

**METODE PENGUKURAN LUAS DAUN TANAMAN MENGGUNAKAN BANTUAN
OBJEK TUNTUN BERBASIS PENGOLAHAN CITRA DIGITAL**
**PLANT LEAF AREA MEASUREMENT METHOD USING TUNTUN OBJECT BASED ON
DIGITAL IMAGE PROCESSING**

¹Farchan Mushaf Al Ramadhani¹, Sajuri², Rohmatul Amin³, Anisa Lutfiana⁴
^{1,2,3,4}Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Pekalongan

ABSTRACT

Leaf area data is required to measure leaf area index and net assimilation. Several existing leaf area measurement methods have advantages and disadvantages. Therefore, developing a method that can address some of these shortcomings is necessary. This research aims to analyze the accuracy and feasibility of leaf area measurement methods using object tuntun and digital image processing. The research method used is to compare leaf area measurement techniques using the leaf constant method, leaf area meter, and method of measuring leaf area with the help of digital image processing-based objects tuntun. Data analysis uses R², RMSE, NRMSE, NSE, and d. The results showed that the leaf area measurement method using digital image processing-based object tuntun assistance is excellent and accurate, and the results have a robust and linear correlation with leaf area measurements using the leaf constant method and leaf area meter. Therefore, the method of measuring leaf area using the help of digital image processing-based objects tuntun is very feasible to be developed and applied to become one of the methods of calculating leaf area that is accurate, fast, and for various leaf sizes and various types of plants.

Key-words: Digital image processing; Leaf area; Tuntun object

INTISARI

Data luas daun diperlukan untuk pengukuran indeks luas daun dan asimilasi bersih. Beberapa metode pengukuran luas daun yang ada memiliki kelebihan dan kekurangan. Oleh karena itu, perlu dikembangkan metode yang dapat menjawab kekurangan dari beberapa metode tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis tingkat ketelitian dan kelayakan metode pengukuran luas daun menggunakan bantuan objek tuntun dan pengolahan citra digital. Metode penelitian yang digunakan yaitu membandingkan teknik pengukuran luas daun menggunakan metode konstanta daun, *leaf area meter* dan metode objek tuntun berbasis pengolahan citra digital. Analisis data menggunakan R², RMSE, NRMSE, NSE, dan d. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode pengukuran luas daun menggunakan bantuan objek tuntun berbasis pengolahan citra digital sangat baik dan akurat, serta hasilnya memiliki korelasi sangat kuat dan linier dengan pengukuran luas daun menggunakan metode konstanta daun serta *leaf area meter*. Oleh karena itu, metode pengukuran luas daun menggunakan bantuan objek tuntun berbasis pengolahan citra digital ini sangat layak untuk dikembangkan dan diterapkan menjadi salah satu metode perhitungan luas daun yang akurat, cepat dan untuk berbagai ukuran daun serta berbagai jenis tanaman.

Kata kunci: Luas daun; Objek tuntun; Pengolahan citra digital

¹ Alamat penulis untuk korespondensi: Farchan Mushaf Al Ramadhani. Email: farchanmushaf@unikal.ac.id

PENDAHULUAN

Daun merupakan salah satu organ tanaman yang penting, karena pada daun terdapat bagian atau komponen tempat berlangsungnya proses fotosintesis dan transpirasi yang menentukan pertumbuhan tanaman (Andrian *et al.*, 2022; Irwan & Wicaksono, 2017; Nurholis *et al.*, 2023; Usman *et al.*, 2018). Ratusan kloroplas yang terdapat pada daun dewasa memiliki peran terhadap proses fotosintesis (Andrian *et al.*, 2022; Susilo, 2015). Oleh sebab itu, data luas daun adalah salah satu parameter penting dalam analisis pertumbuhan suatu tanaman.

Data luas daun diperlukan untuk pengukuran indeks luas daun dan asimilasi bersih (Nurholis *et al.*, 2023; Wicaksono & Kadapi, 2021). Indeks luas daun adalah perbandingan antara luas daun tanaman dengan luas kanopi yang ditutupinya untuk melihat efektivitas tanaman dalam melakukan fotosintesis (Bréda, 2003; Risdiyanto & Setiawan, 2007). Laju asimilasi bersih yaitu indikator pertumbuhan yang menghitung peningkatan bobot tanaman per luas daun (Nurholis *et al.*, 2023; Shipley, 2002, 2006). Selain itu, data luas daun juga diperlukan untuk memperkirakan respirasi, evaporasi dan fotosintesis yang dapat terjadi (Lindroth *et al.*, 2008).

Beberapa metode pengukuran luas daun yang ada yaitu metode konstanta daun (Chaudhary *et al.*, 2012; Susilo, 2015), metode kertas milimeter (Pandey & Singh, 2011), metode gravimetri (Irwan & Wicaksono, 2017), metode scanning dan metode Leaf Area Meter (LAM) (Chandran *et al.*, 2015; Huang *et al.*, 2005; Nie *et al.*, 2010; Sala *et al.*, 2015; Tech *et al.*, 2018; Tu *et al.*, 2021). Metode konstanta daun merupakan metode yang paling mudah digunakan dengan berdasarkan dimensi daun (panjang dan lebar), tetapi untuk akurasi yang tinggi perlu digunakan faktor koreksi yang

optimal (Chaudhary *et al.*, 2012). Sedangkan metode kertas milimeter merupakan metode yang sangat sulit diterapkan karena membutuhkan ketelitian yang tinggi, waktu yang lama dan tidak cocok untuk daun yang berbentuk majemuk (Pandey & Singh, 2011). Metode gravimetri kertas merupakan metode yang menerapkan prinsip luas daun ditaksir melalui perbandingan berat (gravimetri). Metode tersebut membutuhkan waktu yang sangat lama dan membutuhkan banyak kertas (Irwan & Wicaksono, 2017). Metode scanning dan metode LAM merupakan metode pengukuran luas daun yang paling akurat (Chandran *et al.*, 2015; Huang *et al.*, 2005; Nie *et al.*, 2010; Sala *et al.*, 2015; Tech *et al.*, 2018; Tu *et al.*, 2021). Namun pada penerapannya selain alatnya yang mahal, metode tersebut tidak dapat digunakan untuk daun yang memiliki ukuran yang besar.

