MODEL ALLOMETRIK DAUN DAN RANTING KAYU PUTIH DI BKPH SUBANG JAWA BARAT

Allometric Model of Melaleuca cajuputi Twig Leaves at BKPH Subang West Java

Widia Sri Utami[1], Ris Hadi Purwanto[2], Sigit Sunarta[3]
[1]Fakultas Kehutanan, Universitas Mulawarman Jl. Penajam, Kampus Gunung Kelua, Samarinda Kalimantan Timur, Indonesia
[2]Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Yogyakarta
[3]Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

ABSTRACT. *The use of allometric models is determined by several factors including the quality of different growing places, different environmental factors, and differences in harvest time in an area. Differences in harvesting time will affect the production of eucalyptus leaves and twigs. This research aims to create an allometric model as an estimate for eucalyptus leaves and twigs at BKPH Subang. The research method for data collection was inventory using a square measuring plot of 20 m x 20 m. The data inventoried were the weight of eucalyptus leaves and twigs, branch-free height, base diameter (30 cm above ground level), and branch-free diameter. Data analysis uses linear and nonlinear regression to develop allometric models. Next, carry out model suitability tests using corrected determined determination (R2–Adj), residual sum of square (RSS), and model simplicity. RSE and AIC as well as model validation tests using NRMSE and MAPE. The best allometric model is in the form of a compound with the equation Y= 1.189 1.109Db. The compound allometric model with a branch-free diameter estimator is a model in the category suitable for use. It has an R2 – Adj value of 0.702, a residual sum of square value of 27.14, and a standard error of 0.331. The RSE model suitability test value is 0.02 and the AIC is -239.1. Meanwhile, the NRMSE model validation test value is 32.12 and MAPE is 27.77. The best allometric model is in the form of a compound with the equation Y= 1.189 1.109^{Db}. The compound allometric model with a branch-free diameter estimator is a model in the category suitable for use. It has an R2 – Adj value of 0.702, a residual sum of square value of 27.14, and a standard error of 0.331. The RSE model suitability test value is 0.02 and the AIC is -239.1. Meanwhile, the NRMSE model validation test value is 32.12 and MAPE is 27.77.*

Keywords: *Allometric; Compound; Melaleuca cajuputi; Leaves and twigs estimation*

ABSTRAK. Penggunaan model allometrik ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya kualitas tempat tumbuh yang berbeda, faktor lingkungan yang berbeda, dan perbedaan waktu pemanenan di suatu daerah. Perbedaan waktu pemanenan akan mempengaruhi produksi daun dan ranting kayu putih. Penelitian ini bertujuan untuk menbuat model allometrik sebagai penduga daun dan ranting kayu putih di BKPH Subang. Pengumpulan data metode penelitian yaitu menginventarisasi dengan plot ukur persegi 20 m x 20 m. Data yang diinventarisasi berupa berat daun dan ranting kayu putih, tinggi bebas cabang, diameter pangkal (30 cm di atas permukaan tanah), dan diameter bebas cabang. Analisis data menggunakan regresi linear dan nonlinier untuk menyusun model allometrik. Selanjutnya melakukan uji kecocokan model menggunakan determinasi terkoreksi terkoreksi (R^2–Adj), residual sum of square (RSS), dan kesederhanaan model.RSE dan AIC serta uji validasi model menggunakan NRMSE dan MAPE. Model allometrik terbaik berbentuk compound dengan persamaan yaitu Y= 1,189 $1,109^{Db}$. Model allometrik compound dengan penduga diameter bebas cabang merupakan model dalam kategori layak digunakan. Memiliki nilai R^2 – Adj sebesar 0,702 nilai *residual sum of square* 27,14, dan standar erornya 0,331. Nilai uji kecocokan model RSE yaitu 0,02 dan AIC yaitu -239,1. Sedangkan nilai uji validasi model NRMSE yaitu 32,12 dan MAPE yaitu 27,77. Model allometrik terbaik berbentuk *compound* dengan persamaan yaitu Y= 1,189 $1,109^{Db}$. Model allometrik compound dengan penduga diameter bebas cabang merupakan model dalam kategori layak digunakan. Memiliki nilai R^2 – Adj sebesar 0,702 nilai *residual sum of square* 27,14, dan standar erornya 0,331. Nilai uji kecocokan model RSE yaitu 0,02 dan AIC yaitu -239,1. Sedangkan nilai uji validasi model NRMSE yaitu 32,12 dan MAPE yaitu 27,77.

