

## Penentuan Nilai Konstanta Daun Sirih Merah dan Hijau Menggunakan Metode Pengolahan Citra Digital untuk Estimasi Luas Daun dengan Metode Montgomery

Aulia Hafizha Akhada<sup>1</sup>, Farchan Mushaf Al Ramadhani\*<sup>2</sup>, Ubad Badrudin<sup>3</sup>, Romaldo da Costa Ximenes<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Pekalongan, Indonesia

<sup>2,3</sup>Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Pekalongan, Indonesia

<sup>4</sup>Program Studi Agronomi, Fakultas Pertanian, Universidade Oriental Timor Lorosa'e, Timor Leste  
Email: <sup>2</sup>farchan.mushaf@gmail.com

### Abstrak

Pengukuran luas daun merupakan parameter penting dalam studi fisiologi dan pertumbuhan tanaman, namun metode konvensional sering memerlukan alat khusus dan prosedur yang kurang efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan menentukan nilai konstanta daun sirih merah dan sirih hijau berbasis pengolahan citra digital sebagai dasar estimasi luas daun menggunakan metode Montgomery. Sebanyak 30 sampel daun masing-masing jenis diambil citranya dengan latar putih dan objek tuntun sebagai skala pembanding, kemudian diolah menggunakan perangkat lunak ImageJ untuk memperoleh luas daun terukur. Dimensi panjang dan lebar daun diukur manual untuk perhitungan konstanta daun, yang selanjutnya dianalisis secara deskriptif dan divalidasi melalui analisis regresi dan statistik akurasi model. Hasil menunjukkan nilai konstanta rata-rata sebesar 0,925 pada sirih merah dan 0,890 pada sirih hijau, dengan distribusi data homogen tanpa outlier. Korelasi antara luas daun terukur dan prediksi menunjukkan hubungan linear yang kuat ( $R^2$  sebesar 0,7145 untuk sirih merah dan 0,7207 untuk sirih hijau). Evaluasi akurasi model menghasilkan RMSE sebesar 2,843 (sirih merah) dan 3,585 (sirih hijau), dengan indeks Willmott mendekati 1. Meskipun demikian, terdapat indikasi overestimasi pada sirih merah yang perlu ditelusuri lebih lanjut. Pendekatan ini berpotensi diterapkan secara luas pada tanaman lain, terutama yang memiliki keterbatasan dalam pengukuran langsung, sehingga dapat menjadi alternatif praktis, efisien, dan murah dibandingkan metode lainnya.

**Kata Kunci:** Konstanta Daun, Metode Montgomery, Pengolahan Citra Digital, Sirih Merah, Sirih Hijau

### Abstract

Leaf area measurement is a crucial parameter in plant physiology and growth studies, yet conventional methods often require specialized tools and inefficient procedures. This study aims to analyze and determine the leaf constant values of red and green betel (*Piper crocatum* and *Piper betle*) using digital image processing as the basis for estimating leaf area through the Montgomery method. A total of 30 leaf samples from each cultivar were captured against a white background with a reference object for scale. The images were processed using ImageJ software to obtain the measured leaf area. Leaf length and width were measured manually to calculate the leaf constant, which was then analyzed descriptively and validated using regression and model accuracy statistics. The results showed average leaf constants of 0.925 for red betel and 0.890 for green betel, with homogeneous data distribution and no outliers. The correlation between measured and predicted leaf areas demonstrated a strong linear relationship ( $R^2 = 0.7145$  for red betel and 0.7207 for green betel). Model accuracy evaluation yielded RMSE values of 2.843 (red betel) and 3.585 (green betel), with Willmott's index approaching 1. Nevertheless, there was an indication of overestimation in red betel that warrants further investigation. This approach has the potential for broader application to other plant species, particularly those with limitations in direct leaf area measurement, offering a practical, efficient, and low-cost alternative to more complex digital methods.

**Keywords:** Digital Image Processing, Green Betel, Leaf Constant, Montgomery Method, Red Betel

## 1. PENDAHULUAN

Tanaman sirih (*Piper spp.*) merupakan tanaman tropis yang memiliki nilai ekonomis dan farmakologis tinggi, terutama jenis sirih merah (*Piper crocatum*) dan sirih hijau (*Piper betle*) (Sadiah et

al., 2022; Singh et al., 2023). Kedua jenis sirih tersebut telah lama digunakan dalam pengobatan tradisional karena mengandung senyawa aktif seperti flavonoid, saponin, dan tanin yang bersifat antibakteri dan antioksidan (Singh et al., 2023). Pada pengembangan budidaya tanaman sirih, informasi morfometrik daun seperti panjang, lebar, dan luas daun menjadi penting sebagai indikator pertumbuhan dan produktivitas tanaman (Kuswandi et al., 2023). Namun, pengukuran luas daun sering kali terkendala oleh keterbatasan alat dan metode yang digunakan, seperti metode *Leaf Area Meter* (LAM) yang mahal, atau metode gravimetri dan millimeter paper yang memakan waktu serta kurang efisien (Al Ramadhani et al., 2024; Sala et al., 2015).