Berdasarkan beberapa metode tersebut, masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangannya. Oleh karena itu, perlu dicari metode yang dapat menjawab kekurangan dari beberapa metode tersebut. Untuk kepentingan hal tersebut, maka perlu dilakukan suatu penelitian terkait metode pengukuran luas daun dengan menggunakan bantuan objek tuntun berbasis pengolahan citra digital. Objek tuntun merupakan suatu suatu objek yang berbentuk persegi atau bujur sangkar yang telah diketahui panjang sisinya dan luasannya (Tamrin, 2013). Sementara itu, pengolahan citra digital adalah ilmu yang mempelajari terkait bagaimana suatu citra itu dibentuk, diolah dan dianalisis sehingga menghasilkan informasi yang dapat dipahami oleh manusia (Nurholis *et al.*, 2023). Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis tingkat ketelitian dan kelayakan metode pengukuran luas daun menggunakan bantuan objek tuntun dan pengolahan citra digital.

METODE

Alat yang digunakan yaitu Kamera Canon Mirrorless M3, tripod vertikal dan horizontal, *leaf area meter* (LAM), penggaris, akrilik, kertas manila warna putih, objek tuntun warna hitam ukuran 5x5 cm, laptop dan software ImageJ. Sementara bahan yang digunakan yaitu sebanyak 30 daun tanaman jambu air (*Eugenia aquea* L.) dan 30 daun tanaman rambutan (*Nephelium lappaceum* L.). Pengukuran luas daun yang digunakan terdiri dari tiga metode yaitu metode konstanta daun (M_{KD}), metode *leaf area meter* (M_{LAM}) dan metode objek tuntun berbasis pengolahan citra digital (M_{OP}). Pengukuran luas daun dengan konstanta daun menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Luas daun (cm}^2\text{)} = p \times l \times k \quad (1)$$

Keterangan:

p : panjang daun (cm)

l : lebar daun (cm)

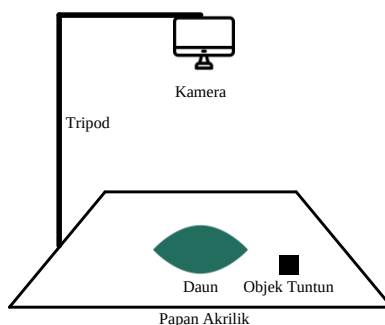
k : konstanta daun

Pada penelitian ini menggunakan daun tanaman jambu air dan rambutan yang memiliki nilai konstanta (k) berturut-turut sebesar 0,700 dan 0,686 (Susilo, 2015).

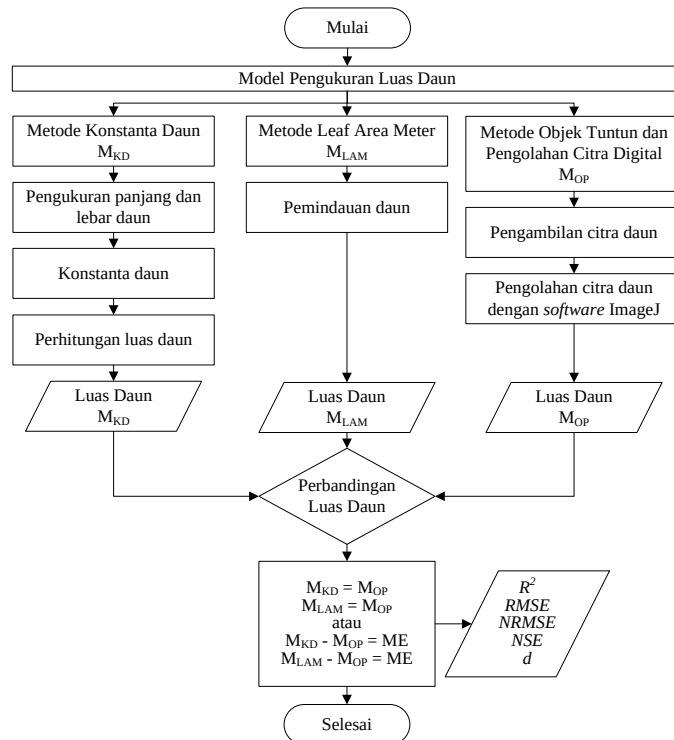
Pengukuran luas daun dengan metode *leaf area meter* yaitu menggunakan alat *leaf area meter* (LAM). Cara kerja LAM yaitu daun langsung dijepit dengan alat LAM untuk mengetahui nilai luas daun (Chandran S *et al.*, 2015). LAM merupakan suatu alat yang

portable, dapat mengukur luas daun secara cepat dan akurat (Chandran S *et al.*, 2015), namun alat tersebut mempunyai harga yang mahal dan hanya terbatas untuk daun yang berukuran kecil sesuai dengan dimensi dari alat LAM. Pada penelitian (Usman *et al.*, 2018) menghasilkan bahwa akurasi LAM lebih tinggi dibandingkan pengukuran luas daun menggunakan metode konstanta daun.

