

Optimalisasi Waktu Panen Berbasis Ritme Sirkadian untuk Mempertahankan Total Fenolik, Aktivitas Antioksidan, dan Mutu Pascapanen Daun Pegagan (*Centella asiatica*)

Optimizing Harvest Time Based on Circadian Rhythms to Preserve Total Phenolics, Antioxidant Activity, and Postharvest Quality of *Centella asiatica* Leaves

Rizky Septika Utami^{1*}, Indriati Meilina Sari²

¹Agroteknologi, Universitas Pat Petulai

²Budidaya Tanaman Hortikultura, Akademi Komunitas Negeri Rejang Lebong

*Corresponding author's e-mail: rizkyutami20@gmail.com

Article Info	Abstrak
Article History: Diterima : 22 Maret 2026 Direvisi : 26 Maret 2026 Diterima : 12 April 2026 Diterbitkan : 23 April 2026 Kata Kunci: Pegagan (<i>Centella asiatica</i>), Ritme Sirkadian; Waktu Panen; Aktivitas Antioksidan; Mutu Pascapanen.	Pegagan (<i>Centella asiatica</i>) merupakan salah satu tanaman obat yang memiliki kandungan senyawa bioaktif, terutama senyawa fenolik, yang berperan penting sebagai antioksidan alami dan menentukan mutu bahan baku herbal. Kualitas daun pegagan tidak hanya dipengaruhi oleh faktor budidaya, tetapi juga oleh waktu panen dan perubahan fisiologis selama penyimpanan pascapanen. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh waktu panen berdasarkan ritme sirkadian terhadap kandungan total fenolik, aktivitas antioksidan, dan susut bobot daun pegagan selama penyimpanan serta menentukan waktu panen yang paling optimal untuk mempertahankan mutu pascapanen. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktor tunggal yang terdiri atas empat waktu panen, yaitu pukul 06.00, 10.00, 14.00, dan 18.00 WIB. Seluruh sampel disimpan pada suhu ruang ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) dengan kelembapan relatif 70–80% selama 0, 2, 4, dan 6 hari. Kandungan total fenolik dianalisis menggunakan metode Folin–Ciocalteu, aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH, sedangkan susut bobot dihitung secara gravimetri. Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) yang dilanjutkan dengan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT) pada taraf nyata 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu panen berpengaruh nyata terhadap seluruh parameter yang diamati. Pemanenan pada pukul 14.00 WIB menghasilkan kandungan total fenolik dan aktivitas antioksidan tertinggi serta susut bobot terendah selama penyimpanan, sedangkan panen pada pukul 06.00 WIB menunjukkan mutu terendah. Temuan ini membuktikan bahwa ritme sirkadian berperan penting dalam akumulasi metabolit sekunder dan stabilitas mutu pascapanen daun pegagan. Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan strategi optimasi waktu panen sebagai upaya sederhana dan efektif untuk meningkatkan kualitas bahan baku tanaman obat tanpa memerlukan perlakuan pascapanen tambahan.
	Abstract
Keyword: <i>Centella asiatica</i>; Circadian Rhythm; Harvest Timing; Antioxidant Activity; Postharvest Quality.	<i>Centella asiatica</i> (gotu kola) is a medicinal plant rich in bioactive compounds, particularly phenolic compounds, which play an important role as natural antioxidants and determine the quality of herbal raw materials. The quality of gotu kola leaves is influenced not only by cultivation practices but also by harvest timing and physiological changes during postharvest storage. This study aimed to evaluate the effect of harvest timing based on circadian rhythms on total phenolic content, antioxidant activity, and weight loss of gotu kola leaves during storage, as well as to



Licensed under
the Creative
Commons
Attribution-
ShareAlike 4.0
International
License.

determine the optimal harvest time for maintaining postharvest quality. The study employed a quantitative experimental approach using a Completely Randomized Design (CRD) with a single factor consisting of four harvest times: 06:00, 10:00, 14:00, and 18:00 (WIB, Western Indonesian Time). All samples were stored at room temperature ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) with a relative humidity of 70–80% for 0, 2, 4, and 6 days. Total phenolic content was determined using the Folin–Ciocalteu method, antioxidant activity was measured using the DPPH assay, and weight loss was determined gravimetrically. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at the 5% significance level. The results showed that harvest timing significantly affected all observed parameters. Harvesting at 14:00 produced the highest total phenolic content and antioxidant activity, while resulting in the lowest weight loss during storage. In contrast, harvesting at 06:00 yielded the lowest postharvest quality. These findings demonstrate that circadian rhythms play a critical role in regulating the accumulation of secondary metabolites and maintaining the postharvest quality of gotu kola leaves. This study provides scientific evidence supporting harvest time optimization as a simple and effective strategy to improve the quality of medicinal plant raw materials without requiring additional postharvest treatments.

Bagaimana Cara Sitasi Artikel ini:

Utami, R. S., & Sari, I. M. (2026). Optimalisasi Waktu Panen Berbasis Ritme Sirkadian untuk Mempertahankan Total Fenolik, Aktivitas Antioksidan, Dan Mutu Pascapanen Daun Pegagan (*Centella asiatica*). *Jejak Ilmiah: Jurnal Riset dan Pengembangan*, 1(1), 23–36. <https://doi.org/xxxxxx/xxxxxx>

Pendahuluan

Pegagan (*Centella asiatica*) merupakan salah satu tanaman obat yang memiliki nilai ekonomi dan fungsional tinggi karena mengandung berbagai senyawa bioaktif, terutama senyawa fenolik yang berperan sebagai antioksidan alami (Kunjumon et al., 2022). Senyawa tersebut banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku industri farmasi, pangan fungsional, kosmetik, serta produk herbal karena memiliki aktivitas biologis yang mampu menangkal radikal bebas dan mendukung berbagai fungsi kesehatan (Kumar et al., 2022). Kualitas bahan baku pegagan sangat ditentukan oleh kandungan metabolit sekundernya, yang dipengaruhi oleh faktor genetik, lingkungan, teknik budidaya, umur panen, serta penanganan pascapanen (Singh et al., 2023). Salah satu faktor yang mulai mendapat perhatian adalah ritme sirkadian tanaman, yaitu mekanisme biologis yang mengatur aktivitas fisiologis dan metabolisme selama siklus terang dan gelap sehingga memengaruhi biosintesis metabolit sekunder dan akumulasi senyawa fenolik (Yang et al., 2026). Oleh karena itu, penentuan waktu panen menjadi bagian penting dalam strategi peningkatan mutu tanaman obat untuk memperoleh kandungan senyawa aktif yang optimal sejak awal proses pascapanen (Sabaragamuwa & Perera, 2023).

Mutu daun pegagan tidak hanya ditentukan pada saat pemanenan, tetapi juga mengalami perubahan selama penyimpanan akibat proses respirasi, transpirasi, dan degradasi metabolit sekunder yang masih berlangsung setelah panen (Mohapatra et al., 2022). Perubahan tersebut menyebabkan penurunan kandungan total fenolik, berkurangnya aktivitas antioksidan, serta meningkatnya susut bobot yang pada akhirnya menurunkan kualitas bahan baku (Pillai et al., 2024). Berdasarkan data penelitian, seluruh perlakuan mengalami penurunan mutu selama penyimpanan, namun daun yang dipanen pada pukul 14.00 WIB secara konsisten menunjukkan kandungan total fenolik dan aktivitas antioksidan tertinggi serta susut bobot terendah dibandingkan waktu panen lainnya. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengaturan waktu panen berdasarkan ritme sirkadian berpotensi menjadi strategi sederhana dan efektif untuk mempertahankan mutu fisiologis maupun biokimia daun pegagan selama penyimpanan (Yang et al., 2026). Temuan ini memberikan dasar penting bagi pengembangan teknologi budidaya dan penanganan pascapanen tanaman obat yang lebih efisien serta mendukung penyediaan bahan baku herbal berkualitas tinggi (Singh et al., 2023).

