

## MODEL ALOMETRIK UNTUK PENDUGAAN LUAS DAUN KARET

*Allometric Model to Estimate Rubber Leaf Area*

Andi Nur CAHYO\*

Pusat Penelitian Karet  
Jalan Raya Palembang – Pangkalan Balai Km. 29, Sembawa, Banyuasin, 30953,  
Sumatera Selatan

\*E-mail: nurcahyo.andi@yahoo.co.uk

Diterima: 25 Januari 2024/Disetujui: 5 Maret 2024

### Abstract

*A quick, practical, and non-destructive method in measuring rubber leaf area is needed. This is because the area of rubber leaves is one of the plant growth parameters needed to analyze plant growth and physiological processes including photosynthesis and transpiration rate. A widely used non-destructive method for estimating leaf area is the allometric equation method using regression calculations. This study was aimed to determine the value of leaf coefficient (k) to predict the leaf area of rubber clone IRR 112. This research was conducted from July to August 2021 at the Indonesian Rubber Research Institute, Sembawa, South Sumatra, Indonesia. Measurement of leaf area is carried out by gravimetric method. The results of the study were then used to determine the leaf coefficient (k) using leaf length and width data. Calibration and validation were performed using the parameters Goodness of Match (GOM), Pearson Correlation Coefficient (R), Determination Coefficient (R<sup>2</sup>), and Root Mean Square Error (RMSE). The results showed that the k value for IRR 112 rubber clones was 0.622. Furthermore, model validation shows that GOM, R, and R<sup>2</sup> values were all above 0.98 and the RMSE was about 1.7 cm<sup>2</sup>. These facts show that the model is accurate enough to predict leaf area from leaf length and width data.*

*Keywords: Hevea brasiliensis; IRR 112; leaf coefficient; non-destructive method*

### Abstrak

Metode yang praktis, cepat, dan tidak merusak sampel sangat diperlukan dalam mengukur luas daun karet. Luas daun karet merupakan salah satu parameter pertumbuhan tanaman yang diperlukan untuk melakukan analisis pertumbuhan dan proses fisiologis tanaman termasuk laju fotosintesis dan transpirasi. Salah satu metode non-destruktif yang banyak digunakan untuk memperkirakan luas daun adalah metode persamaan alometrik menggunakan perhitungan regresi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai koefisien daun (k) untuk memprediksi luas daun karet klon IRR 112. Penelitian ini dilakukan dari Juli hingga Agustus 2021 di Pusat Penelitian Karet, Sembawa, Sumatera Selatan, Indonesia. Pengukuran luas daun dilakukan dengan metode gravimetri. Hasil penelitian kemudian digunakan untuk menentukan koefisien daun (k) menggunakan data panjang dan lebar daun. Kalibrasi dan validasi dilakukan dengan menggunakan parameter *goodness of match* (GOM), koefisien korelasi Pearson (R), koefisien determinasi (R<sup>2</sup>), dan *root mean square error* (RMSE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai k untuk klon karet IRR 112 masing-masing adalah 0,622. Selanjutnya, validasi model menunjukkan bahwa nilai GOM, R, dan R<sup>2</sup> berada di atas 0,98 serta RMSE sekitar 1,7 cm<sup>2</sup>. Fakta-fakta ini menunjukkan bahwa model ini cukup akurat untuk memprediksi luas daun dari data panjang dan lebar daun.

Kata kunci: *Hevea brasiliensis*; IRR 112; koefisien daun; metode non-destruktif

## PENDAHULUAN

Daun adalah organ penting bagi tanaman, di mana fotosintesis, transpirasi, pertukaran CO<sub>2</sub>, dan proses intersepsi cahaya berlangsung. Proses fisiologis ini memiliki hubungan erat dengan luas daun. Umumnya, daun yang lebih luas menghasilkan kapasitas fotosintesis (He et al., 2020) serta kehilangan air karena proses transpirasi (Maylani et al., 2020) yang lebih besar pula. Oleh karena itu, parameter luas daun sering digunakan untuk analisis pertumbuhan tanaman (Li et al., 2016; Poorter et al., 2013).

Saat ini, berbagai metode telah digunakan untuk pengukuran luas daun, yaitu: menghitung grid persegi, persamaan regresi panjang dan lebar daun, planimeter, gravimetri, dan metode pengolahan citra digital (Dey et al., 2019). Metode estimasi luas daun dikategorikan sebagai metode destruktif dan non-destruktif (Karatassiou et al., 2015). Metode destruktif memerlukan pengambilan sampel daun dari tanaman dan mengukur luas sampel daun di laboratorium menggunakan peralatan tertentu. Sebaliknya, metode non-destruktif memungkinkan pengukuran luas daun selama periode pertumbuhan (Bakhshandeh et al., 2010). Dalam beberapa kasus kita perlu mengukur perkembangan luas daun secara berurutan selama periode waktu tertentu. Kondisi ini tidak memungkinkan kita untuk melepaskan daun dari tangkai daunnya. Untuk kasus ini, metode non-destruktif wajib dilakukan untuk pengukuran luas daun. Selain itu, untuk populasi tanaman yang besar, metode pengukuran yang cepat dan sederhana juga diperlukan untuk menghindari pengukuran luas daun yang memakan waktu.