Pengukuran luas daun dengan menggunakan bantuan objek tuntun berbasis pengolahan citra secara prinsip memiliki dua tahap. Tahap pertama yaitu akuisisi citra dan tahap kedua yaitu pengolahan citra. Tahap pertama merupakan akuisisi citra atau pengambilan citra daun (Gambar 1). Pada tahapan ini, sampel daun dan objek tuntun diletakkan di atas papan akrilik putih (*background*). Kemudian atur jarak kamera agar dapat menangkap sampel daun dan objek tuntun dalam satu frame. Pada penelitian ini, jarak kamera dengan sampel yaitu 50 cm. Pengaturan jarak kamera terhadap objek tergantung dari besar kecilnya ukuran sampel daun yang digunakan agar sampel dan objek tuntun dapat direkam dalam satu frame. Penggunaan objek tuntun bertujuan untuk mengurangi pengaruh faktor jarak pada saat pengambilan citra daun tanaman (Tamrin, 2013).



Gambar 1. Desain Pengambilan Citra Daun Metode Objek Tuntun Berbasis Pengolahan Citra Digital



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Tahap kedua yaitu pengolahan citra menggunakan *software* ImageJ untuk diketahui nilai luas daun. ImageJ adalah *software* pemrosesan gambar yang dapat menampilkan, mengedit, menganalisis, memproses, menyimpan dan mencetak gambar (Ferreira & Rasband, 2012). ImageJ dapat menghitung statistik area dan nilai piksel dari pilihan yang ditentukan oleh pengguna (Martin *et al.*, 2020). Pada prinsipnya terdapat lima proses dalam pengolahan citra daun dengan tahapannya yaitu sebagai berikut.

1. Import citra daun. Buka citra daun pada *software* ImageJ menggunakan menu “File” dan “Open”.
 2. Ubah citra menjadi citra dengan skala abu-abu dengan menu “Image” kemudian pilih “Type” dan pilih “8-bit”.
 3. Ubah citra menjadi citra *binary* (hitam putih) secara otomatis. *Threshold* citra menggunakan pengaturan otomatis dengan memilih menu “Process” kemudian “Binary” lalu “Make Binary”.
- Apabila citra daun tidak sepenuhnya menjadi citra *binary*, maka dapat dilakukan dengan cara manual yaitu dengan cara memilih menu “Image” kemudian pilih “Adjust” lalu “Threshold” dan atur secara manual dengan *sliders* untuk mendapatkan citra *binary* hitam putih kemudian pilih “Apply”.
4. Atur skala pengukuran. Gambar garis menggunakan tools “Straight” di objek tuntun dengan panjang garisnya menyesuaikan panjang sisi objek tuntun (5 cm). Kemudian pilih menu “Analyze” lalu “Set Scale”. Pada “Known Distance” masukkan nilai “5” (sesuai dengan panjang

objek tuntun) dan pada “Unit of Length” diubah menjadi “cm”.

Luas daun dihitung secara otomatis dengan memilih menu “Analyze” kemudian “Analyze Particles”. Aktifkan “Show outlines”, centang “Display Results” dan klik “OK”. Pelaksanaan penelitian terdiri dari pengambilan data luas daun menggunakan tiga metode pengukuran luas daun. Selanjutnya dari ketiga metode tersebut dibandingkan hasilnya. Tahapan penelitian disajikan dalam diagram alir pada gambar 2. Perhitungan tingkat kesalahan dibutuhkan untuk mengetahui apakah metode yang digunakan sesuai terhadap kebutuhan dan untuk mengetahui bahwa metode tersebut berhasil digunakan (Andrian *et al.*, 2022). Rumus untuk mengetahui tingkat kesalahan yaitu:

$$\text{Tingkat Kesalahan} = \frac{(a-b)-a}{a} \times 100 \quad (2)$$

Keterangan:

a : perhitungan luas daun menggunakan metode konstanta daun dan metode *leaf area meter*

b : perhitungan luas daun menggunakan metode yang dikembangkan

Perhitungan tingkat akurasi menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Akurasi}(\%) = 100 - \text{Tingkat kesalahan} \quad (3)$$

Analisis regresi digunakan untuk mengetahui korelasi pengukuran luas daun menggunakan bantuan objek tuntun berbasis pengolahan citra digital (M_{OP}) dengan metode konstanta daun (M_{KD}) dan pengukuran *leaf area meter* (M_{LAM}). Hasil akurasi dievaluasi berdasarkan parameter koefisien korelasi (R^2), *root mean square error* (RMSE), *Nash-Sutcliffe efficiency coefficient* (NSE) dan *Willmott's index of agreement* (d) (Persamaan 3-7).

$$R^2 = \frac{[\sum(O_i - \bar{O}) - (P_i - \bar{P})]}{(\sum(O_i - \bar{O}) \times \sum(P_i - \bar{P}))} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(P_i - O_i)}{n}} \quad (5)$$

$$NRMSE = \frac{1}{\bar{O}} \sqrt{\frac{\sum(P_i - O_i)^2}{n}} \times 100 \quad (6)$$

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

$$d = 1 - \frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (8)$$

Keterangan:

O_i : data hasil pengamatan

$\bar{O}$: rata-rata data hasil pengamatan

P_i : data hasil pemodelan

$\bar{P}$: rata-rata data hasil pemodelan

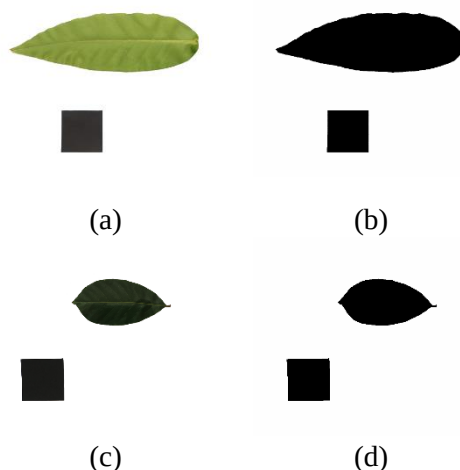
n : jumlah data

d : *index of agreement*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Citra daun tanaman jambu air dan rambutan setelah diambil menggunakan Kamera Canon Mirrorless M3 selanjutnya dipindah ke laptop untuk dilakukan pengolahan citra digital. Pada Gambar 3 dapat dilihat tahapan pengolahan citra digital untuk menghitung luas daun menggunakan *software* ImageJ dengan prinsip perhitungan jumlah *pixel* (Irwan & Wicaksono, 2017; Madhavi *et al.*, 2022; Umam *et al.*, 2023; Zhang, 2020). Objek citra daun dalam satuan *pixel* diubah dan diolah dengan *software* ImageJ menjadi satuan luas berdasarkan objek tuntun yang telah diatur skalanya dari satuan *pixel* ke satuan cm.

Data luas daun tanaman jambu air dan rambutan disajikan pada Tabel 1 menggunakan tiga pendekatan yaitu metode konstanta daun (M_{KD}), metode *leaf area meter* (M_{LAM}) dan metode objek tuntun berbasis pengolahan citra digital (M_{OP}). Pada tabel juga diketahui persentase *error* antara M_{KD} dengan M_{OP} dan M_{LAM} dengan M_{OP} serta tingkat akurasi antara M_{KD} dengan M_{OP} dan M_{LAM} dengan M_{OP} untuk masing-masing pengamatan. Rata-rata tingkat kesalahan atau *error* pengukuran luas daun untuk tanaman jambu air antara M_{KD} dengan M_{OP} dan M_{LAM} dengan M_{OP} berturut-turut sebesar 3,93% dan 4,05%.



Gambar 3. Pengolahan Citra Daun Menggunakan *Software Imagej*; (a) Citra Daun Jambu Air, (b) Hasil Citra *Binary* Jambu Air, (c) Citra Daun Rambutan, (d) Hasil Citra *Binary* Rambutan

Sementara tingkat akurasinya antara M_{KD} dengan M_{OP} dan M_{LAM} dengan M_{OP} berturut-turut sebesar 96,07% dan 95,95%. Untuk tanaman rambutan diperoleh rata-rata tingkat kesalahan pengukuran luas daun antara M_{KD} dengan M_{OP} dan M_{LAM} dengan M_{OP} berturut-turut sebesar 7,65% dan 1,77%. Sedangkan tingkat akurasinya antara M_{KD} dengan M_{OP} dan M_{LAM} dengan M_{OP} berturut-turut sebesar 92,35% dan 98,23%. Berdasarkan hal tersebut, pengukuran luas daun menggunakan M_{OP} mempunyai tingkat akurasi dan ketelitian yang baik. Hal tersebut didukung penelitian dari Andrian *et al.* (2022) yang menyatakan pengukuran luas daun dengan tingkat akurasi sebesar 95,1% dapat digunakan untuk mengukur luas daun.

Grafik korelasi pengukuran luas daun menggunakan M_{OP} , M_{KD} , dan M_{LAM} dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai korelasi antara M_{OP} dengan M_{KD} untuk tanaman jambu air dan rambutan didapatkan nilai R^2 berturut-turut sebesar 0,9819 dan 0,9904. Sedangkan nilai korelasi antara M_{OP} dengan M_{LAM} untuk tanaman jambu air dan rambutan didapatkan

nilai R^2 berturut-turut sebesar 0,9910 dan 0,9987. Dapat disimpulkan bahwa korelasi antara M_{OP} dengan M_{KD} dan M_{OP} dengan M_{LAM} memiliki korelasi sangat kuat dan linier, karena nilai R^2 dalam rentang 0,8-1 adalah sangat kuat (Islam *et al.*, 2021; Ramadhani *et al.*, 2023; Ramadhani & Jalil, 2023; Suhartanto *et al.*, 2019; Tech *et al.*, 2018). Berdasarkan hal tersebut, sesuai dengan tujuan penelitian ini maka metode pengukuran luas daun menggunakan bantuan objek tuntun berbasis pengolahan citra digital (M_{OP}) akurat, linier dan dapat diterapkan dalam pengukuran luas daun.

Pada Gambar 4 dapat diketahui juga bahwa korelasi nilai R^2 M_{OP} dengan M_{LAM} untuk tanaman jambu air dan rambutan lebih tinggi dibandingkan korelasi nilai R^2 M_{OP} dengan M_{KD} . Hal tersebut berarti secara korelasi pengukuran luas daun menggunakan metode objek tuntun berbasis pengolahan citra digital (M_{OP}) lebih dekat dengan pengukuran luas daun menggunakan *leaf area meter* (M_{LAM}). Metode *leaf area meter* atau M_{LAM} merupakan suatu metode pengukuran luas daun menggunakan alat *leaf area meter* (LAM).