Penelitian ini difokuskan pada pengkajian pengaruh waktu panen berdasarkan ritme sirkadian terhadap perubahan mutu pascapanen daun pegagan selama penyimpanan. Fokus penelitian meliputi pengaruh waktu panen terhadap kandungan total fenolik, aktivitas antioksidan, dan susut bobot sebagai indikator utama mutu fisiologis dan biokimia tanaman obat. Selain itu, penelitian diarahkan untuk memperoleh informasi mengenai waktu panen yang paling efektif dalam mempertahankan stabilitas senyawa bioaktif dan kualitas fisik daun pegagan selama periode penyimpanan sehingga dapat menjadi dasar ilmiah dalam pengelolaan mutu pascapanen tanaman obat. Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kandungan metabolit sekunder pada tanaman obat dipengaruhi oleh ritme sirkadian yang mengatur dinamika fisiologis tanaman sepanjang hari. Aktivitas fotosintesis, respirasi, dan biosintesis senyawa fenolik berlangsung secara fluktuatif sehingga kandungan metabolit bioaktif tidak berada pada tingkat yang sama pada setiap waktu pemanenan (Annunziata et al., 2018; Steindal et al., 2015). Senyawa fenolik diketahui memiliki fungsi penting sebagai antioksidan alami yang berperan dalam melindungi sel tanaman dari stres oksidatif sekaligus menjadi indikator utama kualitas bahan tanaman obat (Pagare et al., 2015). Oleh karena itu, optimasi waktu panen menjadi salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan untuk meningkatkan kandungan senyawa bioaktif sebelum tanaman memasuki tahap penyimpanan pascapanen (Llorens et al., 2016).

Penelitian mengenai penanganan pascapanen juga menunjukkan bahwa penyimpanan menyebabkan penurunan kualitas tanaman obat akibat berlangsungnya respirasi, oksidasi senyawa fenolik, dan kehilangan air dari jaringan tanaman. Penurunan kandungan total fenolik umumnya diikuti oleh penurunan aktivitas antioksidan, sedangkan peningkatan susut bobot menjadi indikator terjadinya kehilangan air yang berkontribusi terhadap penurunan mutu fisik maupun biokimia bahan (Koley et al., 2017; Pinela et al., 2017). Sebagian besar penelitian terdahulu lebih banyak menitikberatkan pengaruh suhu penyimpanan, kelembapan, jenis kemasan, atau lama penyimpanan

terhadap perubahan mutu pascapanen sehingga aspek waktu panen berdasarkan ritme sirkadian masih relatif terbatas untuk dikaji secara komprehensif (Szopa et al., 2019).

Kajian yang tersedia juga umumnya mengevaluasi setiap parameter mutu secara terpisah, misalnya hanya kandungan fenolik, aktivitas antioksidan, atau susut bobot. Pendekatan tersebut belum memberikan gambaran menyeluruh mengenai hubungan antarparameter dalam menentukan kualitas pascapanen tanaman obat (Pinela et al., 2017). Penelitian ini mengintegrasikan ketiga indikator tersebut untuk mengevaluasi pengaruh waktu panen terhadap mutu daun pegagan selama penyimpanan sehingga diharapkan mampu memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara ritme sirkadian, stabilitas metabolit sekunder, aktivitas antioksidan, dan perubahan mutu fisik selama proses pascapanen (Annunziata et al., 2018; Llorens et al., 2016). Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh waktu panen berdasarkan ritme sirkadian terhadap perubahan kandungan total fenolik, aktivitas antioksidan, dan susut bobot daun pegagan selama penyimpanan pascapanen serta menentukan waktu panen yang paling efektif dalam mempertahankan mutu bahan. Kebaruan penelitian terletak pada pendekatan evaluasi yang menggabungkan tiga indikator mutu utama secara terpadu untuk menggambarkan kualitas pascapanen berdasarkan variasi waktu panen. Pendekatan tersebut memberikan perspektif baru bahwa ritme sirkadian tidak hanya memengaruhi akumulasi metabolit sekunder pada saat panen, tetapi juga menentukan stabilitas mutu fisiologis dan biokimia daun pegagan selama penyimpanan.

Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dalam memperkuat pemahaman mengenai hubungan antara ritme sirkadian, metabolisme sekunder, dan perubahan mutu pascapanen tanaman obat. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar pengembangan strategi budidaya dan penanganan pascapanen berbasis waktu panen untuk meningkatkan kualitas bahan baku herbal. Secara praktis, informasi mengenai waktu panen yang menghasilkan kandungan total fenolik dan aktivitas antioksidan tinggi serta susut bobot rendah dapat dimanfaatkan oleh petani, pelaku usaha simplisia, dan industri herbal dalam menyusun standar operasional pemanenan sehingga mutu bahan baku dapat dipertahankan tanpa memerlukan teknologi tambahan yang kompleks.

Metode Penelitian

1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktor tunggal, yaitu waktu panen berdasarkan ritme sirkadian. Pendekatan eksperimen dipilih karena tujuan penelitian adalah menguji pengaruh perlakuan waktu panen terhadap mutu pascapanen daun pegagan (*Centella asiatica*) yang diukur melalui total fenolik, aktivitas antioksidan, dan susut bobot. Perlakuan terdiri atas empat waktu panen, yaitu pukul 06.00 WIB (P1), 10.00 WIB (P2), 14.00 WIB (P3), dan 18.00 WIB (P4). Seluruh sampel berasal dari tanaman dengan umur yang sama, posisi daun yang sama, lokasi budidaya yang sama, serta dipanen pada kondisi cuaca yang seragam untuk meminimalkan variasi yang tidak diinginkan. Selanjutnya, seluruh sampel disimpan pada suhu ruang $25 \pm 2^\circ\text{C}$ dengan kelembapan relatif 70–80% selama 0, 2, 4, dan 6 hari. Desain ini memungkinkan evaluasi secara objektif mengenai pengaruh ritme sirkadian terhadap perubahan mutu fisiologis dan biokimia daun pegagan selama penyimpanan pascapanen.

2. Lokasi dan Bahan Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada lahan budidaya pegagan (*Centella asiatica*) dengan pengamatan laboratorium terhadap parameter mutu pascapanen. Lokasi budidaya dipilih karena memiliki kondisi pertumbuhan yang seragam sehingga faktor lingkungan dapat dikendalikan. Bahan utama penelitian berupa daun pegagan dewasa yang dipanen pada umur tanaman yang sama (± 8 minggu setelah tanam). Semua sampel berasal dari petak budidaya yang sama untuk mengurangi keragaman biologis. Setelah pemanenan, daun segera dibawa ke laboratorium untuk dianalisis sesuai jadwal pengamatan. Penyimpanan dilakukan dalam kondisi terkendali pada suhu ruang $25 \pm 2^\circ\text{C}$ dan kelembapan relatif 70–80%. Pengamatan dilakukan pada hari ke-0, ke-2, ke-4, dan ke-6 penyimpanan sehingga diperoleh

data perubahan mutu selama periode pascapanen. Variabel bebas penelitian adalah waktu panen, sedangkan variabel terikat meliputi kandungan total fenolik, aktivitas antioksidan, dan susut bobot daun pegagan.

3. Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui pengujian laboratorium terhadap tiga parameter utama mutu pascapanen. Kandungan total fenolik dianalisis menggunakan metode Folin–Ciocalteu dan dinyatakan sebagai mg GAE g⁻¹, sedangkan aktivitas antioksidan diukur menggunakan metode penangkapan radikal bebas DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) yang dinyatakan dalam persentase inhibisi (Munteanu & Apetrei, 2021; Platzer, Kiese, Herfellner, Schweiggert-Weisz, & Eisner, 2021). Sementara itu, susut bobot dihitung berdasarkan persentase kehilangan bobot sampel selama penyimpanan dibandingkan dengan bobot awal (Pérez-Lamela, Franco, & Falqué, 2021). Seluruh pengukuran dilakukan pada setiap waktu pengamatan (H0, H2, H4, dan H6) untuk seluruh perlakuan waktu panen. Setiap perlakuan diulang beberapa kali agar diperoleh data yang representatif dan mengurangi kesalahan pengukuran. Seluruh prosedur analisis dilakukan menggunakan metode laboratorium yang sama pada setiap sampel guna menjamin konsistensi hasil pengamatan.

4. Prosedur Penelitian

Penelitian diawali dengan penyiapan tanaman pegagan yang memiliki umur, kondisi pertumbuhan, dan lokasi budidaya yang seragam. Selanjutnya dilakukan pemanenan pada empat waktu berbeda sesuai perlakuan, yaitu pukul 06.00, 10.00, 14.00, dan 18.00 WIB. Setelah dipanen, daun dibersihkan dari kotoran tanpa perlakuan yang dapat memengaruhi kandungan metabolit. Sampel kemudian disimpan pada suhu ruang 25 ± 2°C dengan kelembapan relatif 70–80%. Pengamatan dilakukan pada hari ke-0, ke-2, ke-4, dan ke-6 penyimpanan. Pada setiap waktu pengamatan dilakukan analisis total fenolik, aktivitas antioksidan, dan susut bobot sesuai metode yang telah ditentukan. Seluruh data dicatat secara sistematis dalam lembar kerja penelitian, kemudian ditabulasi berdasarkan perlakuan dan lama penyimpanan untuk memudahkan proses analisis statistik dan interpretasi hasil.

5. Teknik Analisis Data

Data hasil penelitian dianalisis secara kuantitatif menggunakan analisis ragam (*Analysis of Variance/ANOVA*) pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$) untuk mengetahui pengaruh waktu panen terhadap setiap parameter yang diamati (Kim, Park, & Lee, 2022). Apabila hasil ANOVA menunjukkan perbedaan yang nyata, analisis dilanjutkan dengan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5% untuk membandingkan perbedaan antarperlakuan (Gomez, Gomez, & Suryadi, 2021). Hasil penelitian disajikan dalam bentuk tabel nilai rata-rata ± standar deviasi, serta divisualisasikan menggunakan grafik garis untuk menggambarkan perubahan total fenolik, aktivitas antioksidan, dan susut bobot selama penyimpanan (Weissgerber, Milic, Winham, & Garovic, 2015). Selain itu, dilakukan integrasi ketiga parameter mutu menggunakan *heatmap* untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai kualitas pascapanen daun pegagan berdasarkan waktu panen (Wilke, 2020). Seluruh analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik yang sesuai sehingga hasil penelitian dapat diinterpretasikan secara objektif dan ilmiah.

Hasil dan Pembahasan

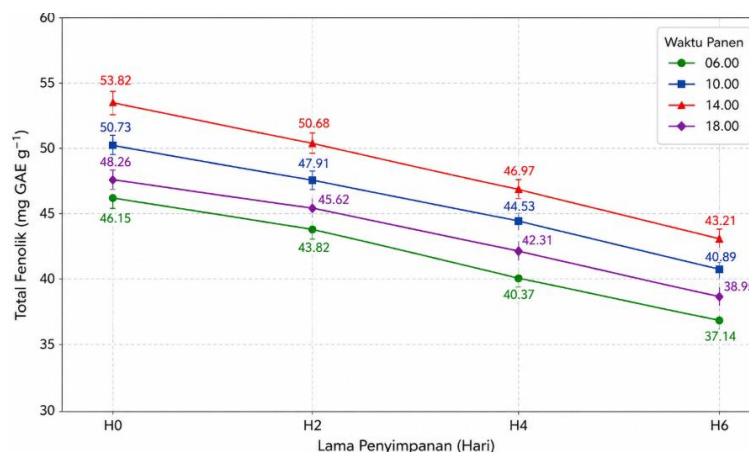
1 Total Fenolik

Total fenolik merupakan salah satu indikator utama mutu tanaman obat karena berperan sebagai senyawa bioaktif yang berkontribusi terhadap aktivitas antioksidan serta stabilitas kualitas selama penyimpanan. Pengaruh waktu panen berdasarkan ritme sirkadian terhadap perubahan kandungan total fenolik daun pegagan selama penyimpanan disajikan pada Tabel

Tabel 1. Rata-rata total fenolik (mg GAE g⁻¹) pada berbagai waktu panen selama penyimpanan

Waktu Panen	H0	H2	H4	H6
06.00	46.15 ±0.72 ^a A	43.82 ±0.65 ^b B	40.37 ±0.61 ^c C	37.14 ±0.56 ^d D
10.00	50.73 ±0.80 ^b A	47.91 ±0.71 ^b B	44.53 ±0.66 ^b C	40.89 ±0.60 ^b D
14.00	53.82 ±0.83 ^a A	50.68 ±0.75 ^a B	46.97 ±0.69 ^a C	43.21 ±0.63 ^a D
18.00	48.26 ±0.76 ^b A	45.62 ±0.68 ^b B	42.31 ±0.64 ^b C	38.95 ±0.58 ^b D

Berdasarkan Tabel 1, kandungan total fenolik mengalami penurunan secara bertahap pada seluruh perlakuan selama penyimpanan. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa proses pascapanen memengaruhi stabilitas senyawa fenolik akibat berlangsungnya respirasi dan degradasi metabolit sekunder. Di antara seluruh perlakuan, daun pegagan yang dipanen pada pukul 14.00 WIB memiliki kandungan total fenolik tertinggi pada setiap waktu pengamatan, sedangkan panen pukul 06.00 WIB menghasilkan kandungan fenolik terendah. Hasil ini mengindikasikan bahwa waktu panen berdasarkan ritme sirkadian berpengaruh terhadap kemampuan daun pegagan mempertahankan kandungan senyawa bioaktif selama penyimpanan. Untuk memperjelas pola perubahan total fenolik selama penyimpanan pada masing-masing waktu panen, data tersebut divisualisasikan dalam bentuk grafik garis sebagaimana disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perubahan Total Fenolik Selama Penyimpanan pada Setiap Waktu Panen

Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu panen berdasarkan ritme sirkadian berperan penting dalam menentukan kandungan total fenolik daun pegagan selama penyimpanan. Perlakuan panen pada pukul 14.00 WIB secara konsisten menghasilkan kandungan total fenolik tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya, sedangkan panen pada pukul 06.00 WIB menghasilkan kandungan terendah. Pola tersebut mengindikasikan bahwa akumulasi senyawa fenolik tidak berlangsung secara konstan sepanjang hari, tetapi dipengaruhi oleh dinamika fisiologis tanaman yang mengikuti ritme sirkadian. Pada waktu tertentu, aktivitas metabolisme sekunder berlangsung lebih intensif sehingga kandungan senyawa fenolik yang terbentuk lebih tinggi. Penurunan total fenolik selama penyimpanan juga menunjukkan bahwa proses pascapanen masih diikuti oleh aktivitas fisiologis yang menyebabkan degradasi metabolit sekunder. Setelah dipanen, jaringan daun tetap melakukan respirasi sehingga cadangan metabolit secara bertahap dimanfaatkan untuk mempertahankan metabolisme sel. Kondisi tersebut menyebabkan kandungan senyawa fenolik terus menurun seiring bertambahnya lama penyimpanan. Dengan demikian, waktu panen tidak hanya menentukan kandungan fenolik awal, tetapi juga memengaruhi kemampuan daun pegagan mempertahankan stabilitas senyawa bioaktif selama penyimpanan.

Secara teoretis, hasil penelitian ini memperkuat konsep bahwa ritme sirkadian merupakan salah satu faktor fisiologis yang memengaruhi akumulasi metabolit sekunder pada tanaman obat (Yang et al., 2026; Annunziata et al., 2018). Perbedaan kandungan total fenolik yang diamati pada setiap waktu

panen menunjukkan bahwa proses biosintesis senyawa bioaktif berlangsung secara dinamis mengikuti perubahan aktivitas metabolisme tanaman sepanjang hari (Sabaragamuwa & Perera, 2023). Temuan ini memberikan bukti bahwa aspek temporal dalam pemanenan perlu dipertimbangkan sebagai bagian dari strategi pengelolaan mutu pascapanen, selain faktor varietas, umur tanaman, dan kondisi lingkungan (Kunjumon et al., 2022). Secara praktis, hasil penelitian memberikan informasi yang dapat dimanfaatkan oleh petani, pelaku usaha simplisia, maupun industri obat herbal dalam menentukan waktu panen yang optimal. Pemanenan daun pegagan pada pukul 14.00 WIB menghasilkan kandungan total fenolik yang lebih tinggi dan mampu mempertahankan stabilitasnya selama penyimpanan sehingga berpotensi meningkatkan mutu bahan baku yang akan digunakan dalam proses pengeringan maupun pengolahan lebih lanjut (Mohapatra et al., 2022). Penerapan waktu panen yang tepat merupakan langkah sederhana, mudah diterapkan, dan tidak memerlukan investasi teknologi tambahan, namun berpotensi memberikan peningkatan kualitas produk tanaman obat (Szopa et al., 2019).

Temuan penelitian ini sejalan dengan berbagai penelitian yang melaporkan bahwa waktu panen memengaruhi kandungan metabolit sekunder pada tanaman obat sebagai konsekuensi dari ritme sirkadian dan dinamika metabolisme tanaman (Singh et al., 2023; Steindal et al., 2015). Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa kandungan senyawa fenolik cenderung berfluktuasi sepanjang hari dan mencapai tingkat optimum pada periode ketika aktivitas fotosintesis serta biosintesis metabolit berlangsung lebih intensif (Pagare et al., 2015). Selain itu, berbagai studi pascapanen juga melaporkan bahwa kandungan total fenolik mengalami penurunan selama penyimpanan akibat berlangsungnya respirasi, oksidasi senyawa fenolik, dan aktivitas enzim yang berperan dalam proses degradasi metabolit sekunder (Pillai et al., 2024; Pinela et al., 2017). Meskipun demikian, besarnya penurunan kandungan fenolik yang dilaporkan pada berbagai penelitian dapat berbeda karena dipengaruhi oleh spesies tanaman, umur panen, kondisi lingkungan, metode penyimpanan, serta karakteristik fisiologis masing-masing bahan tanaman (Koley et al., 2017). Pada penelitian ini, daun pegagan yang dipanen pada pukul 14.00 WIB menunjukkan kemampuan mempertahankan kandungan total fenolik lebih baik dibandingkan waktu panen lainnya. Temuan tersebut memberikan tambahan informasi bahwa pengaturan waktu panen berdasarkan ritme sirkadian dapat menjadi pendekatan yang efektif untuk mempertahankan mutu fitokimia tanaman obat selama periode pascapanen sekaligus melengkapi hasil-hasil penelitian terdahulu mengenai faktor-faktor yang memengaruhi kualitas bahan tanaman obat (Yang et al., 2026; Pinela et al., 2017).

2. Aktivitas Antioksidan

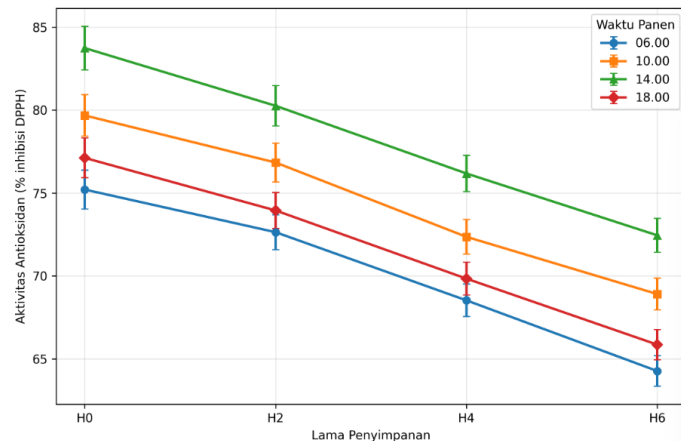
Aktivitas antioksidan merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan mutu tanaman obat karena mencerminkan kemampuan senyawa bioaktif dalam menangkal radikal bebas. Pada penelitian ini, aktivitas antioksidan daun pegagan dianalisis menggunakan metode DPPH untuk mengevaluasi pengaruh waktu panen berdasarkan ritme sirkadian terhadap perubahan kapasitas antioksidan selama penyimpanan. Hasil pengamatan aktivitas antioksidan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Aktivitas Antioksidan (% Inhibisi DPPH) Daun Pegagan pada Berbagai Waktu Panen Selama Penyimpanan

Waktu Panen	H0	H2	H4	H6
06.00	75.21 $\pm$ 1.18	72.64 $\pm$ 1.05	68.53 $\pm$ 0.98	64.27 $\pm$ 0.92
10.00	79.68 $\pm$ 1.25	76.84 $\pm$ 1.17	72.36 $\pm$ 1.04	68.91 $\pm$ 0.95
14.00	83.74 $\pm$ 1.31	80.26 $\pm$ 1.22	76.18 $\pm$ 1.10	72.45 $\pm$ 1.02
18.00	77.12 $\pm$ 1.20	73.95 $\pm$ 1.08	69.84 $\pm$ 0.99	65.86 $\pm$ 0.91

Berdasarkan Tabel 2, aktivitas antioksidan daun pegagan mengalami penurunan secara bertahap pada seluruh perlakuan selama penyimpanan. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa proses penyimpanan menyebabkan berkurangnya kemampuan daun pegagan dalam meredam radikal bebas.