Kata kunci: Compound; Melaleuca cajuputi; Allometrik; Pendugaan daun dan ranting

Penulis untuk korespondensi, surel: widiasriutami@fahutan.unmul.ac.id

PENDAHULUAN

Hutan tanaman dengan jenis kayu putih merupakan penghasil minyak atsiri termasuk salah satu HHBK. Kayu putih dengan nama latin *Melaleuca cajuputi* subsp. cajuputi tanaman yang dibudidayakan di Indonesia sebagai obat dan bahan farmasi lainnya (Kartikawati et al. 2021) dapat diektrasksi menjadi minyak berasal dari bagian daun dan ranting. Kayu putih (*Melaleuca cajuputi* subsp. cajuputi) secara taksonomi diklasifikasikan ke dalam divisi Spermatophyta, sub divisi Angiospermae, kelas Dicotyledonae, ordo Myrtales, famili Myrtaceae, genus Melaleuca, dan spesies *Melaleuca cajuputi*, Sub spesies *Melaleuca cajuputi* subsp. cajuputi (Craven dan Barlow, 1997). Potensi tanaman kayu putih di Indonesia yaitu meliputi wilayah Maluku, Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Tenggara, Bali, Papua, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Dan DIY (Smith dan Idrus, 2018). Komponen utama yang terkandung yaitu 1,8-cineole, monoterpen eter yang stabil secara kimia (Brophy et al., 2013).

Kebutuhan minyak kayu putih di Indonesia pada tahun 2019 sebesar 4.500 ton sedangkan produksi yang dihasilkan sebesar 2.500 ton, untuk memenuhi kebutuhan minyak kayu putih di pasaran maka Indonesia melakukan impor dari negara China sebesar 2000 ton (Ridlo et al., 2020). Pasokan minyak kayu putih yang kurang disebabkan karena persoalan sumber bahan baku. Produksi minyak kayu putih di Indonesia paling banyak berada di Pulau Jawa. Tegakan kayu putih di Pulau Jawa adalah tegakan yang memiliki produktivitas daun kayu putih yang rendah, baik dalam hal produksi daun dan ranting maupun rendemen minyak kayu putih. Dalam pengelolaan hutan kayu putih BKPH Subang memiliki hambatan seperti kebakaran lahan, serangan rayap pada tanaman berusia 1 tahun, dan rimbasan dari petani padi karena dianggap mengganggu padi. (Rimbawanto et al., 2017). Informasi mengenai potensi daun dan ranting kayu putih sebagai bahan baku dapat diperoleh dari hasil inventarisasi sebelum pemanenan dengan mengukur diameter dan tinggi pohon oleh praktisi kehutanan di BKPH Subang.