Seiring perkembangan teknologi, pendekatan berbasis pengolahan citra digital telah menjadi solusi modern dalam analisis morfometri daun tanaman. Teknik ini memungkinkan pengukuran luas daun dilakukan secara cepat, akurat, dan efisien hanya dengan memanfaatkan kamera digital dan perangkat lunak pengolah citra (Oso & Jayeola, 2021). Namun, agar metode ini dapat digunakan secara praktis dan luas, dibutuhkan konstanta daun ( $k$ ) yang valid sebagai bagian dari formula Montgomery yaitu  $LA = L \times W \times k$ . Nilai konstanta daun bersifat spesifik terhadap jenis tanaman (Al Ramadhani, 2024; Sala et al., 2015), dan oleh karena itu perlu diidentifikasi terlebih dahulu untuk setiap kultivar atau spesies, termasuk sirih merah dan sirih hijau. Namun, hingga saat ini belum banyak penelitian yang secara khusus mengkaji nilai konstanta daun untuk kedua jenis tanaman tersebut.

Metode konstanta daun berbasis Montgomery memiliki keunggulan sebagai pendekatan non-destruktif yang sederhana namun efektif (Al Ramadhani, 2024; Sala et al., 2015). Keunggulan ini menjadi alternatif dibandingkan metode lainnya seperti analisis *Leaf Area Index* (LAI), *hyperspectral imaging*, atau pendekatan berbasis *machine learning* yang memerlukan perangkat canggih, keahlian khusus, dan waktu pemrosesan yang lebih kompleks (Fu et al., 2025; Liu et al., 2024; Ma et al., 2023). Pada konteks pertanian presisi, metode ini dapat berkontribusi pada sistem *high-throughput phenotyping* untuk mengevaluasi parameter pertumbuhan tanaman secara cepat dan efisien, terutama di lapangan (Gill et al., 2022).

Kesenjangan informasi mengenai nilai konstanta daun pada tanaman sirih merah dan sirih hijau menjadi hambatan dalam pemanfaatan metode Montgomery sebagai alternatif pengukuran luas daun. Padahal, jika konstanta daun telah diketahui secara presisi, maka perhitungan luas daun hanya memerlukan data panjang dan lebar daun, yang secara signifikan dapat mempercepat proses penelitian fisiologi tanaman, agronomi, hingga pemuliaan tanaman (Al Ramadhani et al., 2024; Sala et al., 2015; Umam et al., 2024). Selain itu, pendekatan ini juga berpotensi diterapkan secara lebih luas pada tanaman lainnya yang memiliki karakter morfologi daun terstruktur, sehingga meningkatkan relevansi dan kontribusi metode ini dalam studi lintas spesies. Oleh karena itu, sangat penting untuk melakukan kajian terhadap nilai konstanta daun berdasarkan data aktual dari pengukuran luas daun melalui pengolahan citra digital. Penentuan nilai konstanta daun ini akan menjadi dasar yang kuat dalam pengembangan model estimasi luas daun yang praktis, murah, dan akurat.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan menentukan nilai konstanta daun dari sirih merah dan sirih hijau berbasis pengolahan citra digital. Dengan diperolehnya nilai konstanta daun yang valid untuk kedua jenis sirih tersebut, metode Montgomery dapat diterapkan secara lebih luas tanpa memerlukan alat ukur khusus atau prosedur yang rumit. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi penting dalam bidang agronomi, khususnya dalam studi pertumbuhan dan produktivitas tanaman sirih, serta mendukung efisiensi penelitian morfometrik daun secara umum. Penelitian ini juga memperkuat urgensi pemanfaatan teknologi digital dalam meningkatkan efektivitas pengukuran parameter pertumbuhan tanaman di era pertanian presisi.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Alat dan Bahan

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Pekalongan. Bahan utama yang digunakan adalah daun tanaman sirih merah dan sirih hijau, masing-masing sebanyak 30 helai daun yang diambil secara acak dari tanaman yang sehat dan berumur seragam. Alat yang digunakan yaitu *smartphone* dengan resolusi 12 MP, tripod vertikal-horizontal, kertas manila

putih sebagai latar belakang, objek tuntun berwarna hitam berukuran 5×5 cm, penggaris (ketelitian 0,5 mm), laptop, serta perangkat lunak pengolahan citra digital ImageJ 1.51j8.