Tabel 1. Data Perbandingan Luas Daun Menggunakan Metode Konstanta Daun (M_{KD}), *Leaf Area Meter* (M_{LAM}) Dan Metode Objek Tuntun Berbasis Pengolahan Citra Digital (M_{OP})

Sampel	Jambu Air								Rambutan						
	M _{KD} (cm ²)	M _{LAM} (cm ²)	M _{OP} (cm ²)	Error	Error	Akurasi	Akurasi	M _{KD} (cm ²)	M _{LAM} (cm ²)	M _{OP} (cm ²)	Error	Error	Akurasi	Akurasi	
				M _{OP} -	M _{OP} -	M _{OP} -	M _{OP} -				M _{OP} -	M _{OP} -	M _{OP} -	M _{OP} -	
				M _{KD} (%)	M _{LAM} (%)	M _{KD} (%)	M _{LAM} (%)				M _{KD} (%)	M _{LAM} (%)	M _{KD} (%)	M _{LAM} (%)	
1	101,15	111,44	104,08	2,89	6,61	97,11	93,39	86,44	90,73	92,42	6,92	1,86	93,08	98,14	
2	126,08	119,08	110,96	12,00	6,82	88,00	93,18	59,75	60,41	60,31	0,93	0,17	99,07	99,83	
3	115,92	113,32	108,47	6,43	4,28	93,57	95,72	38,42	41,16	40,47	5,34	1,68	94,66	98,32	
4	88,17	84,65	79,12	10,27	6,54	89,73	93,46	78,20	80,02	80,25	2,61	0,28	97,39	99,72	
5	114,98	117,47	111,37	3,13	5,19	96,87	94,81	62,43	66,41	66,09	5,87	0,48	94,13	99,52	
6	145,68	146,41	141,19	3,09	3,57	96,91	96,43	24,18	28,28	26,23	8,48	7,25	91,52	92,75	
7	126,00	119,54	120,34	4,49	0,67	95,51	99,33	47,75	51,15	49,14	2,93	3,92	97,07	96,08	
8	92,40	83,83	89,21	3,45	6,42	96,55	93,58	34,29	36,78	36,67	6,94	0,31	93,06	99,69	
9	121,66	120,80	121,23	0,35	0,36	99,65	99,64	53,98	55,11	54,58	1,11	0,96	98,89	99,04	
10	110,29	106,63	101,90	7,61	4,44	92,39	95,56	40,31	43,59	41,88	3,90	3,92	96,10	96,08	
11	116,03	115,69	112,80	2,78	2,50	97,22	97,50	46,95	56,83	54,48	16,03	4,14	83,97	95,86	
12	201,60	202,60	194,58	3,48	3,96	96,52	96,04	44,36	51,83	50,22	13,21	3,11	86,79	96,89	
13	103,04	104,74	101,30	1,69	3,29	98,31	96,71	22,40	26,18	24,95	11,35	4,71	88,65	95,29	
14	75,60	84,00	79,06	4,57	5,88	95,43	94,12	73,61	80,16	79,83	8,46	0,41	91,54	99,59	
15	88,73	91,13	85,46	3,68	6,22	96,32	93,78	32,89	37,46	35,44	7,75	5,41	92,25	94,59	
16	79,38	83,13	79,57	0,24	4,28	99,76	95,72	32,72	37,02	35,98	9,95	2,81	90,05	97,19	
17	93,74	101,35	95,16	1,51	6,10	98,49	93,90	96,16	102,60	102,28	6,36	0,31	93,64	99,69	
18	60,48	61,56	59,77	1,18	2,91	98,82	97,09	87,73	90,22	90,20	2,81	0,03	97,19	99,97	
19	100,67	102,64	98,59	2,06	3,94	97,94	96,06	22,50	23,68	23,59	4,82	0,40	95,18	99,60	
20	117,60	123,93	118,40	0,68	4,47	99,32	95,53	28,72	31,42	30,03	4,54	4,44	95,46	95,56	
21	72,59	71,07	66,21	8,79	6,84	91,21	93,16	53,08	60,27	60,17	13,34	0,17	86,66	99,83	
22	93,31	85,90	84,84	9,08	1,24	90,92	98,76	90,96	99,11	98,80	8,61	0,31	91,39	99,69	
23	94,37	89,90	86,19	8,68	4,13	91,32	95,87	70,45	79,50	79,40	12,70	0,13	87,30	99,87	
24	125,48	124,90	126,75	1,02	1,48	98,98	98,52	81,83	85,93	85,90	4,96	0,04	95,04	99,96	
25	86,80	94,91	89,83	3,49	5,35	96,51	94,65	70,25	82,63	80,14	14,07	3,01	85,93	96,99	
26	95,83	96,86	94,79	1,09	2,14	98,91	97,86	69,73	75,15	75,21	7,87	0,08	92,13	99,92	
27	148,40	140,78	141,44	4,69	0,47	95,31	99,53	76,52	82,36	81,81	6,92	0,67	93,08	99,33	
28	203,06	212,39	203,42	0,18	4,22	99,82	95,78	65,99	73,39	72,21	9,42	1,61	90,58	98,39	
29	131,54	132,35	125,63	4,49	5,08	95,51	94,92	54,02	61,45	61,26	13,42	0,30	86,58	99,70	
30	80,29	82,84	81,00	0,88	2,23	99,12	97,77	40,75	43,98	43,95	7,86	0,06	92,14	99,94	
Rata-rata				3,93	4,05	96,07	95,95	Rata-rata				7,65	1,77	92,35	98,23