Salah satu metode non-destruktif yang banyak digunakan untuk memperkirakan luas daun adalah metode persamaan regresi (Bakhshandeh et al., 2010; Bazaz et al., 2011; Bhatt & Chanda, 2003; Dey et al., 2019; Gao et al., 2017; He et al., 2020; Misle et al., 2013; Musa et al., 2020; Sadik et al., 2011; Susilo, 2015). Metode ini memberikan dugaan luas daun yang cepat, sederhana, akurat, dan murah

dari beberapa daun tanaman. Metode ini dapat dilakukan dengan mengukur panjang maksimum ( $l$ ) dan lebar ( $w$ ) serta luas sampel daun (LA) untuk menghitung koefisien daun ( $k$ ) untuk memperkirakan area sampel berikutnya (Montgomery, 1911; Musa et al., 2020; Susilo, 2015). Berbagai persamaan regresi menggunakan  $l$  dan  $w$  untuk memperkirakan LA telah dihasilkan untuk beberapa spesies tanaman, yaitu *Zea mays* (Gao et al., 2017), *Phaseolus vulgaris* (Bhatt & Chanda, 2003), *Solanum tuberosum*, *Cucumis sativus*, *Brassica oleracea*, *Brassica campestris* dan *Cucumis metuliferus* (Sadik et al., 2011), *Basilikum ocimum* (Bazaz et al., 2011), *Sesamum indicum*, *Triticum aestivum*, *Arachis hypogaea* dan *Vigna subterranea* (Musa et al., 2020), *Cucumis melo* (Misle et al., 2013), *Glycine max* (Bakhshandeh et al., 2010), dan *Magnolia* Sp. (He et al., 2020).

Kelemahan metode ini adalah rumus persamaan untuk menentukan luas daun, spesifik untuk spesies, varietas, atau klon tanaman tertentu. Persamaan umum untuk semua spesies tanaman, varietas, atau klon dapat mengakibatkan kesalahan yang tinggi karena variabilitas bentuk daun yang tinggi. Oleh karena itu, persamaan regresi untuk menentukan luas daun berdasarkan panjang dan lebar daun harus ditentukan untuk setiap spesies, varietas, atau klon yang memiliki bentuk daun yang beragam (Bakhshandeh et al., 2010). Karakteristik bentuk daun bervariasi untuk setiap spesies dan dapat digunakan sebagai pengidentifikasi spesies tanaman (Laga et al., 2014; Zhao et al., 2015). Di antara klon karet, daun memiliki bentuk dan ukuran tertentu yang dapat digunakan untuk membedakan jenis klon (Pasaribu & Suhendry, 2018). Suhendry & Pasaribu (2009) melaporkan bahwa luas daun, panjang, lebar, serta rasio panjang dan lebar antara klon karet berbeda secara signifikan (Suhendry & Pasaribu, 2009). Selain itu, koefisien daun untuk setiap klon karet belum tersedia, oleh karena itu penelitian untuk menentukan koefisien daun karet guna menghitung luas daun karet perlu dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai koefisien daun ( $k$ ) untuk menduga luas daun karet klon IRR 112.

**BAHAN DAN METODE**

*Waktu, tempat percobaan dan bahan tanaman*

Penelitian ini dilakukan dari Juli hingga Agustus 2021, di rumah kaca Pusat Penelitian Karet, Sembawa, Sumatera

Selatan, Indonesia. Sampel daun diambil dari salah satu klon unggul rekomendasi Pusat Penelitian Karet, yaitu IRR 112 dengan jumlah sampel sebanyak 143 helai daun. Semua sampel daun berumur tiga bulan. Penampilan daun karet yang diukur panjang (*p*), lebar (*l*), dan luas daun (*LA*) nya tersebut disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Penampilan sampel daun karet klon IRR 112  
 Figure 1. Appearance of rubber clone IRR 112 leaf sample

*Pengukuran luas daun dan penentuan koefisien daun (k)*

Pengukuran luas daun dilakukan dengan metode gravimetri (Dey et al., 2019; Pandey & Singh, 2011). Persamaan untuk

menghitung luas daun disajikan dalam Persamaan 1.

$$LA = x/y \times 100 \text{ cm}^2 \tag{1}$$

Dimana, *LA* = Luas daun (cm<sup>2</sup>)