## 2.2. Rancangan dan Model Konseptual Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian identifikasi kuantitatif yang bertujuan untuk memperoleh nilai konstanta daun ( $k$ ) dari sirih merah dan sirih hijau. Konstanta daun dihitung berdasarkan metode Montgomery (1911) dengan rumus:

$$LA = L \times W \times k \quad (1)$$

dimana  $LA$  merupakan luas daun ( $\text{cm}^2$ ),  $L$  yaitu panjang daun (cm),  $W$  yaitu lebar daun (cm), dan  $k$  adalah konstanta daun. Nilai konstanta daun diperoleh dengan cara membagi luas daun terukur melalui pengolahan citra digital terhadap hasil perkalian panjang dan lebar daun (Persamaan 2).

$$k = \frac{LA}{L \times W} \quad (2)$$

Nilai konstanta daun yang diperoleh akan digunakan kembali untuk menghitung luas daun yang diprediksi. Perbandingan antara luas daun terukur dan luas daun yang diprediksi menjadi dasar untuk menilai akurasi konstanta tersebut.

## 2.3. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dengan proses dokumentasi daun menggunakan kamera digital yang dipasang secara vertikal untuk menghasilkan citra dua dimensi. Tiap daun difoto di atas bidang datar berwarna putih dengan objek tuntun sebagai skala (Al Ramadhani et al., 2024). Citra digital yang dihasilkan kemudian diolah menggunakan perangkat lunak ImageJ untuk mendapatkan nilai luas daun terukur (*actual leaf area*) (Martin et al., 2020).

Setelah luas daun terukur diperoleh, dimensi fisik daun (panjang dan lebar) diukur secara manual menggunakan penggaris. Data panjang dan lebar daun digunakan untuk menghitung nilai konstanta daun menggunakan persamaan Montgomery. Selanjutnya, dilakukan perhitungan rata-rata nilai konstanta daun untuk masing-masing jenis tanaman. Rata-rata konstanta yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menghitung luas daun yang diprediksi (*predicted leaf area*) menggunakan dimensi panjang dan lebar daun. Tahapan akhir adalah membandingkan hasil prediksi dengan hasil pengukuran citra digital.

## 2.4. Teknik Analisis Data

Nilai konstanta daun yang telah dihitung dari setiap sampel dianalisis secara deskriptif menggunakan Microsoft Excel untuk memperoleh ukuran statistik seperti nilai minimum, maksimum, kuartil ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ ), standar deviasi, dan nilai rata-rata. Distribusi data konstanta daun divisualisasikan menggunakan grafik boxplot untuk mengevaluasi homogenitas dan sebaran nilai konstanta. Jika data memiliki distribusi yang stabil dan tidak mengandung outlier ekstrem, maka nilai rata-rata konstanta daun dianggap layak untuk digunakan sebagai faktor koreksi dalam perhitungan luas daun prediktif.

Selanjutnya, dilakukan analisis regresi linier antara luas daun terukur (dari citra digital) dengan luas daun yang diprediksi (hasil perhitungan menggunakan nilai rata-rata konstanta). Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) digunakan untuk menilai tingkat keeratan hubungan antara kedua variabel tersebut. Untuk mengevaluasi akurasi model prediksi, digunakan indikator statistik *Root Mean Square Error (RMSE)*, *Normalized Root Mean Square Error (NRMSE)*, *Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)*, dan *Willmott's Index of Agreement (d)* (Al Ramadhani, 2024; Al Ramadhani et al., 2023). Rumus dari masing-masing parameter tersebut dapat dilihat pada Persamaan 3-7.

$$R^2 = \frac{[\sum(O_i - \bar{O}) - (P_i - \bar{P})]}{[(O_i - \bar{O}) \times \sum(P_i - \bar{P})]} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(P_i - O_i)}{n}} \quad (4)$$

$$NRMSE = \frac{1}{\bar{O}} \sqrt{\frac{\sum(P_i - O_i)^2}{n}} \times 100 \quad (5)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(O_i - \bar{O})^2} \quad (6)$$