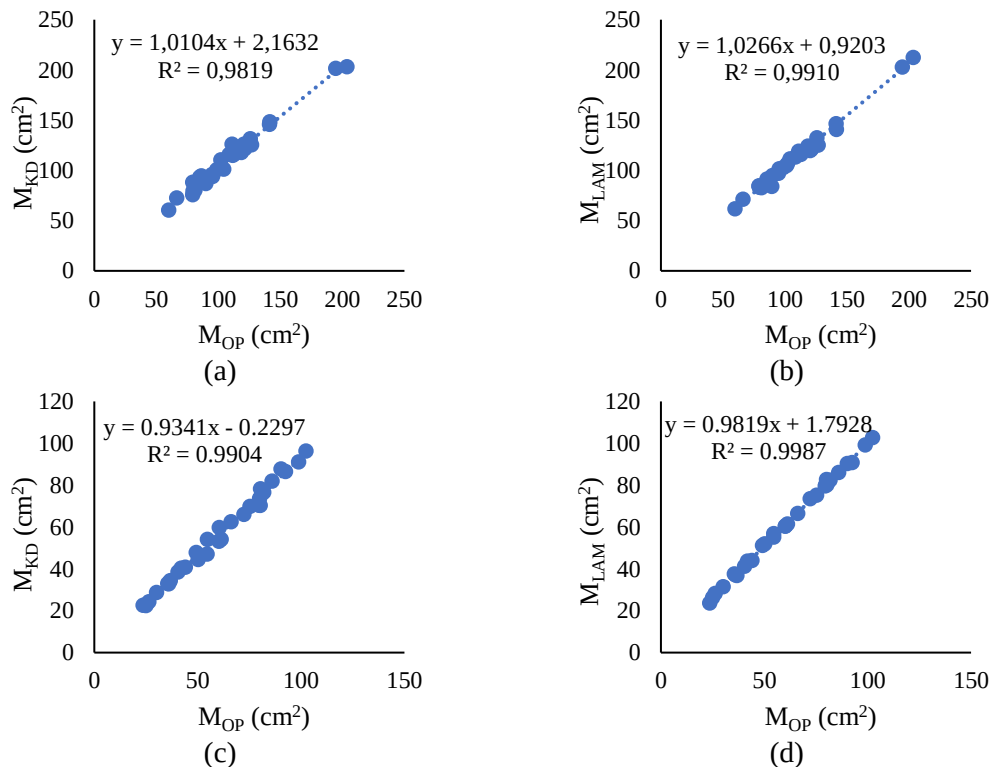
LAM akan memindai sampel daun kemudian akan menghasilkan nilai luas dari daun tersebut. Dasar perhitungan dari LAM yaitu memindai setiap *pixel* dari sampel daun kemudian diukur dengan jumlah *pixel* tersebut (Chandran S *et al.*, 2015). Dasar perhitungan dari M_{LAM} tersebut sama seperti dasar perhitungan luas daun dengan M_{OP} yang memanfaatkan pemindaian dan perhitungan jumlah *pixel* (Irwan & Wicaksono, 2017; Madhavi *et al.*, 2022; Umam *et al.*, 2023; Zhang,

2020). Dasar perhitungan luas daun dengan M_{KD} yaitu dari dimensi daun (panjang dan lebar) dan konstanta daun (faktor koreksi) (Chaudhary *et al.*, 2012; Sala *et al.*, 2015; Susilo, 2015).

Pada Tabel 2 dapat dilihat hasil analisis statistik terhadap metode pengukuran luas daun M_{OP} dengan M_{KD} dan M_{LAM} . Berdasarkan hasil analisis statistik menunjukkan bahwa metode pengukuran luas daun M_{OP} dapat mengukur luas daun secara akurat. Hal tersebut bisa dilihat dari hasil analisis statistik yang terdapat pada Tabel

2. Selain itu, metode pengukuran luas daun M_{OP} lebih mendekati metode pengukuran luas daun M_{LAM} dibandingkan M_{KD} . Hal tersebut sama seperti dengan hasil analisis R^2 sebelumnya yang menunjukkan M_{OP} lebih mendekati M_{LAM} dibandingkan M_{KD} . Berdasarkan penelitian dari Usman *et al.* (2018) menyatakan bahwa metode *leaf area meter* (LAM) lebih baik dibandingkan

dengan metode konstanta daun dalam pengukuran luas daun. Metode konstanta daun dapat digunakan untuk mengukur luas daun apabila nilai faktor koreksinya yaitu konstanta daun (k) menggunakan nilai faktor koreksi yang optimal atau konstanta daun optimal (Sala *et al.*, 2015).