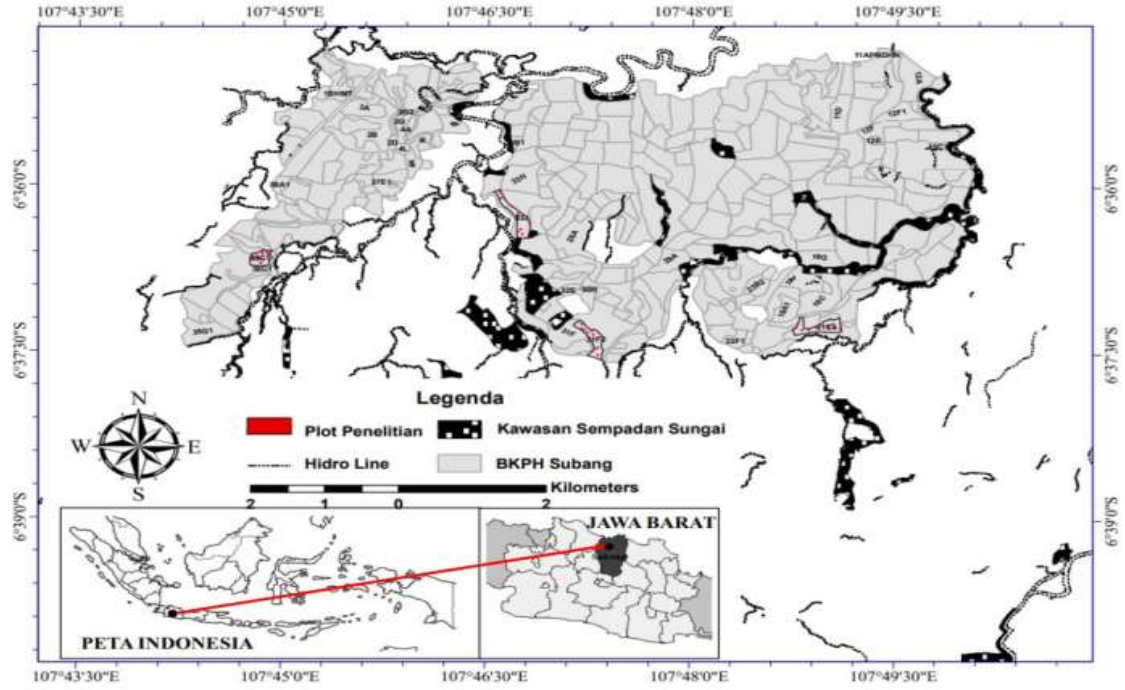
BKPH Subang KPH Purwakarta yang terletak di Kabupaten Subang Jawa Barat memproduksi bahan baku kayu putih untuk di pasok ke Pabrik Minyak Kayu Putih Jatimunggul. Kegiatan inventarisasi di BKPH Subang untuk menduga produksi daun ranting kayu putih hanya melakukan pengukuran terhadap keliling batang saja namun untuk tinggi tanaman tidak dilakukan pengukuran. Pemanenan daun dan ranting kayu putih di BKPH Subang tidak sesuai dengan SOP memiliki diameter ranting <0,5 cm dan umur tunas 9 bulan. Pengukuran tinggi pohon dalam kegiatan inventarisasi hutan merupakan pekerjaan tidak praktis, membutuhkan waktu lama, biaya, serta tenaga kerja. Model allometrik dapat memudahkan praktisi kehutanan dan pengelola hutan untuk mengetahui potensi daun dan ranting kayu putih dengan cepat, tepat, menekan biaya dan wakyu, serta tenaga kerja yang diperlukan sedikit.

Penelitian model allometrik dalam menduga potensi daun dan ranting kayu putih telah dilakukan oleh Mulyana et al. (2021) menggunakan 3 penduga yaitu tinggi tajuk, diameter tajuk, dan diameter batang yang dikuadratkan. Ddiameter batang diukur 30 cm di atas permukaan tanah. Pembuatan model dengan satu penduga untuk menghindari multikolinearitas sehingga model allometrik tidak tepat dan tidak stabil diketahui melalui *variance inflation factor* nilainya kurang dari 10 (Mulyana et al. 2021). Penggunaan model allometrik pendugaan potensi daun dan ranting kayu putih di KPH Yogyakarta, KPH Sukun belum tentu cocok penggunaannya di BKPH Subang KPH Purwakarta walaupun memiliki daur pemanenan yang sama yaitu 9 bulan karena memiliki kualitas tempat tumbuh yang berbeda serta faktor lingkungan yang berbeda. Model allometrik yang dibuat saat pengambilan data pada musim kemarau dan musim hujan akan berbeda pada produksi daun dan ranting. Pembuatan allometrik sangatlah penting bagi BKPH Subang untuk meminimalkan kesalahan dalam perencanaan pemanenan, meningkatkan kualitas rendemen kadar sineol, serta mengurangi penumpukan bahan baku di Pabrik Minyak Kayu Putih Jati Munggul karena hanya memiliki alat pemasakan yang terbatas. Pembuatan model allometrik di BKPH Subang menggunakan satu penduga (*variabel independent*) untuk meminimalkan kesalahan – kesalahan praktisi kehutanan dan pengelola dalam mengukur dimensi pohon dan kegiatan inventarisasi dilakukan tepat. Penelitian ini bertujuan untuk membuat model allometrik sebagai penduga

dalam mengetahui potensi daun dan ranting kayu putih.