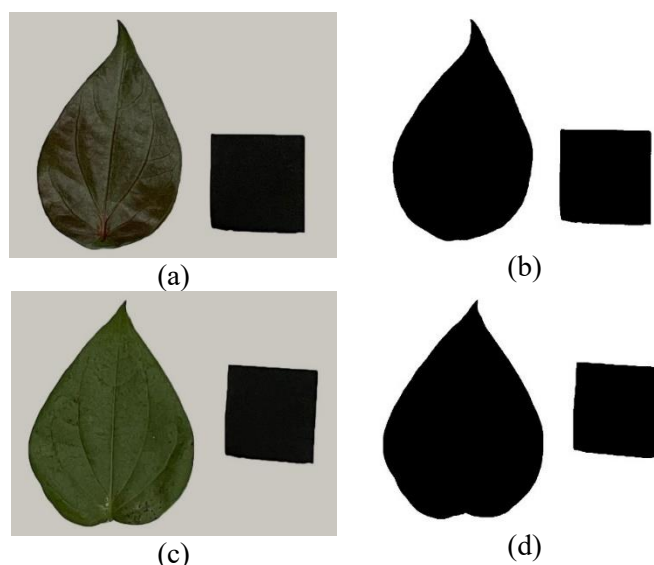
$$d = 1 - \frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (7)$$

Keterangan:

- $O_i$  : data hasil pengamatan
- $\bar{O}$  : rata-rata data hasil pengamatan
- $P_i$  : data hasil prediksi
- $\bar{P}$  : rata-rata data hasil prediksi
- $n$  : jumlah data
- $d$  : *index of agreement*

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan awal dalam penelitian ini adalah pengambilan citra daun sirih merah dan sirih hijau secara digital menggunakan kamera yang diposisikan tegak lurus terhadap objek. Setiap daun difoto bersama objek tuntun berukuran 5×5 cm sebagai acuan skala pengukuran. Setelah proses pengambilan citra, gambar kemudian diolah menggunakan perangkat lunak ImageJ untuk mengubah citra asli menjadi citra biner, sehingga memudahkan proses perhitungan luas daun berbasis pixel. Transformasi citra ini dilakukan untuk memisahkan objek daun dari latar belakang dan menghasilkan visualisasi bentuk daun yang solid (terisi penuh) sebagai dasar perhitungan luas (Sala et al., 2015). Gambar 1 menunjukkan hasil pengolahan tersebut, mulai dari citra asli daun sirih merah dan sirih hijau, hingga bentuk citra biner masing-masing. Proses ini penting untuk memastikan bahwa pengukuran luas daun yang diperoleh dari pengolahan citra digital bersifat akurat, terstandar, dan bebas dari gangguan visual seperti bayangan atau pencahayaan yang tidak merata (Sudianto & Husna, 2025).



Gambar 1. Pengolahan dan pengukuran luas daun berbasis pengolahan citra digital; (a) citra asli daun sirih merah, (b) citra biner daun sirih merah, (c) citra asli daun sirih hijau, dan (d) citra biner daun sirih hijau

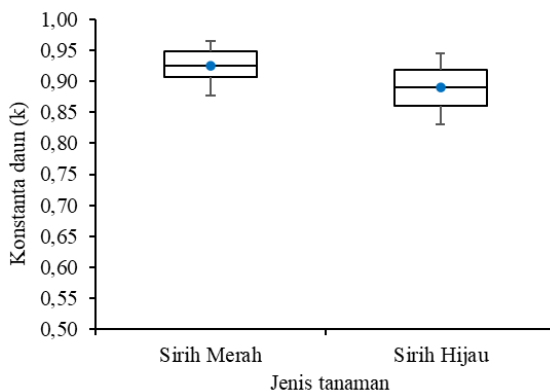
Pengukuran luas daun sirih merah dan sirih hijau dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu melalui pengolahan citra digital untuk memperoleh luas daun terukur, serta pengukuran panjang dan lebar daun secara manual. Data hasil pengukuran tersebut disajikan pada Tabel 1 yang memuat nilai luas daun terukur, dimensi daun, dan nilai konstanta daun ( $k$ ) untuk masing-masing sampel. Berdasarkan data tersebut, nilai konstanta daun sirih merah berkisar antara 0,877 hingga 0,965 dengan rata-rata sebesar 0,925, sedangkan sirih hijau memiliki kisaran antara 0,831 hingga 0,945 dengan rata-rata sebesar 0,890. Hal ini menunjukkan bahwa konstanta daun sirih merah cenderung lebih tinggi dibandingkan sirih hijau, yang mengindikasikan perbedaan karakteristik morfometri di antara kedua jenis daun tersebut (Nguyen & Do, 2025). Nilai konstanta daun yang diperoleh menjadi dasar penting dalam perhitungan luas daun prediktif menggunakan metode Montgomery.