*x* = Bobot pola daun yang digambar pada kertas HVS (g)

*y* = Bobot persegi (100 cm<sup>2</sup>) kertas HVS (g)

Hasil pengukuran luas daun dengan metode gravimetri kemudian digunakan untuk mengetahui koefisien daun (*k*). Persamaan untuk menghitung koefisien

daun (*k*) disajikan dalam Persamaan 2 (Montgomery, 1911; Musa et al., 2020; Susilo, 2015).

$$LA = l \times w \times k$$

$$\Leftrightarrow k = LA/(l \times w) \tag{2}$$

Dimana, *k* = Koefisien daun  
*LA* = Luas daun (cm<sup>2</sup>)  
*l* = Panjang daun (cm)  
*w* = Lebar daun (cm)

*Analisis statistik*

Analisis statistik dilakukan untuk melakukan kalibrasi dan validasi hasil regresi untuk menentukan luas daun karet. Kalibrasi dilakukan untuk menyesuaikan nilai output regresi yang mendekati data luas daun yang diamati. Selain itu, validasi

dilakukan untuk menguji apakah output regresi tersebut cukup akurat. Dalam penelitian ini, *Pearson Correlation Coefficient*, *Goodness of Match (GOM)* dan *Root Mean Square Error* (Chicco et al., 2021; Khasanah et al., 2008; Lippe et al., 2007; Loague & Green, 1991; Michalczyk, 2008) digunakan untuk mengkalibrasi dan

memvalidasi persamaan regresi yang dihasilkan. *Pearson Correlation Coefficient* dan *Goodness of Match* digunakan untuk mengetahui seberapa baik pendugaan dari nilai luas daun hasil regresi dan seberapa kuat korelasinya dengan nilai luas daun sebenarnya. Selanjutnya, *Root Mean Square Error* diperlukan untuk mengetahui berapa

nilai penyimpangan antara nilai hasil regresi dan nilai sebenarnya (Cahyo et al., 2016). Persamaan untuk menghitung nilai *Goodness of Match (GOM)*, *Pearson Correlation Coefficient (R)*, *Coefficient of Determination (R<sup>2</sup>)*, dan *Root Mean Square Error (RMSE)* disajikan dalam persamaan 3, 4, 5, dan 6.

$$GOM = \left( \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \right) \tag{3}$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \tag{4}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\bar{O} - O_i)^2} \tag{5}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \tag{6}$$

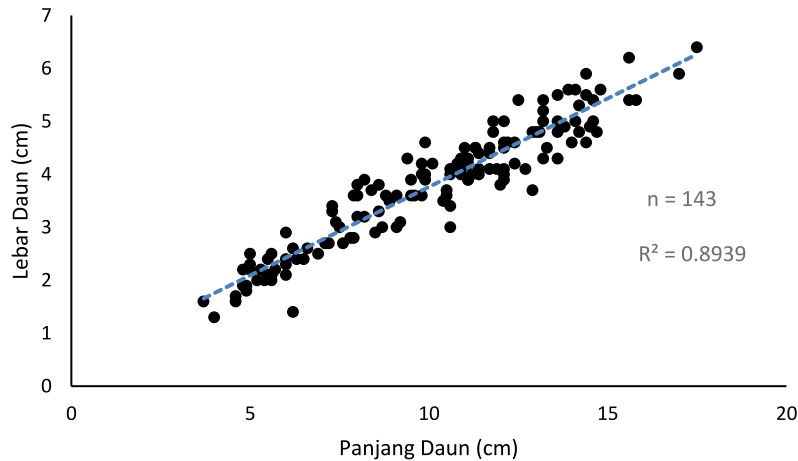
Dimana:

- $P_i$  = Nilai prediksi (hasil regresi),
- $O_i$  = Nilai sebenarnya yang diamati,
- $n$  = Jumlah sampel,
- $\bar{P}$  = Rerata nilai prediksi (hasil regresi),
- $\bar{O}$  = Rerata nilai sebenarnya yang diamati

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada penelitian ini, penentuan nilai  $k$  dilakukan dengan menggunakan data lebar

dan panjang daun karet klon IRR 112 sebanyak 143 sampel daun. Data panjang dan lebar daun tersebut disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Data panjang dan lebar daun sampel (n = 143)  
 Figure 2. Length and width data of leaf sample (n = 143)