Perlakuan panen pada pukul 14.00 WIB menghasilkan aktivitas antioksidan tertinggi pada setiap waktu pengamatan, sedangkan aktivitas antioksidan terendah dijumpai pada perlakuan panen pukul 06.00 WIB. Pola ini sejalan dengan perubahan kandungan total fenolik yang diamati pada Tabel 1, sehingga mengindikasikan bahwa waktu panen berperan dalam mempertahankan stabilitas senyawa bioaktif selama periode pascapanen. Untuk memperjelas dinamika perubahan aktivitas antioksidan pada setiap perlakuan selama penyimpanan, data tersebut disajikan dalam bentuk grafik garis sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perubahan aktivitas antioksidan selama penyimpanan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan daun pegagan dipengaruhi oleh waktu panen dan lama penyimpanan. Perlakuan panen pada pukul 14.00 WIB menghasilkan aktivitas antioksidan tertinggi pada setiap periode pengamatan, sedangkan panen pada pukul 06.00 WIB menunjukkan aktivitas antioksidan terendah. Pola tersebut menunjukkan bahwa kapasitas antioksidan daun pegagan tidak hanya ditentukan oleh kondisi setelah panen, tetapi juga oleh kondisi fisiologis tanaman saat proses pemanenan berlangsung. Ritme sirkadian diduga memengaruhi akumulasi senyawa bioaktif yang berperan sebagai donor elektron dalam meredam radikal bebas, sehingga waktu panen tertentu menghasilkan kapasitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan waktu lainnya. Selama penyimpanan, aktivitas antioksidan mengalami penurunan pada seluruh perlakuan, sebagaimana terlihat pada Gambar 2. Penurunan ini menunjukkan bahwa kemampuan daun pegagan dalam menghambat radikal bebas semakin berkurang seiring bertambahnya lama penyimpanan (Mohapatra et al., 2022). Kondisi tersebut diduga berkaitan dengan degradasi senyawa fenolik karena perubahan kandungan total fenolik umumnya diikuti oleh penurunan aktivitas antioksidan (Pinela et al., 2017). Hubungan tersebut tercermin dari pola perubahan kedua variabel yang relatif serupa, di mana perlakuan dengan kandungan total fenolik yang tinggi juga menunjukkan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa senyawa fenolik memberikan kontribusi penting terhadap kapasitas antioksidan daun pegagan selama penyimpanan (Taghizadeh & Jalili, 2024).

Hasil penelitian ini memperkuat konsep bahwa aktivitas antioksidan tanaman obat merupakan respons yang erat kaitannya dengan dinamika metabolit sekunder, khususnya senyawa fenolik (Sabaragamuwa & Perera, 2023). Penurunan aktivitas antioksidan selama penyimpanan menunjukkan bahwa proses fisiologis pascapanen tidak hanya memengaruhi mutu fisik bahan, tetapi juga menyebabkan berkurangnya kemampuan biologis tanaman dalam menangkal radikal bebas (Koley et al., 2017). Dengan demikian, ritme sirkadian dapat dipandang sebagai salah satu faktor fisiologis yang memengaruhi kualitas fitokimia tanaman obat sejak proses pemanenan hingga penyimpanan (Annunziata et al., 2018). Secara praktis, hasil penelitian memberikan informasi penting bagi pengelolaan bahan baku tanaman obat. Pemanenan daun pegagan pada pukul 14.00 WIB mampu mempertahankan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi hingga akhir penyimpanan dibandingkan waktu panen lainnya. Kondisi tersebut berpotensi menghasilkan bahan baku dengan kualitas fungsional yang lebih baik untuk industri herbal, pangan fungsional, maupun produk kesehatan.

berbasis tanaman obat (Singh et al., 2023). Oleh karena itu, pengaturan waktu panen dapat dijadikan sebagai salah satu strategi pascapanen yang sederhana namun efektif untuk menjaga kualitas biologis daun pegagan tanpa memerlukan perlakuan tambahan (Szopa et al., 2019).

Temuan penelitian ini sejalan dengan berbagai penelitian yang melaporkan bahwa aktivitas antioksidan tanaman obat cenderung mengalami penurunan selama penyimpanan akibat degradasi senyawa bioaktif yang berperan sebagai antioksidan alami (Pillai et al., 2024; Pinela et al., 2017). Berbagai studi juga menunjukkan bahwa perubahan kapasitas antioksidan umumnya mengikuti perubahan kandungan total fenolik karena kedua parameter tersebut memiliki hubungan yang erat dalam menentukan kemampuan tanaman menangkal radikal bebas (Pagare et al., 2015). Oleh karena itu, penurunan aktivitas antioksidan yang diamati pada penelitian ini merupakan konsekuensi logis dari berkurangnya kandungan metabolit sekunder selama proses pascapanen. Meskipun demikian, besarnya penurunan aktivitas antioksidan dapat bervariasi antarspesies tanaman maupun kondisi penyimpanan (Taghizadeh & Jalili, 2024). Pada penelitian ini, daun pegagan yang dipanen pada pukul 14.00 WIB menunjukkan kemampuan mempertahankan aktivitas antioksidan lebih baik dibandingkan perlakuan lainnya. Temuan tersebut memberikan tambahan bukti bahwa penentuan waktu panen berdasarkan ritme sirkadian dapat menjadi salah satu pendekatan praktis untuk mempertahankan kualitas biologis tanaman obat selama penyimpanan. Hasil ini juga melengkapi penelitian terdahulu yang umumnya lebih menekankan pengaruh suhu dan lama penyimpanan, dengan menunjukkan bahwa faktor waktu panen sebelum penyimpanan turut berkontribusi terhadap stabilitas aktivitas antioksidan bahan tanaman (Yang et al., 2026; Steindal et al., 2015).

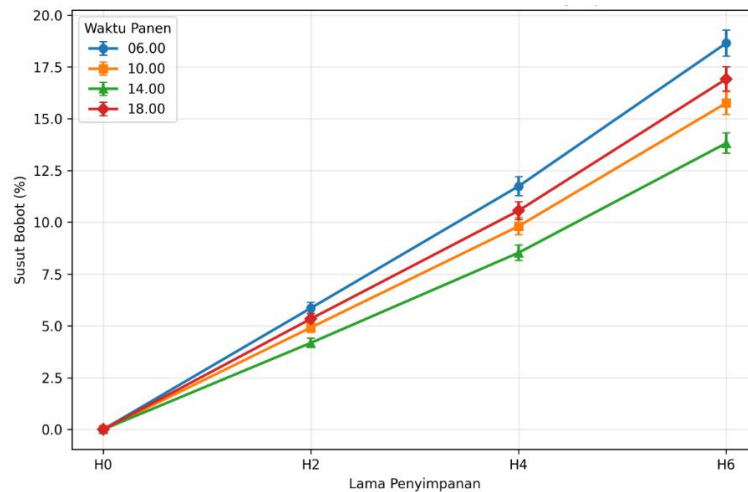
3. Susut Bobot

Susut bobot merupakan salah satu indikator utama dalam evaluasi mutu pascapanen karena mencerminkan tingkat kehilangan air dan bahan kering selama penyimpanan. Peningkatan susut bobot menunjukkan terjadinya proses respirasi dan transpirasi yang menyebabkan penurunan kualitas fisiologis bahan tanaman. Oleh karena itu, pengamatan terhadap susut bobot dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh waktu panen berdasarkan ritme sirkadian terhadap kemampuan daun pegagan mempertahankan kualitasnya selama penyimpanan. Hasil pengamatan susut bobot disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Simulasi Susut Bobot (%) Daun Pegagan Pada Berbagai Waktu Panen Selama Penyimpanan