Gambar 4. Grafik Korelasi Pengukuran Luas Daun; (a) M_{OP} dengan M_{KD} Untuk Jambu Air, (b) M_{OP} dengan M_{LAM} Untuk Jambu Air, (c) M_{OP} dengan M_{KD} Untuk Rambutan, (d) M_{OP} dengan M_{LAM} Untuk Rambutan

Tabel 2. Hasil Analisis Statistik Metode Pengukuran Luas Daun M_{OP} dengan M_{KD} dan M_{LAM}

Sampel	Metode	RMSE (cm ²)	NRMSE (%)	NSE	d
Jambu Air	M_{KD} - M_{OP}	5.443	0.049	0.971	0.993
	M_{LAM} - M_{OP}	4.948	0.045	0.977	0.994
Rambutan	M_{KD} - M_{OP}	4.959	0.088	0.948	0.988
	M_{LAM} - M_{OP}	1.154	0.019	0.997	0.999

Berdasarkan Tabel 2 di atas menunjukkan bahwa metode yang diusulkan yaitu metode pengukuran luas daun menggunakan objek tuntun berbasis pengolahan citra digital (M_{OP}) bekerja sangat baik dan akurat dalam mengukur luas daun untuk masing-masing jenis tanaman. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil analisis statistik RMSE, NRMSE, NSE dan d . Untuk RMSE yaitu besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, semakin kecil nilai RMSE yang diperoleh, maka hasil prediksi akan semakin akurat (Alvar-Beltrán *et al.*, 2021; Ramadhani *et al.*, 2023; Suprayogi *et al.*, 2014). Hal yang serupa juga berlaku untuk NRMSE, semakin kecil (mendekati 0) nilai NRMSE, maka hasil prediksi akan semakin baik (Alvar-Beltrán *et al.*, 2021; Ramadhani *et al.*, 2023). Sedangkan untuk NSE dan d menunjukkan angka yang mendekati 1. Nilai NSE yang mendekati 1 atau dalam rentang 0,75-1 (Alvar-Beltrán *et al.*, 2021; Nash & Sutcliffe, 1970; Ramadhani *et al.*, 2023; Suhartanto *et al.*, 2019) maka dinyatakan bahwa metode pengukuran luas daun tersebut sangat baik. Sedangkan untuk nilai d yang mendekati 1 atau dalam rentang 0,9-1 (Alvar-Beltrán *et al.*, 2021; Ramadhani *et al.*, 2023) maka dinyatakan bahwa metode pengukuran luas daun tersebut sangat baik.

KESIMPULAN

1. Metode pengukuran luas daun dengan menggunakan bantuan objek tuntun berbasis pengolahan citra digital sangat baik dan akurat, serta hasilnya memiliki korelasi sangat kuat dan linier dengan pengukuran luas daun menggunakan metode konstanta daun serta leaf area meter. Oleh karena itu, metode pengukuran luas daun menggunakan bantuan objek tuntun berbasis pengolahan citra digital ini sangat layak untuk dikembangkan dan diterapkan menjadi salah satu metode perhitungan luas daun yang akurat, cepat dan untuk berbagai ukuran daun serta berbagai jenis tanaman.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Pekalongan yang telah memberikan dukungan dana pada penelitian ini melalui Program Hibah Penelitian dan PkM Universitas Pekalongan Batch I Tahun 2024 dengan Nomor: 075/B.06.01/LPPM/II/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvar-Beltrán, J., Gobin, A., Orlandini, S., & Marta, A. D. (2021). AquaCrop parameterisation for quinoa in arid environments. *Italian Journal of Agronomy*, 16(1749).
<https://doi.org/10.4081/ija.2020.1749>
- Andrian, R., Agustiansyah, A., Junaidi, A., & Lestari, D. I. (2022). Aplikasi Pengukuran Luas Daun Tanaman Menggunakan Pengolahan Citra Digital Berbasis Android. *Jurnal Agrotropika*, 21(2), 115–123.
<https://doi.org/10.23960/ja.v21i2.6096>
- Bréda, N. J. J. (2003). Ground-based measurements of leaf area index: A review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany*, 54(392), 2403–2417.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erg263>
- Chandran S, L., Shariff B, P., J, P., & Rao A, R. (2015). Portable Leaf Area Meter: A Review. *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*, 3(2), 134–136.
<https://doi.org/10.17148/ijireeice.2015.3228>
- Chaudhary, P., Godara, S., Cheeran, A. N., & Chaudhari, A. K. (2012). Fast and accurate method for leaf area

- measurement. *International Journal of Computer Applications*, 49(9), 22–25. <https://doi.org/10.5120/7655-0757>
- Ferreira, T., & Rasband, W. (2012). *ImageJ User Guide IJ 1.46r*. National Institute of Health. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2019>
- Huang, W., Liu, L., Sun, G., Lu, Y., Wang, J., & Zhao, C. (2005). A novel portable crop environment factors stress and grain quality monitoring instrument. *Proceedings of IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium*, 554–557. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2005.1526234>
- Irwan, A. W., & Wicaksono, F. Y. (2017). Perbandingan pengukuran luas daun kedelai dengan metode gravimetri, regresi dan scanner. *Jurnal Kultivasi*, 16(3), 425–429. <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v16i3.14448>
- Islam, S., Reza, M. N., Chowdhury, M., Islam, M. N., Ali, M., Kiraga, S., & Chung, S. O. (2021). Image processing algorithm to estimate ice-plant leaf area from RGB images under different light conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 924(1), 1–9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/924/1/012013>
- Lindroth, A., Lagergren, F., Aurela, M., Bjarnadottir, B., Christensen, T., Dellwik, E., Grelle, A., Ibrom, A., Johansson, T., Lankreijer, H., Launiainen, S., Laurila, T., Mölder, M., Nikinmaa, E., Pilegaard, K. I. M., Sigurdsson, B. D., & Vesala, T. (2008). Leaf area index is the principal scaling parameter for both gross photosynthesis and ecosystem respiration of Northern deciduous and coniferous forests. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 60, 129–142. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2006.00330.x>
- Madhavi, B. G. K., Bhujel, A., Kim, N. E., & Kim, H. T. (2022). Measurement of Overlapping Leaf Area of Ice Plants Using Digital Image Processing Technique. *Agriculture*, 12(9), 1–11. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091321>
- 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 Agronomica*, 69(3), 162–169. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n3.69401>
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10, 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Nie, P., Yang, Y., Liu, F., Zheng, J., & He, Y. (2010). Method of non-destructive measurement for plant leaf area and its instrument development. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26(9), 198–202. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2010.09.034>
- Nurholis, Umam, C., Syafii, M., Damayanti, E. N., Syaifullah, Dermawan, D. A., & Supiyanto, A. (2023). Penerapan metode digital untuk mengukur indeks luas daun tanaman sawi caisim (*Brassica juncea* L.). *Jurnal Pengelolaan Perkebunan*, 4(1), 8–15. <https://doi.org/10.54387/jpp.v4i1.30>
- Pandey, S. K., & Singh, H. (2011). A Simple, Cost-Effective Method for Leaf Area Estimation. *Journal of Botany*, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2011/658240>
- Ramadhani, F. M. Al, Bowo, C., & Slameto,