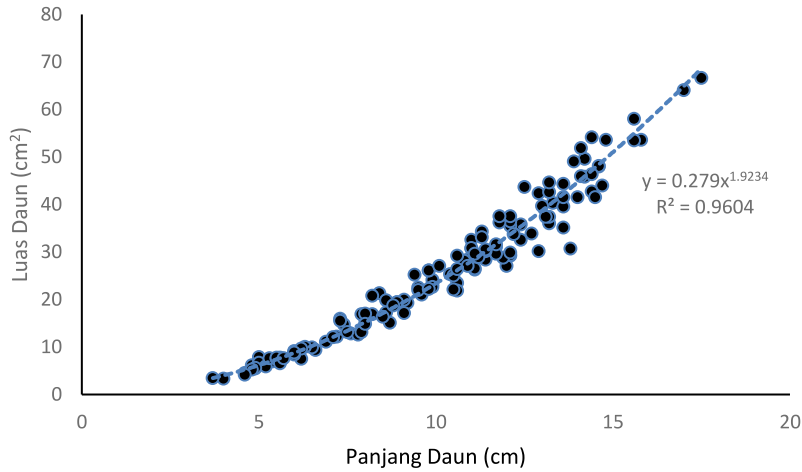
Gambar 2 menunjukkan bahwa antara panjang dan lebar daun yang akan digunakan untuk menentukan luas daun ternyata mempunyai nilai koefisien determinasi yang cukup tinggi. Oleh karena

itu, data nilai panjang, lebar, maupun perkalian antara panjang dan lebar daun berpeluang untuk digunakan untuk memperkirakan nilai luas daun.

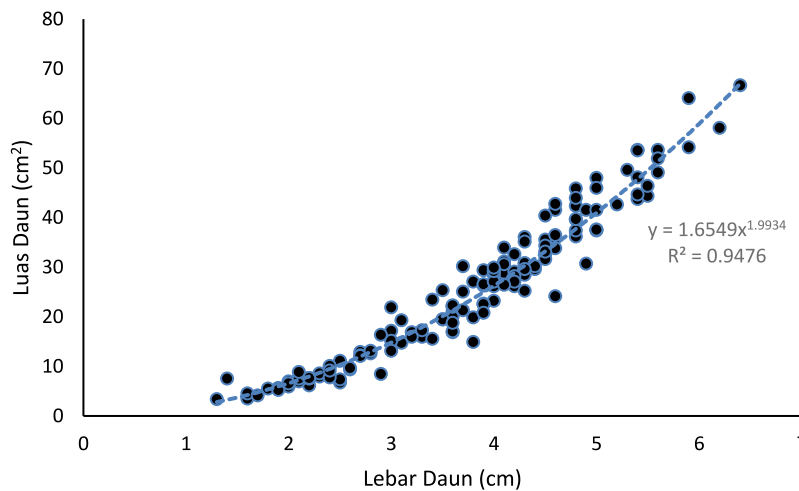
Hubungan antara nilai panjang dan lebar daun dengan luas daun karet

erat dengan luas daunnya. Hubungan antara panjang dan lebar dengan luas daun karet klon IRR 112 tersebut disajikan pada Gambar 3.

Panjang maupun lebar daun karet klon IRR 112 mempunyai hubungan yang



Gambar 3. Hubungan antara panjang dan luas daun karet klon IRR 112  
Figure 3. Relationship between leaf length and area of rubber clone IRR 112's leaf



Gambar 4. Hubungan antara lebar dan luas daun karet klon IRR 112  
Figure 4. Relationship between leaf width and area of rubber clone IRR 112

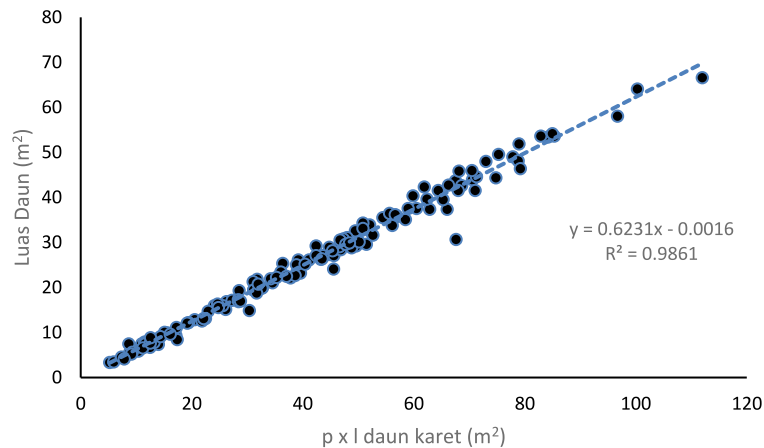
Gambar 3 dan 4 menunjukkan bahwa panjang dan lebar daun mempunyai hubungan yang erat dengan luas daun dengan koefisien determinasi sebesar 0,9604 dan 0,9476 berturut-turut. Koefisien determinasi tersebut dihasilkan dari analisis regresi dengan tipe power, yang menghasilkan koefisien determinasi paling tinggi daripada tipe lain, misalnya *exponential*, *logarithmic*, *linear*, *polynomial*, dan *moving average* seperti yang terdapat pada software Microsoft Excel 2019 (Microsoft Corporation, 2019).