Waktu Panen	H0	H2	H4	H6
06.00	0.00 ± 0.00^aA	5.86 ± 0.28^bB	11.74 ± 0.46^cC	18.65 ± 0.63^dD
10.00	0.00 ± 0.00^aA	4.92 ± 0.24^bB	9.81 ± 0.41^cC	15.76 ± 0.55^dD
14.00	0.00 ± 0.00^dA	4.18 ± 0.22^dB	8.53 ± 0.38^dC	13.82 ± 0.49^dD
18.00	0.00 ± 0.00^bA	5.34 ± 0.26^bB	10.56 ± 0.43^bC	16.92 ± 0.58^bD

Berdasarkan Tabel 3, susut bobot daun pegagan meningkat secara bertahap pada seluruh perlakuan selama penyimpanan. Peningkatan susut bobot menunjukkan bahwa proses respirasi dan transpirasi terus berlangsung sehingga menyebabkan kehilangan air dan penurunan bobot bahan. Perlakuan panen pada pukul 14.00 WIB menghasilkan susut bobot terendah hingga akhir penyimpanan, sedangkan panen pada pukul 06.00 WIB menunjukkan susut bobot tertinggi. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa waktu panen memengaruhi kemampuan daun pegagan dalam mempertahankan kandungan air selama penyimpanan, yang selanjutnya berpengaruh terhadap stabilitas mutu pascapanen. Untuk memperjelas pola perubahan susut bobot pada setiap waktu panen selama penyimpanan, data tersebut disajikan dalam bentuk grafik garis sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perubahan Susut Bobot Selama Penyimpanan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa susut bobot daun pegagan meningkat secara konsisten pada seluruh perlakuan seiring bertambahnya lama penyimpanan. Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 3, perlakuan panen pada pukul 14.00 WIB menghasilkan susut bobot terendah hingga hari ke-6, yaitu sebesar 13,82%, sedangkan panen pada pukul 06.00 WIB menunjukkan susut bobot tertinggi, yaitu 18,65%. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa waktu panen memengaruhi kemampuan daun pegagan dalam mempertahankan kandungan air dan integritas jaringan selama penyimpanan. Peningkatan susut bobot selama penyimpanan mencerminkan berlangsungnya proses respirasi dan transpirasi yang menyebabkan kehilangan air dari jaringan tanaman. Semakin lama bahan disimpan, semakin besar kehilangan air yang terjadi sehingga bobot bahan terus menurun. Pola ini berbanding terbalik dengan hasil pengamatan total fenolik dan aktivitas antioksidan pada total fenolik dan aktivitas antioksidan. Perlakuan yang mampu mempertahankan kandungan total fenolik dan aktivitas antioksidan lebih tinggi juga menunjukkan susut bobot yang lebih rendah. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa stabilitas metabolit bioaktif berhubungan dengan kemampuan jaringan daun mempertahankan mutu fisiologis selama penyimpanan.

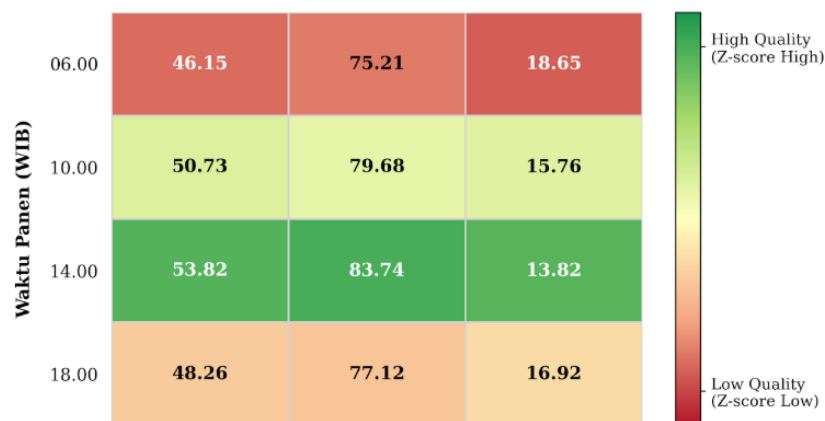
Hasil penelitian ini memperkuat konsep bahwa penurunan mutu pascapanen merupakan konsekuensi dari proses fisiologis yang masih berlangsung setelah pemanenan (Singh et al., 2023). Kehilangan air akibat respirasi dan transpirasi tidak hanya menyebabkan penurunan bobot bahan, tetapi juga berkontribusi terhadap percepatan degradasi komponen biokimia yang berperan dalam mempertahankan kualitas tanaman obat (Pinela et al., 2017). Oleh karena itu, susut bobot dapat digunakan sebagai indikator sederhana untuk mengevaluasi stabilitas mutu pascapanen yang berkaitan erat dengan perubahan kandungan senyawa bioaktif (Mohapatra et al., 2022). Secara praktis, hasil penelitian menunjukkan bahwa pemilihan waktu panen menjadi salah satu faktor penting dalam upaya mempertahankan mutu bahan tanaman obat selama penyimpanan (Yang et al., 2026). Daun pegagan yang dipanen pada pukul 14.00 WIB mengalami susut bobot paling rendah dibandingkan perlakuan lainnya, sehingga berpotensi menghasilkan bahan baku dengan kualitas fisik yang lebih baik. Temuan ini memberikan informasi yang dapat diterapkan oleh petani maupun industri herbal dalam menentukan waktu panen yang mampu meminimalkan kehilangan bobot selama proses penyimpanan, tanpa memerlukan perlakuan tambahan maupun teknologi khusus (Szopa et al., 2019).

Hasil penelitian ini sejalan dengan berbagai penelitian pascapanen yang melaporkan bahwa susut bobot cenderung meningkat seiring bertambahnya lama penyimpanan akibat kehilangan air melalui proses respirasi dan transpirasi (Pillai et al., 2024; Koley et al., 2017). Peningkatan susut bobot merupakan salah satu indikator awal penurunan mutu karena berhubungan dengan perubahan struktur jaringan, penurunan kesegaran, serta berkurangnya stabilitas komponen bioaktif pada bahan tanaman (Sabaragamuwa & Perera, 2023). Oleh karena itu, besarnya susut bobot sering digunakan sebagai parameter penting dalam mengevaluasi kualitas pascapanen berbagai komoditas hortikultura

dan tanaman obat (Ferrante et al., 2017). Berbeda dengan sebagian besar penelitian terdahulu yang lebih menitikberatkan pada pengaruh suhu, kelembapan, atau jenis kemasan terhadap susut bobot, penelitian ini menunjukkan bahwa waktu panen berdasarkan ritme sirkadian juga berkontribusi terhadap perubahan mutu fisik selama penyimpanan (Annunziata et al., 2018; Yang et al., 2026). Daun pegagan yang dipanen pada pukul 14.00 WIB secara konsisten menunjukkan susut bobot paling rendah, sedangkan panen pada pukul 06.00 WIB mengalami kehilangan bobot paling tinggi. Temuan ini memberikan perspektif baru bahwa optimasi waktu panen sebelum proses penyimpanan dapat menjadi strategi sederhana untuk mempertahankan mutu pascapanen tanaman obat. Dengan demikian, pengelolaan waktu panen dapat dipertimbangkan sebagai bagian dari praktik penanganan pascapanen yang mendukung kualitas bahan baku simplisia dan produk herbal (Pillai et al., 2024).