- (2023). The use of aquacrop model for soybean in various water availability within a lysimeter system. *Journal of Applied and Agricultural Science and Technology*, 7(4), 399–413. <https://doi.org/10.55043/jaast.v7i4.153>
- Ramadhani, F. M. Al, & Jalil, A. (2023). Analisis usia tanaman padi berdasarkan berbagai indeks vegetasi menggunakan citra kamera. *Jurnal Penelitian Ilmu Sosial Dan Eksakta*, 2(2), 84–95. <https://doi.org/10.47134/trilogi.v2i2.41>
- Risdiyanto, I., & Setiawan, R. (2007). Metode neraca energi untuk perhitungan indeks luas daun menggunakan data citra satelit multispektral. *Jurnal Agromet Indonesia*, 21(2), 27–38. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.21.2.27-38>
- Sala, F., Arsene, G. G., Iordănescu, 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>
- Shipley, B. (2002). Trade-offs between net assimilation rate and specific leaf area in determining relative growth rate: relationship with daily irradiance. *Functional Ecology*, 16(5), 682–689. <https://doi.org/10.1046/j.13652435.2002.00672.x>
- Shipley, B. (2006). Net assimilation rate, specific leaf area and leaf mass ratio: Which is most closely correlated with relative growth rate? A meta-analysis. *Functional Ecology*, 20(4), 565–574. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2006.01135.x>
- Suhartanto, E., Cahya, E. N., & Maknun, L. (2019). Analisa Limpasan Berdasarkan Curah Hujan Menggunakan Model Artificial Neural Network (ANN) Di Sub Das Brantas Hulu. *Jurnal Teknik Pengairan*, 10(2), 134–144. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2019.010.02.07>
- Suprayogi, I., Trimaijon, & Mahyudin. (2014). Model Prediksi Liku Kalibrasi Menggunakan Pendekatan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) (Studi Kasus: Sub DAS Siak Hulu). *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 1(1), 1–18. <http://ce.unri.ac.id>
- Susilo, D. E. H. (2015). Identifikasi Nilai Konstanta Bentuk Daun untuk Pengukuran Luas Daun Metode Panjang Kali Lebar pada Tanaman Hortikultura di Tanah Gambut. *Anterior Jurnal*, 14(2), 139–146. <https://doi.org/10.33084/anterior.v14i2.178>
- Tamrin. (2013). *Metode Pengukuran Non-Destruktif Luas Kanopi Tanaman Dengan Menggunakan Citra Dua Dimensi Objek Tuntun* (IDP000043270).
- Tech, A. R. B., Silva, A. L. C. da, Meira, L. A., Oliveira, M. E. de, & Pereira, L. E. T. (2018). Methods of image acquisition and software development for leaf area measurements in pastures. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 278–284. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.025>
- Tu, L., Peng, Q., Li, C., & Zhang, A. (2021). 2D in Situ Method for Measuring Plant Leaf Area with Camera Correction and Background Color Calibration. *Scientific Programming*, 2021, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2021/6650099>
- Umam, C., Putri, S. A., Milyani, J., Aurelita, S. K., Suryawati, S., & Purwaningsih, Y. (2023). Perhitungan Luas Daun Berbasis Pemrosesan Citra Digital.

- Teknotan*, 17(2), 115.
<https://doi.org/10.24198/jt.vol17n2.5>
- Usman, U., Syahrudin, S., Asie, K. V., & Suparno, S. (2018). Akurasi Penggunaan Metode Panjang Kali Lebar Untuk Pengukuran Luas Daun Jagung (*Zea mays* L.) dan Kedelai (*Glycine max* L.). *Jurnal Agroekoteknologi*, 10(2), 42–50.
<https://doi.org/10.33512/j.agrtek.v10i2.5806>
- Wicaksono, F. Y., & Kadapi, M. (2021). Perbandingan Model Regresi untuk Pengukuran Luas Daun Gandum di Daerah Tropis. *Paspalum: Jurnal Ilmiah Pertanian*, 9(2), 150–156.
<https://doi.org/10.35138/paspalum.v9i2.302>
- Zhang, W. (2020). Digital image processing method for estimating leaf length and width tested using kiwifruit leaves (*Actinidia chinensis* Planch). *PLoS ONE*, 15(7), 1–14.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235499>