Gambar 3 dan 4 juga menunjukkan bahwa daun yang lebih lebar dan lebih panjang menghasilkan daun yang lebih luas. Hal ini menunjukkan bahwa antara lebar, panjang, dan luas daun karet memiliki korelasi positif. Hal ini juga mengindikasikan bahwa perkalian antara nilai panjang dan lebar daun juga mempunyai hubungan yang erat dengan luas daun karet.

*Hubungan antara perkalian nilai panjang dan lebar daun dengan luas dan penentuan nilai k daun karet*

Penentuan luas daun berdasarkan perkalian antara panjang dan lebar daun pernah dilaporkan digunakan pada tanaman lain, misalnya jagung (Gao et al., 2017), buncis (Bhatt & Chanda, 2003), kentang (Sadik et al., 2011), kacang tanah

(Musa et al., 2020), kedelai (Bakhshandeh et al., 2010), dan beberapa spesies tanaman lainnya. Penentuan luas daun tersebut membutuhkan nilai  $k$  (koefisien daun) untuk mengkonversi hasil perkalian antara panjang dan lebar daun menjadi luas daun (Montgomery, 1911; Musa et al., 2020; Susilo, 2015). Grafik hubungan perkalian antara panjang dan lebar daun dengan luas daun disajikan pada Gambar



Gambar 5. Grafik hubungan antara  $p \times l$  ( $m^2$ ) dengan luas daun karet ( $m^2$ ).

*Figure 5. Relationship between  $p \times l$  ( $m^2$ ) and area ( $m^2$ ) of rubber leaf.*

Gambar 5 menunjukkan bahwa perkalian antara panjang dan lebar daun mempunyai hubungan yang lebih erat dengan luas daun ( $R^2 = 0,98$ ) dibandingkan hubungan antara  $x$  panjang dan lebar daun dengan luas daun yang nilai  $R^2$  nya adalah 0,96 dan 0,94 berturut-turut. Oleh karena itu hasil pendugaan luas daun berdasarkan perkalian antara panjang dan lebar daun lebih akurat dibandingkan dengan pendugaan luas daun dengan menggunakan panjang atau lebar daun saja.

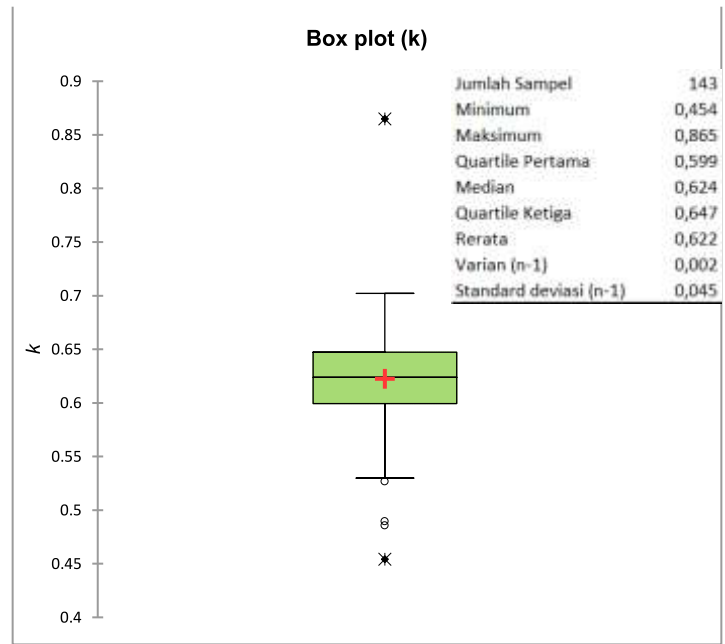
Gambar 5 juga menunjukkan bahwa hasil perkalian antara panjang dan lebar daun karet menghasilkan nilai yang jauh lebih tinggi dibandingkan luas daun karet sebenarnya. Oleh karena itu perlu ditentukan nilai  $k$  sebagai pengali hasil perkalian antara panjang dan lebar daun karet sehingga didapatkan hasil perhitungan yang lebih akurat. Menurut Montgomery (1911), Musa et al. (2020), dan Susilo (2015), nilai  $k$  merupakan nisbah antara luas daun sebenarnya dan perkalian

antara panjang dan lebar daun ( $k = (LA / (p \times l))$ ). Nilai rerata  $k$  dari semua sampel ditunjukkan pada Gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan bahwa rerata dari nilai  $k$  143 sampel daun karet yang digunakan adalah 0,622. Nilai rerata  $k$  ini kemudian digunakan sebagai nilai koefisien daun untuk menentukan nilai luas daun karet berdasarkan perkalian antara panjang dan lebar daun. Hasil perhitungan luas daun karet dengan menggunakan berbagai rumus ini perlu divalidasi untuk mendapatkan rumus perhitungan luas daun karet yang paling mudah digunakan serta mempunyai nilai akurasi paling tinggi,

#### *Validasi Model*

Dari hasil perhitungan dalam penelitian ini, didapatkan empat buah model pendugaan luas daun karet seperti yang tersaji pada Tabel 1.