Tabel 1. Hasil pengukuran luas daun terukur berbasis pengolahan citra digital dan pengukuran dimensi daun untuk daun sirih merah dan sirih hijau

Sampel	Sirih Merah				Sirih Hijau			
	Luas Daun Terukur (cm <sup>2</sup> )	Panjang (cm)	Lebar (cm)	$k$	Luas Daun Terukur (cm <sup>2</sup> )	Panjang (cm)	Lebar (cm)	$k$
1	107,633	12	9,9	0,906	106,80	13	9,2	0,893
2	109,243	11,8	9,8	0,945	105,75	14	8,3	0,910
3	106,831	12	10	0,890	104,06	14	8,4	0,885
4	108,850	13	9	0,930	84,98	12,1	8	0,878
5	107,201	13	9,4	0,877	94,84	12	9,2	0,859
6	108,846	12	9,5	0,955	104,08	14	8,1	0,918
7	108,701	13	9	0,929	106,91	14	9	0,848
8	112,812	13	9,5	0,913	102,94	13	8,9	0,890
9	103,216	13	9	0,882	103,10	13,7	8	0,941
10	105,188	13	8,5	0,952	95,87	12	8,8	0,908
11	103,543	13	8,8	0,905	95,55	13	8	0,919
12	108,137	12	9,5	0,949	104,17	14,3	8,5	0,857
13	111,638	12,5	9,8	0,911	105,79	14,3	8	0,925
14	106,396	12,8	9	0,924	98,78	12	9,9	0,832
15	109,699	12,9	8,9	0,955	104,83	13,9	8,4	0,898
16	108,869	12	9,5	0,955	101,89	14	7,7	0,945
17	100,868	11,8	9,5	0,900	93,95	12	9	0,870
18	106,613	12,3	9,4	0,922	98,33	13,8	7,7	0,925
19	114,976	13,3	9,7	0,891	97,19	14	8,1	0,857
20	103,728	12,5	8,8	0,943	92,80	12,5	8,4	0,884
21	107,448	13	9	0,918	103,90	13,8	8	0,941
22	106,275	13,2	8,7	0,925	93,85	12	8,5	0,920
23	106,909	12,5	9,6	0,891	91,97	13,5	8,2	0,831
24	106,105	13	9	0,907	98,64	13,5	8,2	0,891
25	97,361	11,3	9	0,957	86,99	13,4	7,5	0,866
26	104,659	11,6	9,5	0,950	102,24	14	8,2	0,891
27	95,077	12	8,4	0,943	88,82	13	7,3	0,936
28	100,911	13	8,4	0,924	88,571	13	8	0,852
29	106,804	12,3	9	0,965	95,968	13,8	7,9	0,880
30	105,745	13	8,8	0,924	85,936	13	7,7	0,859

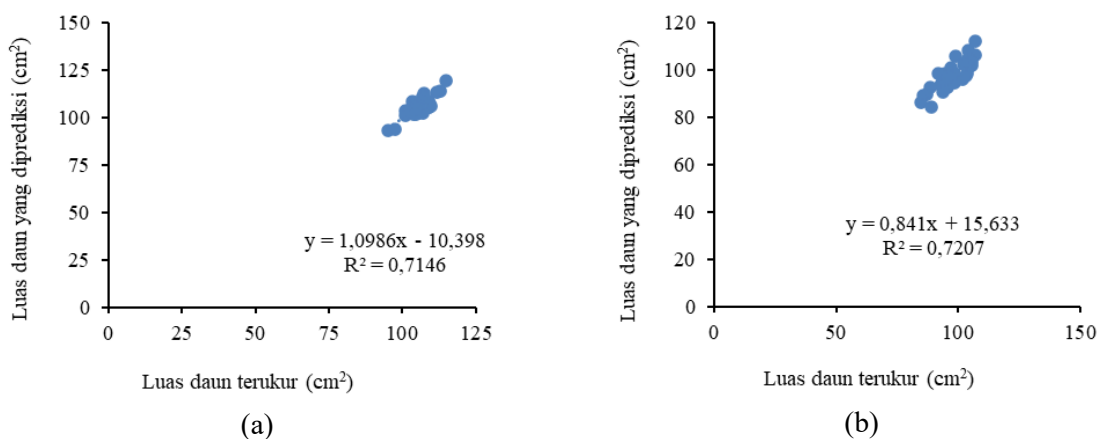
Distribusi nilai konstanta daun sirih merah dan sirih hijau divisualisasikan dalam bentuk boxplot seperti ditampilkan pada Gambar 2. Boxplot tersebut menunjukkan bahwa konstanta daun sirih merah memiliki sebaran yang lebih tinggi, dengan rentang interkuartil yang sempit dan median yang terletak mendekati kuartil atas, menandakan data cenderung terdistribusi ke arah nilai lebih besar. Sebaliknya, sirih hijau menunjukkan sebaran konstanta yang lebih rendah dengan median yang mendekati kuartil

bawah, mengindikasikan adanya kecenderungan nilai konstanta yang lebih kecil dibandingkan sirih merah. Kedua jenis tanaman tidak menunjukkan adanya pencilan (*outlier*), yang menandakan distribusi data cukup homogen dan tidak ada nilai ekstrem yang menyimpang (Walker et al., 2018). Pola distribusi ini memperkuat hasil analisis sebelumnya bahwa sirih merah memiliki karakteristik konstanta daun yang lebih tinggi dan stabil dibandingkan sirih hijau, sehingga dapat menjadi indikator penting dalam pengembangan model estimasi luas daun berbasis metode konstanta.