METODE PENELITIAN

Penelitian di BKPH Subang KPH Purwakarta yaitu pada Resort Pemangkuan Hutan Balenyengked, Wanareja, dan Subang. Pengambilan data pada bulan September sampai Oktober 2021 pada Gambar 1. Lokasi dipilih karena beberapa pertimbangan yaitu: a. BKPH Subang merupakan salah satu penyuplai bahan baku daun ranting kayu putih untuk PMKP Jatimunggul KPH Indramayu; dan b. Seluruh RPH yang ada di BKPH Subang merupakan penyuplai daun ranting kayu putih. Penelitian ini menggunakan beberapa alat yaitu roll meter, pita meter, hagameter, sabit, timbangan, tally sheet, kertas dan alat tulis, kamera, karung, komputer, dan GPS. Bahan yang digunakan yaitu tegakan kayu putih dengan umur tunas 9 bulan, data SHP untuk membuat peta sampel penelitian 20 m x 20 m, data harvesting plan BKPH Subang Tahun 2021, data realisasi hasil produksi daun ranting kayu putih tahun 2021, serta data rencana dan realisasi supply daun dan ranting PMKP Jatimunggul Indramayu. Penentuan sampel menggunakan metode *purposive sampling* agar mendapatkan variasi umur dari beberapa tahun tanam. Membuat plot ukur persegi 20 m x 20 m 10 buah. Plot ukur ini dibuat dengan memilih lokasi secara random di petak yang akan dilakukan pemanenan. Penelitian ini menggunakan beberapa parameter untuk inventarisasi hutan kayu putih yaitu tinggi total, tinggi bebas cabang, tinggi tajuk pohon, informasi daur pemanenan tanaman kayu putih, diameter batang diukur dari permukaan tanah setinggi 30 cm, serta diameter bebas cabang, jari – jari tajuk dari arah utara, Selatan, barat, dan timur), dan berat daun dan ranting kayu putih per pohon (diameter ranting <0,5 cm sesuai SOP Perhutani).



Gambar 1. Peta Pengambilan Sampel Daun ranting Kayu Putih di BKPH Subang

Pengumpulan data dari inventarisasi umur tanaman kayu putih dan pemangkasan DKP keberapa kali, tinggi total pohon, tinggi pohon bebas cabang, tinggi tajuk pohon, diameter bebas cabang pohon yang dipangkas, jari – jari tajuk pohon, serta berat daun dan ranting kayu putih tiap pohon. Rumus – rumus dalam pengolahan data inventarisasi yaitu sebagai berikut:

1. Diameter pangkal diukur 30 cm di atas permukaan tanah

$D = \frac{K}{\pi}$, D: diameter pangkal, K: keliling batang pada pangkal, $\pi = 3{,}14$.

2. Diameter bebas cabang
   $D = \frac{K}{\pi}$, D: diameter bebas cabang, K: keliling batang pada bebas cabang, $\pi = 3{,}14$.
3. Diameter tajuk
   $D = 2r$, D: diameter tajuk, r: rata – rata jari – jari dari arah utara selatan barat dan timur.
4. Tinggi tajuk
   $T = T1 -$
   $T2, T1: \text{tinggi pohon total}, T2: \text{tinggi pohon batang bebas cabang}$

Pengukuran berat daun ranting kayu putih per plot dan per hektar sebagai berikut:

$BR = \frac{\sum B}{1000}$, Keterangan BR: berat pemanenan per plot ukur (ton), B: berat per pohon dalam plot ukur.

$BP = \frac{LHa \text{ x } BR}{LP}$, Keterangan: BP: berat pemanenan per Ha (ton/Ha); LHa: luas satu hektar (Ha); LP: luas petak ukur yang digunakan (Ha).