Gambar 6. Box plot nilai  $k$  dari 143 sampel daun karet  
 Figure 6. Box plot of  $k$  value of 143 rubber leaf sample

Tabel 1. Model pendugaan luas daun karet  
 Table 1. Rubber leaf area estimation model

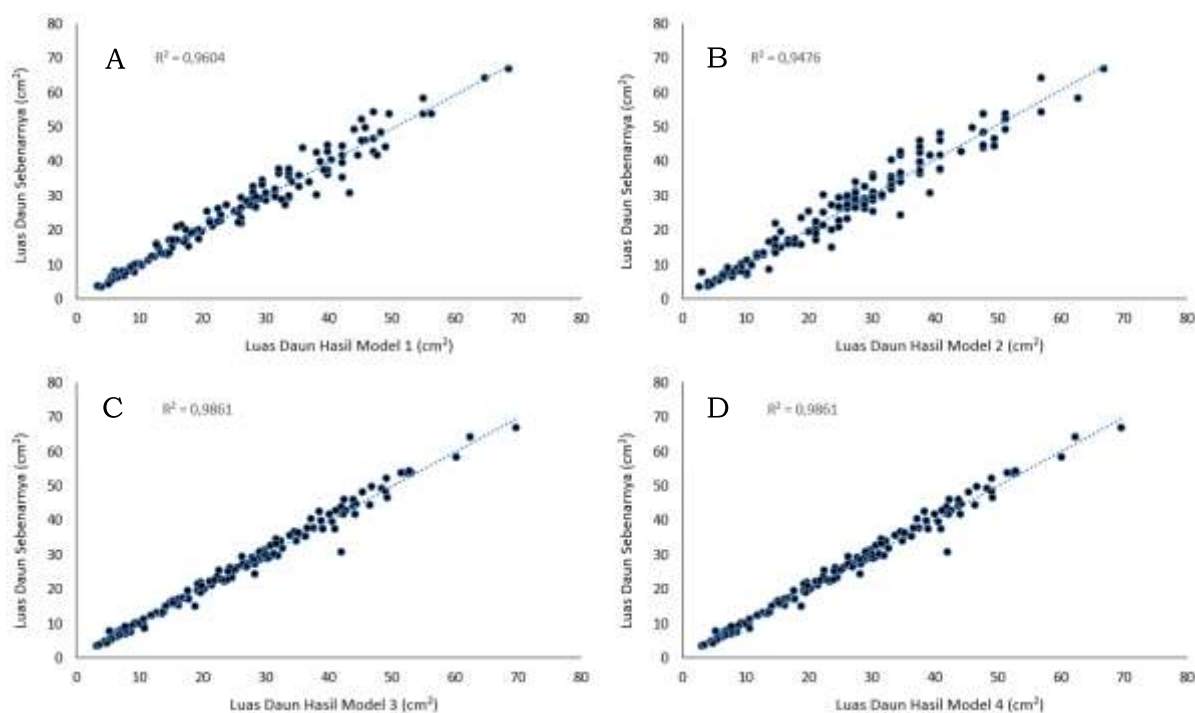
Nomor <i>Number</i>	Peubah <i>Variable</i>	Model Luas Daun <i>Leaf Area Model</i>
1 (model A)	$p$	$LA = 0,279 * p^{1,9234}$
2 (model B)	$l$	$LA = 1,6549 * l^{1,9934}$
3 (model C)	$p$ dan $l$	$LA = (0,6231 * p * l) - 0,0016$
4 (model D)	$p, l, dan k$	$LA = p * l * k$

Keterangan:  $p$  = panjang daun,  $l$  = lebar daun,  $k$  = koefisien daun, dan  $LA$  = luas daun.  
 Remarks:  $p$  = leaf length,  $l$  = leaf width,  $k$  = leaf coefficient, and  $LA$  = leaf area

Dari keempat model pendugaan luas daun karet seperti yang disajikan pada Tabel 1, dibuat validasi model untuk menentukan model terbaik untuk luas daun. Hasil validasi dengan perhitungan koefisien determinasi model tersebut tersaji pada Gambar 7.