Gambar 2. Boxplot konstanta daun sirih merah dan sirih hijau

Tahapan selanjutnya dalam penelitian ini adalah mengkaji hubungan antara luas daun terukur hasil pengolahan citra digital dengan luas daun yang diprediksi menggunakan metode konstanta daun. Analisis ini dilakukan untuk menilai sejauh mana keakuratan dan validitas nilai konstanta daun yang telah diperoleh dalam memperkirakan luas daun (Al Ramadhani, 2024). Hubungan antara kedua variabel tersebut divisualisasikan dalam bentuk grafik korelasi untuk masing-masing jenis daun, yaitu sirih merah dan sirih hijau. Melalui pendekatan regresi linier, dapat diamati pola hubungan serta nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebagai indikator kekuatan hubungan antar variabel. Gambar 3 berikut ini menyajikan hasil analisis tersebut, yang menjadi dasar evaluasi kinerja model estimasi berbasis konstanta daun.



Gambar 3. Grafik korelasi luas daun terukur hasil pengolahan citra digital dengan luas daun yang diprediksi hasil pengukuran dengan menggunakan metode konstanta daun; (a) sirih merah, dan (b) sirih hijau

Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa hubungan antara luas daun terukur dan luas daun yang diprediksi menunjukkan pola linear yang cukup kuat baik pada sirih merah maupun sirih hijau. Pada sirih merah (Gambar 3a), persamaan regresi yang diperoleh adalah  $y = 1,0986x - 10,398$  dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,7146, sedangkan pada sirih hijau (Gambar 3b) diperoleh persamaan  $y = 0,841x + 15,633$  dengan  $R^2$  sebesar 0,7207. Hasil ini memperlihatkan bahwa metode konstanta daun mampu memberikan

estimasi luas daun yang cukup baik, meskipun pada sirih merah cenderung sedikit mengalami overestimasi dan pada sirih hijau terjadi kecenderungan underestimasi. Pola penyebaran titik-titik data yang rapat terhadap garis regresi juga menunjukkan bahwa penggunaan nilai rata-rata konstanta daun memberikan hasil prediksi yang konsisten (Breure & Siregar, 2021), sehingga metode ini layak diterapkan dalam estimasi luas daun secara praktis.

Tabel 2. Hasil analisis statistik luas daun terukur hasil pengolahan citra digital dengan luas daun yang diprediksi hasil pengukuran dengan metode konstanta daun

Tanaman	RMSE	NRMSE	NSE	d
Sirih Merah	2.843	0.027	0.508	0.899
Sirih Hijau	3.585	0.037	0.701	0.918

Hasil analisis statistik akurasi model prediksi luas daun menggunakan metode konstanta daun disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan nilai *RMSE*, sirih merah memiliki nilai sebesar 2,843, sedangkan sirih hijau sebesar 3,585. Nilai *RMSE* yang lebih rendah pada sirih merah menunjukkan bahwa model prediksi untuk jenis ini menghasilkan selisih atau galat yang lebih kecil terhadap hasil pengukuran aktual. Nilai *NRMSE* juga memperlihatkan hasil yang cukup baik, yaitu 0,027 untuk sirih merah dan 0,037 untuk sirih hijau, yang menunjukkan bahwa kesalahan prediksi relatif sangat kecil terhadap rentang data aktual (Koyama, 2023). Secara umum hasil ini mengindikasikan bahwa penggunaan konstanta daun mampu menghasilkan prediksi luas daun dengan tingkat kesalahan yang rendah, terutama pada sirih merah.