4. Integrasi Mutu Pascapanen Daun Pegagan Berdasarkan Waktu Panen

Evaluasi mutu pascapanen tidak hanya ditentukan oleh satu parameter, tetapi merupakan hasil integrasi berbagai indikator fisiologis dan biokimia. Oleh karena itu, hasil pengamatan total fenolik, aktivitas antioksidan, dan susut bobot diintegrasikan dalam bentuk heatmap untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai pengaruh waktu panen berdasarkan ritme sirkadian terhadap mutu daun pegagan selama penyimpanan. Visualisasi ini memudahkan identifikasi perlakuan yang mampu mempertahankan kualitas pascapanen secara keseluruhan.



Gambar 4. Heatmap Mutu Pascapanen Daun Pegagan (*Centella asiatica*) Berdasarkan Waktu Panen

Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa waktu panen memberikan respons yang berbeda terhadap mutu pascapanen daun pegagan. Perlakuan panen pada pukul 14.00 WIB menunjukkan mutu terbaik yang ditandai dengan kandungan total fenolik dan aktivitas antioksidan tertinggi serta susut bobot terendah. Sebaliknya, panen pada pukul 06.00 WIB menunjukkan mutu terendah dengan kandungan fenolik dan aktivitas antioksidan yang lebih rendah disertai susut bobot tertinggi. Perlakuan panen pada pukul 10.00 WIB dan 18.00 WIB berada pada kategori mutu menengah. Secara keseluruhan, heatmap menegaskan bahwa pemanenan pada pukul 14.00 WIB merupakan waktu yang paling efektif untuk mempertahankan kualitas fisiologis dan kandungan senyawa bioaktif daun pegagan selama penyimpanan, sehingga berpotensi menjadi waktu panen yang direkomendasikan dalam penanganan pascapanen tanaman obat. Heatmap pada Gambar 4 memberikan visualisasi yang lebih komprehensif mengenai respons mutu pascapanen daun pegagan berdasarkan kombinasi tiga parameter utama, yaitu total fenolik, aktivitas antioksidan, dan susut bobot. Integrasi ketiga parameter tersebut menunjukkan bahwa perlakuan panen pada pukul 14.00 WIB secara konsisten menghasilkan kualitas pascapanen terbaik. Kondisi tersebut ditunjukkan oleh kandungan total fenolik dan aktivitas antioksidan yang tertinggi, disertai susut bobot yang paling rendah dibandingkan perlakuan lainnya. Sebaliknya, panen pada pukul 06.00 WIB menunjukkan mutu pascapanen terendah yang ditandai dengan rendahnya kandungan senyawa bioaktif dan tingginya susut bobot selama penyimpanan.

Pola yang terbentuk pada heatmap memperlihatkan adanya hubungan yang konsisten antara ketiga parameter mutu. Perlakuan yang memiliki kandungan total fenolik tinggi cenderung memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi serta mengalami susut bobot yang lebih rendah. Sebaliknya, semakin rendah kandungan total fenolik dan aktivitas antioksidan, semakin besar kehilangan bobot yang terjadi selama penyimpanan. Hubungan tersebut menunjukkan bahwa stabilitas metabolit sekunder dan kemampuan mempertahankan kandungan air merupakan komponen yang saling berkaitan dalam menentukan mutu pascapanen daun pegagan. Secara teoretis, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa evaluasi mutu pascapanen tanaman obat sebaiknya dilakukan melalui pendekatan multidimensi, bukan hanya berdasarkan satu parameter tunggal. Integrasi antara parameter biokimia, seperti total fenolik dan aktivitas antioksidan, dengan parameter fisik berupa susut bobot memberikan gambaran yang lebih utuh mengenai kondisi fisiologis bahan selama penyimpanan (Pinela et al., 2017; Mohapatra et al., 2022). Temuan ini memperkuat konsep bahwa ritme sirkadian memengaruhi kualitas tanaman tidak hanya pada saat pemanenan, tetapi juga terhadap stabilitas mutu selama periode pascapanen (Yang et al., 2026; Annunziata et al., 2018).

Secara praktis, hasil penelitian memberikan dasar ilmiah bagi petani, pelaku usaha simplisia, dan industri herbal dalam menentukan waktu panen yang optimal. Berdasarkan seluruh parameter yang diamati, pemanenan pada pukul 14.00 WIB merupakan waktu yang paling direkomendasikan karena mampu menghasilkan kandungan senyawa bioaktif yang tinggi sekaligus meminimalkan kehilangan bobot selama penyimpanan (Singh et al., 2023). Strategi ini relatif mudah diterapkan di tingkat budidaya karena tidak memerlukan perlakuan tambahan maupun investasi teknologi, tetapi berpotensi meningkatkan kualitas bahan baku tanaman obat secara signifikan (Szopa et al., 2019). Hasil penelitian ini mendukung berbagai penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa mutu pascapanen tanaman obat dipengaruhi oleh kombinasi faktor fisiologis sebelum panen dan perubahan metabolisme setelah pemanenan (Pillai et al., 2024; Ferrante et al., 2017). Sebagian besar penelitian sebelumnya mengevaluasi mutu pascapanen berdasarkan satu atau dua parameter, seperti kandungan senyawa fenolik, aktivitas antioksidan, atau susut bobot secara terpisah (Sabaragamuwa & Perera, 2023). Pendekatan tersebut mampu menjelaskan perubahan masing-masing parameter, namun belum sepenuhnya menggambarkan mutu bahan secara menyeluruh.

Penelitian ini menawarkan pendekatan yang lebih integratif dengan menggabungkan ketiga parameter tersebut dalam bentuk *heatmap* sehingga hubungan antarparameter dapat diamati secara simultan. Visualisasi ini menunjukkan bahwa perlakuan panen pada pukul 14.00 WIB memberikan respons mutu yang paling konsisten dibandingkan waktu panen lainnya. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengonfirmasi bahwa ritme sirkadian memengaruhi kandungan metabolit sekunder dan perubahan mutu fisik selama penyimpanan, tetapi juga menunjukkan bahwa integrasi beberapa indikator mutu merupakan pendekatan yang lebih representatif dalam mengevaluasi kualitas pascapanen tanaman obat (Kunjumon et al., 2022; Yang et al., 2026). Pendekatan integratif ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam penelitian lanjutan maupun dalam pengembangan standar evaluasi mutu bahan baku tanaman obat yang mempertimbangkan aspek biokimia dan fisiologis secara bersamaan (Pinela et al., 2017).

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa waktu panen berdasarkan ritme sirkadian berpengaruh terhadap mutu pascapanen daun pegagan (*Centella asiatica*) yang ditinjau dari kandungan total fenolik, aktivitas antioksidan, dan susut bobot selama penyimpanan. Seluruh parameter mengalami perubahan seiring bertambahnya lama penyimpanan, yang ditandai dengan penurunan kandungan total fenolik dan aktivitas antioksidan serta peningkatan susut bobot akibat proses respirasi, transpirasi, dan degradasi metabolit sekunder yang masih berlangsung setelah pemanenan. Di antara seluruh perlakuan, pemanenan pada pukul 14.00 WIB secara konsisten menghasilkan kandungan total fenolik tertinggi, aktivitas antioksidan tertinggi, serta susut bobot terendah hingga akhir periode penyimpanan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa ritme sirkadian berperan penting dalam

menentukan akumulasi senyawa bioaktif sekaligus memengaruhi stabilitas mutu fisiologis dan biokimia daun pegagan selama proses pascapanen.