Gambar 7 menunjukkan bahwa dari keempat model tersebut, model C dan D mempunyai nilai  $R^2$  yang sama dan lebih tinggi dari model A dan B. Model C dan D

mempunyai nilai  $R^2$  lebih dari 0,98, sedangkan model A dan B mempunyai nilai  $R^2$  0,96 dan 0,94 berturut turut. Pada model dengan nilai  $R^2$  lebih dari 0,98 (model C dan D), model D mempunyai fungsi yang lebih sederhana (Tabel 1). Selain itu, hasil perhitungan nilai *Goodness of Match (GOM)*, *Pearson Correlation Coefficient (R)*, *Coefficient of Determination ( $R^2$ )*, dan *Root Mean Square Error (RMSE)* dari model D disajikan pada Tabel 2.



Gambar 7. Hasil perhitungan luas daun berdasarkan model 1 (A), 2 (B), 3 (C), dan 4 (D).  
 Gambar 7. Calculation results of leaf area based on model 1 (A), 2 (B), 3 (C), and 4 (D).

Tabel 2. Nilai *Goodness of Match* (GOM), *Pearson Correlation Coefficient* ( $R$ ), *Coefficient of Determination* ( $R^2$ ), dan *Root Mean Square Error* (RMSE) antara luas daun hasil model D dan luas daun terukur.

Table 2. *Goodness of Match* (GOM), *Pearson Correlation Coefficient* ( $R$ ), *Coefficient of Determination* ( $R^2$ ), and *Root Mean Square Error* (RMSE) value between leaf area based on model D and observed leaf area

Klon Karet	GOM	$R$	$R^2$	RMSE (cm <sup>2</sup> )
<i>Rubber clone</i>	<i>GOM</i>	<i>R</i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>RMSE (cm<sup>2</sup>)</i>
IRR 112	0.998	0.993	0.986	1.707

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai GOM,  $R$ , dan  $R^2$  berada di atas 0,98 serta RMSE sekitar 1,7 cm<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa model ini cukup akurat untuk memprediksi luas daun dari data panjang dan lebar daun. Hal ini juga menunjukkan bahwa model D adalah model yang paling praktis, mudah digunakan dan cepat dalam perhitungan luas daun dibandingkan model yang lain.

### KESIMPULAN DAN SARAN

Luas daun merupakan salah satu parameter pertumbuhan tanaman karet yang penting dalam analisis pertumbuhan dan kondisi fisiologis tanaman. Salah satu

cara yang murah, praktis, dan tidak merusak sampel dalam pengamatan luas daun tanaman adalah dengan penggunaan model pendugaan luas daun. Untuk tanaman karet klon IRR 112, luas daun (LA) dapat diperkirakan menggunakan perkalian antara panjang ( $p$ ), lebar ( $l$ ), dan koefisien ( $k$ ) daun (model D). Nilai  $k$  untuk daun karet klon IRR 112 adalah 0,622. Nilai GOM,  $R$ , dan  $R^2$  untuk model D berada di atas 0,98 dengan RMSE sekitar 1,7 cm<sup>2</sup>. Untuk klon karet lain dengan bentuk yang berbeda dari klon IRR 112, disarankan dilakukan perhitungan ulang nilai  $k$  untuk klon tersebut.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Bakhshandeh, E., Ghadiryan, R., & Kamkar, B. (2010). A Rapid and Non-Destructive Method to Determine the Leaflet, Trifoliate and Total Leaf Area of Soybean. *The Asian and Australasian Journal of Plant Science and Biotechnology*, 4(1), 19–23.
- Bazaz, A. M., Fariman, Z. K., & Bannayan, M. (2011). Modeling individual leaf area of basil (*Ocimum basilicum*) using different methods. *International Journal of Plant Production*, 5(4), 439–447.
- Bhatt, M., & Chanda, S. V. (2003). Prediction of leaf area in *Phaseolus vulgaris* by non-destructive method. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 29(1–2), 96–100.
- Cahyo, A. N., Babel, M. S., Datta, A., Prasad, K. C., & Clemente, R. (2016). Evaluation of Land and Water Management Options to Enhance Productivity of Rubber Plantation using WaNuLCAS Model. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 38(1), 93–103. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v38i1.583>
- Chicco, D., Warrens, M. J., & Jurman, G. (2021). The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *PeerJ. Computer Science*, 7, e623. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.623>
- Dey, A. K., Guha, P., Sharma, M., & Meshram, M. R. (2019). Comparison of different Methods of In-situ Leaf Area Measurement of Betel Leaf (*Piper betle* L.). *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 7(6), 1512–1516.
- Gao, J., Zhao, B., Dong, S., Liu, P., Ren, B., & Zhang, J. (2017). Response of Summer Maize Photosynthate Accumulation and Distribution to Shading Stress Assessed by Using <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> Stable Isotope Tracer in the Field. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1821. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01821>
- He, J., Reddy, G. V. P., Liu, M., & Shi, P. (2020). A general formula for calculating surface area of the similarly shaped leaves: Evidence from six Magnoliaceae species. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01129. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01129>
- Karatassiou, M., Ragkos, A., Markidis, P., & Stavrou, T. (2015). A Comparative Study of Methods for the Estimation of the Leaf Area in Forage Species. *Proceeding of the 7th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment (HAICTA 2015)*, 1498, 326–332.
- Khasanah, N., Wijaya, T., June, T., Lusiana, B., & Van Noordwijk, M. (2008). Growth of Rubber (*Hevea brasiliensis*) in Monoculture and Mixed Systems with Acacia (*Acacia mangium*) A Case Study in Sembawa, South Sumatra: II. Simulation Using WaNuLCAS Model. *Indonesian Journal of Natural Rubber Research*, 26(1), Article 1.
- Laga, H., Kurtek, S., Srivastava, A., & Miklavcic, S. J. (2014). Landmark-free statistical analysis of the shape of plant leaves. *Journal of Theoretical Biology*, 363, 41–52. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2014.07.036>
- Li, X., Schmid, B., Wang, F., & Paine, C. E. T. (2016). Net Assimilation Rate Determines the Growth Rates of 14 Species of Subtropical Forest Trees. *PLOS ONE*, 11(3), e0150644. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150644>