Selain itu, nilai *NSE* yang diperoleh sebesar 0,508 untuk sirih merah dan 0,701 untuk sirih hijau menunjukkan bahwa model prediksi memiliki tingkat ketepatan yang cukup baik, terutama pada sirih hijau yang memiliki nilai *NSE* mendekati 1. Indeks kesepakatan Willmott (*d*) juga memperkuat hasil tersebut dengan nilai sebesar 0,899 untuk sirih merah dan 0,918 untuk sirih hijau, yang berarti prediksi model sangat mendekati hasil pengukuran aktual. Meskipun sirih hijau menunjukkan nilai *RMSE* yang lebih tinggi, akurasi model pada jenis ini tetap terjaga dengan baik. Hal tersebut tercermin dari nilai *NSE* dan *d* yang tinggi, yang menandakan bahwa model konstanta daun memberikan performa estimasi yang dapat diandalkan untuk kedua jenis sirih (Al Ramadhani, 2024; Kumar et al., 2017). Dengan demikian, metode ini dapat menjadi alternatif yang efektif dalam pengukuran luas daun secara praktis dan efisien.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan sebelumnya pada tanaman lain, seperti alpukat dan manggis, yang menunjukkan bahwa penggunaan konstanta daun spesifik mampu menghasilkan estimasi luas daun yang akurat dan efisien. Beberapa penelitian terdahulu, seperti yang dilaporkan oleh Sala et al. (2015) pada apel dan Al Ramadhani (2024) pada rambutan dan jambu air, juga menemukan bahwa nilai konstanta daun memiliki perbedaan antar spesies dan kultivar, namun tetap memberikan hasil estimasi yang konsisten. Penemuan nilai konstanta daun pada sirih merah dan sirih hijau ini memberikan manfaat penting, terutama dalam mempercepat proses pengukuran morfometrik daun tanpa memerlukan alat khusus seperti *Leaf Area Meter*. Selain itu, penggunaan metode ini juga mendukung efisiensi dalam penelitian fisiologi tanaman, pemuliaan, dan manajemen budidaya berbasis data di era pertanian presisi (Al Ramadhani et al., 2024; Wu et al., 2018). Dengan demikian, hasil penelitian ini memberikan kontribusi baru dalam pengembangan metode pengukuran luas daun berbasis konstanta pada tanaman sirih yang sebelumnya belum banyak diteliti, sekaligus memperluas penerapan metode Montgomery secara praktis di lapangan.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menentukan nilai konstanta daun sirih merah sebesar 0,925 dan sirih hijau sebesar 0,890 berdasarkan pengolahan citra digital, yang berperan penting dalam estimasi luas daun menggunakan metode Montgomery. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan konstanta daun ini mampu menghasilkan prediksi luas daun dengan tingkat kesalahan yang rendah dan akurasi model yang cukup baik, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai *RMSE*, *NRMSE*, *NSE*, dan indeks Willmott (*d*) yang memuaskan. Temuan ini mengonfirmasi bahwa metode pengukuran berbasis konstanta daun dapat

menjadi alternatif praktis, murah, dan efisien yang mendukung pengambilan keputusan dalam pemantauan pertumbuhan tanaman, serta evaluasi performa agronomis dalam program pemuliaan. Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan pada jumlah sampel dan variasi lingkungan, sehingga disarankan untuk memperluas jumlah sampel, jenis tanaman, serta kondisi pertanaman pada penelitian selanjutnya. Di masa mendatang, sistem pengukuran berbasis citra digital ini berpotensi dikembangkan menjadi platform otomatis dan adaptif untuk berbagai jenis tanaman, sehingga mendukung integrasi data morfometrik dalam sistem pertanian presisi secara *real-time*. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan kontribusi baru dalam pemanfaatan teknologi digital untuk pengukuran nilai konstanta daun sirih dan berpotensi diterapkan lebih luas pada berbagai penelitian fisiologi dan agronomi tanaman.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al Ramadhani, F. M. (2024). Identifikasi nilai konstanta daun tanaman rambutan dan jambu air berbasis pengolahan citra digital. *Jurnal Penelitian Inovatif (JUPIN)*, 4(2), 655–664. <https://doi.org/10.54082/jupin.400>
- Al Ramadhani, F. M., Bowo, C., & Slameto. (2023). The use of aquacrop model for soybean in various water availability within a lysimeter system. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, 7(4), 399–413. <https://doi.org/10.55043/jaast.v7i4.153>
- Al Ramadhani, F. M., Sajuri, Amin, R., & Lutfiana, A. (2024). Metode pengukuran luas daun tanaman menggunakan bantuan objek tuntun berbasis pengolahan citra digital. *Jurnal Pertanian Agros*, 26(4), 1677–1688. <https://doi.org/10.37159/jpa.v26i4.4832>
- Breure, C. J., & Siregar, M. M. (2021). Reassessing the estimation of leaf area in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) by linear regression equation. *Experimental Agriculture*, 56, 815–824. <https://doi.org/10.1017/S0014479720000332>
- Fu, W., Chen, Z., Cheng, Q., Li, Y., Zhai, W., Ding, F., Kuang, X., Chen, D., & Duan, F. (2025). Maize leaf area index estimation based on machine learning algorithm and computer vision. *Agriculture*, 15(12), 1–22. <https://doi.org/10.3390/agriculture15121272>
- Gill, T., Gill, S. K., Saini, D. K., Chopra, Y., de Koff, J. P., & Sandhu, K. S. (2022). A comprehensive review of high throughput phenotyping and machine learning for plant stress phenotyping. *Phenomics*, 2(3), 156–183. <https://doi.org/10.1007/s43657-022-00048-z>
- Koyama, K. (2023). Leaf area estimation by photographing leaves sandwiched between transparent clear file folder sheets. *Horticulturae*, 9, 1–20. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9060709>
- Kumar, M. K., Kumar, R. S., Sankar, V., Sakthivel, T., Karunakaran, G., & Tripathi, P. C. (2017). Non-destructive estimation of leaf area of durian (*Durio zibethinus*) – An artificial neural network approach. *Scientia Horticulturae*, 219, 319–325. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.028>
- Kuswandi, P. C., Ariyanti, N. A., Yunus, M. F., & Amri, C. N. A. C. (2023). Anatomical, morphological and physiological leaf characters of black betel (*Piper betle* L. var. *nigra*) in varying natural and man-made habitats. *Biodiversitas*, 24(6), 3236–3244. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240618>
- Liu, H., Xiang, Y., Chen, J., Wu, Y., Du, R., Tang, Z., Yang, N., Shi, H., Li, Z., & Zhang, F. (2024). A new spectral index for monitoring leaf area index of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) under different coverage methods and nitrogen treatments. *Plants*, 13(14), 1–16. <https://doi.org/10.3390/plants13141901>
- Ma, J., Zhang, J., Wang, J., Khromykh, V., Li, J., & Zhong, X. (2023). Global leaf area index research over the past 75 years: A comprehensive review and bibliometric analysis. *Sustainability*, 15(4), 1–30. <https://doi.org/10.3390/su15043072>
- Martin, T. N., Fipke, G. M., Winck, J. E. M., & Marchese, J. A. (2020). ImageJ software as an alternative method for estimating leaf area in oats. *Acta Agronómica*, 69(3), 162–169. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n3.69401>
- Montgomery, E. G. (1911). *Correlation studies in corn. Annual report no. 24. Agricultural*