Secara ilmiah, penelitian ini memperkuat konsep bahwa pengaturan waktu panen merupakan salah satu faktor penting dalam optimalisasi kualitas tanaman obat. Pendekatan integratif yang menggabungkan parameter total fenolik, aktivitas antioksidan, dan susut bobot memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai mutu pascapanen dibandingkan penggunaan satu indikator secara terpisah. Hasil penelitian juga memberikan implikasi praktis bagi petani, pelaku usaha simplisia, dan industri herbal dalam menetapkan waktu panen yang optimal untuk mempertahankan kualitas bahan baku tanpa memerlukan perlakuan atau teknologi tambahan. Penelitian selanjutnya disarankan memperluas pengkajian pada berbagai varietas pegagan, kondisi lingkungan budidaya, metode penyimpanan, dan parameter fitokimia lainnya agar diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pengaruh ritme sirkadian terhadap kualitas tanaman obat serta pengembangan standar penanganan pascapanen yang lebih efektif.

Daftar Pustaka

- Annunziata, M. G., Apelt, F., Carillo, P., Krause, U., Feil, R., Mengin, V., Lunn, J. E., & Stitt, M. (2018). *Getting back to nature: A reality check for experiments in controlled environments*. *Journal of Experimental Botany*, 69(18), 4463–4477. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery256>
- Ferrante, A., Spinardi, A., Maggiore, T., Testoni, A., & Gallina, P. M. (2017). *Effect of harvesting time and postharvest storage on quality and antioxidant capacity of leafy vegetables*. *Horticulturae*, 3(4), 54. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3040054>
- Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1984). *Statistical procedures for agricultural research* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Koley, T. K., Maurya, A., Tripathi, A., Singh, B. K., Bhuyan, D. J., & Singh, P. M. (2017). *Changes in bioactive compounds and antioxidant capacity of leafy vegetables during storage: A review*. *Journal of Food Biochemistry*, 41(5), e12391. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12391>
- Kumar, A., Singh, B., Kaur, G., Kaur, A., Singh, M., & Kumar, P. (2022). *Recent trends in extraction, identification and quantification methods of Centella asiatica phytochemicals with potential applications in food industry and therapeutic relevance: A review*. *Food Bioscience*, 49, 101864. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101864>
- Kunjumon, R., Johnson, A. J., & Sabulal, B. (2022). *Centella asiatica: Secondary metabolites, biological activities and biomass sources*. *Phytomedicine Plus*, 2(1), 100176. <https://doi.org/10.1016/j.phyplu.2021.100176>
- Llorens, E., Fernández-Crespo, E., Vicedo, B., Lapeña, L., & García-Agustín, P. (2016). *Enhancement of the phenylpropanoid pathway and antioxidant production in plants under environmental cues*. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(6), 921. <https://doi.org/10.3390/ijms17060921>
- Mohapatra, P., Ray, A., Jena, S., Nayak, S., & Mohanty, S. (2022). *Influence of various drying methods on physicochemical characteristics, antioxidant activity, and bioactive compounds in Centella asiatica L. leaves: A comparative study*. *BioTechnologia*, 103(3), 235–247. <https://doi.org/10.5114/bta.2022.118666>
- Montgomery, D. C. (2019). *Design and analysis of experiments* (10th ed.). John Wiley & Sons.
- Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). *Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review*. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3380. <https://doi.org/10.3390/ijms22073380>
- Pagare, S., Bhatia, M., Tripathi, N., Pagare, S., & Bansal, Y. K. (2015). *Secondary metabolites of plants and their role: Overview*. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*, 9(3), 293–304.
- Pérez-Lamela, C., Franco, I., & Falqué, E. (2021). *Impact of high-pressure processing on antioxidant activity during storage of fruits and fruit products: A review*. *Molecules*, 26(17), 5265. <https://doi.org/10.3390/molecules26175265>
- Pillai, A. R. S., Bhosale, Y. K., & Roy, S. (2024). *Extraction of bioactive compounds from Centella asiatica and enlightenment of its utilization into food packaging: A review*. *International Journal of Food Science*, 2024, 1249553. <https://doi.org/10.1155/2024/1249553>

- Pinela, J., Barreira, J. C. M., Antonio, A. L., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). *Quality control of fresh and processed plant foods by evaluation of bioactive compounds and antioxidant activity: A review. Food Chemistry, 211*, 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.172>
- Pinela, J., Barreira, J. C. M., Antonio, A. L., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). *Quality control of fresh and processed plant foods by evaluation of bioactive compounds and antioxidant activity: A review. Food Chemistry, 211*, 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.172>
- Platzer, M., Kiese, S., Herfellner, T., Schweiggert-Weisz, U., & Eisner, P. (2021). *How does the phenol structure influence the results of the Folin–Ciocalteu assay? Antioxidants, 10*(5), 811. <https://doi.org/10.3390/antiox10050811>
- Sabaragamuwa, R., & Perera, C. O. (2023). *Total triterpenes, polyphenols, flavonoids, and antioxidant activity of bioactive phytochemicals of Centella asiatica by different extraction techniques. Foods, 12*(21), 3972. <https://doi.org/10.3390/foods12213972>
- Singh, R., Kharsyntiew, B., Sharma, P., Sahoo, U. K., Sarangi, P. K., Prus, P., & Imbrea, F. (2023). *The effect of production and post-harvest processing practices on quality attributes in Centella asiatica (L.) Urban—A review. Agronomy, 13*(8), 1999. <https://doi.org/10.3390/agronomy13081999>
- Steindal, A. L. H., Johansen, T. J., Bengtsson, G. B., & Hagen, S. F. (2015). *Harvest time and seasonal effects on antioxidant compounds in leafy vegetables. Food Chemistry, 214*, 77–83. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.002>
- Szopa, A., Ekiert, H., Ekiert, R., & Muszyńska, B. (2019). *The influence of cultivation and postharvest conditions on the content of biologically active compounds in medicinal plants. Molecules, 24*(11), 2132. <https://doi.org/10.3390/molecules24112132>
- Taghizadeh, M., & Jalili, S. (2024). *Phytochemical content, antioxidant properties, and antibacterial activities of Centella asiatica L. Natural Product Research, 38*(20), 3693–3698. <https://doi.org/10.1080/14786419.2023.2258439>
- Weissgerber, T. L., Milic, N. M., Winham, S. J., & Garovic, V. D. (2015). *Beyond bar and line graphs: Time for a new data presentation paradigm. PLoS Biology, 13*(4), e1002128. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002128>
- Wilke, C. O. (2019). *Fundamentals of data visualization: A primer on making informative and compelling figures*. O'Reilly Media.
- Yang, G. S., Kang, I. J., Sim, H. S., Jang, S. N., Lee, G. O., Choi, K. O., Lee, J. G., Shin, Y. K., Ho, T. T., & Son, K. H. (2026). *Optimizing photoperiod for growth and centellosides biosynthesis in Centella asiatica under vertical farming conditions. Scientific Reports, 16*, 14537. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-44883-w>