. 2023. Effects of Fermentation on Bioactivity and the Composition of Polyphenols Contained in Polyphenol-Rich Foods: A Review. Foods, 12(17): 3315.

Zhang, B. B., Dai, Y., Liao, Z. X., & Ding, L. S. (2010). Three new antibacterial active diarylheptanoids from Alpinia officinarum. Fitoterapia, 81(7): 948–952.

Zhang, J. Q., Wang, Y., Li, H. L., Wen, Q., Yin, H., Zeng, N. K., Lai, W. Y., Wei, N., Cheng, S. Q., Kang, S. L., Chen, F., & Li, Y. B. 2015. Simultaneous quantification of seventeen bioactive components in rhizome and aerial parts of Alpinia officinarum Hance using LC-MS/MS. Analytical Methods, 7(12), 4919–4926.

Zhou, Y. Q., Liu, H., He, M. X., Wang, R., Zeng, Q. Q., Wang, Y., Ye, W. C., & Zhang, Q. W. 2018. A review of the botany, phytochemical, and pharmacological properties of galangal. In A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes (Vol. 7, pp. 235–267). Academic Press.

Zofia, N. Ł., Aleksandra, Z., Tomasz, B., Martyna, Z. D., & Drzymała, K. 2020. Effect of fermentation time on antioxidant and anti-ageing properties of green coffee Kombucha ferments. Molecules, 25(22), 5394.

To cite this article : Gambul, D., E. Fitasari, R. F. Rinanti dan Taufik Kurniawan. 2025. Optimalisasi Waktu Fermentasi Untuk Meningkatkan Kandungan Bioaktif Tepung Lengkuas Merah (*Alpinia officinarum*) Menggunakan *Lactobacillus plantarum*. Jurnal Buana Sains 25(1): 71-78