*Experimental Station.*

- Nguyen, T. P., & Do, K. T. (2025). Identification of mango (*Mangifera indica* L.) cultivars in the Mekong Delta using ISSR markers and DNA barcodes. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 13(2), 68–75. <https://doi.org/10.7324/JABB.2025.221280>
- Oso, O. A., & Jayeola, A. A. (2021). Digital morphometrics: Application of MorphoLeaf in shape visualization and species delimitation, using *Cucurbitaceae* leaves as a model. *Application Article*, 9(9–10), 1–14. <https://doi.org/10.1002/aps3.11448>
- Sadiyah, H. H., Cahyadi, A. I., & Windria, S. (2022). Kajian potensi daun sirih (*Piper betle* L) sebagai antibakteri. *Jurnal Sain Veteriner*, 40(2), 128–138. <https://doi.org/10.22146/jsv.58745>
- Sala, F., Arsene, G., Iordanescu, O., & Boldea, M. (2015). Leaf area constant model in optimizing foliar area measurement in plants: A case study in apple tree. *Scientia Horticulturae*, 193, 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.008>
- Singh, T., Singh, P., Kumar, V., Singh, R., & Dar, A. H. (2023). A literature review on bioactive properties of betel leaf (*Piper betel* L.) and its applications in food industry. *Food Chemistry Advances*, 3, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100536>
- Sudianto, A. I., & Husna, A. (2025). Application of digital image processing to the measurement of Leaf Area Index (LAI) of rice plants (*Oryza sativa* L.). *Jurnal SimanteC*, 13(2), 163–170. <https://doi.org/10.21107/simantec.v13i2.30151>
- Umam, C., Uluwiy, A., Auliya, R., Putri, R. N., & Alwi, M. T. (2024). Perhitungan luas daun tanaman kayu putih (*Melaleuca leucadendra*) dengan manual dan digital (ImageJ). *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno*, 9(2), 16–22. <https://doi.org/10.24843/JITPA/2024.v09.i02.p02>
- Walker, M. L., Dovoedo, Y. H., Chakraborti, S., & Hilton, C. W. (2018). An improved boxplot for univariate data. *The American Statistician*, 0(0), 1–6. <https://doi.org/10.1080/00031305.2018.1448891>
- Wu, D., Phinn, S., Johansen, K., Robson, A., Muir, J., & Searle, C. (2018). Estimating changes in leaf area, leaf area density, and vertical leaf area profile for mango, avocado, and macadamia tree crowns using terrestrial laser scanning. *Remote Sensing*, 10(11), 1–17. <https://doi.org/10.3390/rs10111750>

**Halaman Ini Dikosongkan**