- Lippe, M., Dung, N. V., Vien, T. D., Kien, T. T., Hilger, T., & Cadisch, G. (2007). WaNuLCAS Modelling of Improved Swidden Agriculture Systems by Indigenous Fallow Management with *Melia azedarach* in the Uplands of Ban Tat, Northern Viet Nam. Proceedings of International Agricultural Research for Development Conference, 1.
- Loague, K., & Green, R. E. (1991). Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology*, 7(1-2), 51-73. [https://doi.org/10.1016/0169-7722\(91\)90038-3](https://doi.org/10.1016/0169-7722(91)90038-3)
- Maylani, E. D., Yuniati, R., & Wardhana, W. (2020). The Effect of leaf surface character on the ability of water hyacinth, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. To transpire water. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 902, 012070. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/902/1/012070>
- Michalczyk, A. (2008). Parameterisation and Modelling of Growth and Yield Development of Mango (*Mangifera indica* L.) in North Thailand with Application of the WaNuLCAS Model. Humboldt-Universität zu Berlin.
- Microsoft Corporation. (2019). Microsoft Office Excel 2019 (Version 2019) [Windows 10]. Microsoft Corporation.
- Misle, E., Kahlaoui, B., Hachicha, M., & Alvarado, P. (2013). Leaf area estimation in muskmelon by allometry. *Photosynthetica*, 51(4), 613-620. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0062-x>
- Montgomery, E. G. (1911). Correlation studies of corn. (Annual Report 24; pp. 108-159). Nebraska Agricultural Experimental Station.
- Musa, U. T., Yusuf, M., & Ojo, S. O. (2020). Leaf Area Determination for Sesame (*Sesamum indicum*), Wheat (*Triticum aestivum*), Groundnut (*Arachis hypogaea*) and Bambaranut (*Vigna subterranea*) Crops Using Linear Measurements. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 10(12), 20-26. <https://doi.org/10.7176/JBAH/10-12-04>
- Pandey, S. K., & Singh, H. (2011). A Simple, Cost-Effective Method for Leaf Area Estimation. *Journal of Botany*, 2011, 1-6. <https://doi.org/10.1155/2011/658240>
- Pasaribu, S. A., & Suhendry, I. (2018). Identification of Rubber Clones Based on Various Leaf Characteristic. *Indonesian Journal of Natural Rubber Research*, 36(1), 3 - 7 - 5 0 . <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v36i1.552>
- Poorter, H., Anten, N. P. R., & Marcelis, L. F. M. (2013). Physiological mechanisms in plant growth models: Do we need a supra-cellular systems biology approach? *Plant, Cell & Environment*, 36(9), 1673-1690. <https://doi.org/10.1111/pce.12123>
- Sadik, S. K., AL-Taweel, A. A., & Dhyeab, N. S. (2011). New Computer Program for Estimating Leaf Area of Several Vegetable Crops. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 5(2), 304-309.
- Suhendry, I., & Pasaribu, S. A. (2009). Identifikasi klon karet melalui karakteristik daun. 1. Variasi ukuran daun. *Jurnal Penelitian Karet*, 27(1), 1-20.
- 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), 1 3 9 - 1 4 6 . <https://doi.org/10.33084/anterior.v14i2.178>
- Zhao, C., Chan, S. S. F., Cham, W.-K., & Chu, L. M. (2015). Plant identification using leaf shapes—A pattern counting approach. *Pattern Recognition*, 48(10), 3203-3215. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2015.04.004>