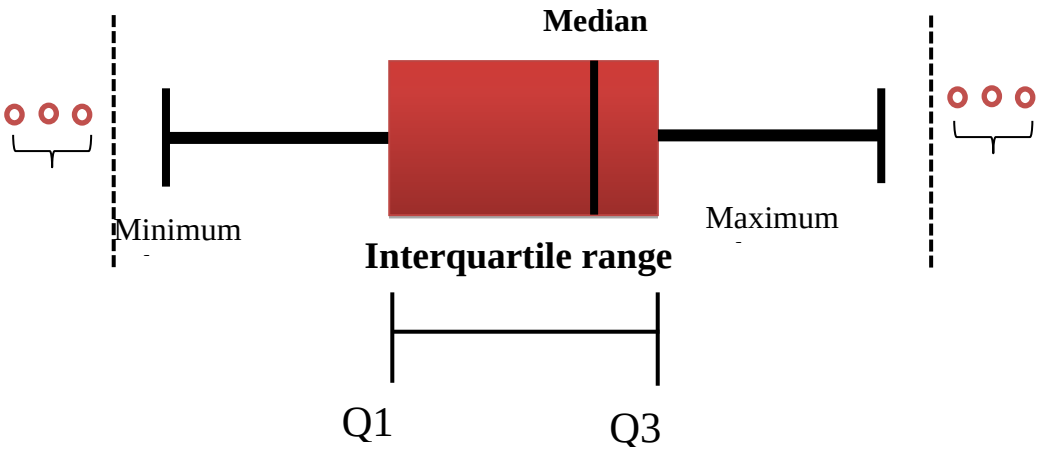
Rata – rata berat daun dan ranting kayu putih per pohon per plot ukur

$BR = \frac{\sum_{i=1}^{n} Bi}{n}$, Keterangan: B.DKP: *mean* berat per pohon pada plot ukur ke-1 (kg/pohon), Bi: jumlah berat dari petak ukur ke-i (kg); n: jumlah pohon dalam plot ukur ke-i.

Rata – rata berat daun ranting kayu putih per pohon pada plot penanaman

$B.DKPp = \frac{\text{Rata–rata B.DKPa}}{n}$, Keterangan: B.DKPp: berat daun ranting kayu putih rata – rata per pohon pada plot penanaman (kg/pohon), dan n: jumlah petak ukur.

Analisis statistik deskriptif dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya bias dan penyimpangan dari nilai standar deviasi dan *mean*. Martrtin (2015), menjelaskan untuk analisis statistik deskripitif yaitu dengan melihat antara nilai mean dan standar deviasi. Nilai standar deviasi yang lebih kecil dari nilai mean artinya data tidak bias dan lebih tepat. Data pencilan adalah data yang menyimpang jauh dari kumpulan data dan dapat menyebabkan *error* yang besar (Bhattacharya et al 2023). Penelitian ini menggunakan uji boxplot untuk melakukan uji pencilan. Boxplot bekerja dengan cara mendeteksi nilai ekstrim dalam pengamatan. Data pencilan ditandai dengan symbol berupa lingkaran (o) sedangkan data ekstrim ditandai dengan symbol bintang (*). Jika terdapat data bias dapat dilihat dari data yang memiliki panjang yaitu satu setengah kali panjang boxplot dimulai dari garis batas bawah maupun batas atas. Metode *boxplot* diketahui dengan melihat nilai *interquartile range*. Metode uji pencilan menggunakan IQR atau *boxplot* disajikan pada Gambar 2



Gambar 2. Skema identifikasi Pencilan Menggunakan Interquartile Range (IQR) atau Boxplot

Perlakuan terhadap keberadaan data pencilan yaitu sebagai berikut:

a. Mengeleminasi data pencilan, karena data tidak mewakili sebaran data yang sebenarnya. Penyebab adanya data pencilan karena kesalahan dalam pengambilan data.
b. Mempertahankan data pencilan, karena terdapat data yang berbeda dari data lainnya yang memang ditemui dilapangan.

Penyusunan model allometrik produksi daun ranting kayu putih dengan persamaan allometrik dari hubungan penduga peubah dengan penduga tetap. Menganalisis hubungan penduga peubah dengan penduga tetap melalui persamaan allometrik dengan menggunakann model regresi linear berdasarkan persamaan (1) dan non linear. Model non linear seperti model persamaan quadratic, cubic, logarithm, inverse, compound, power, sigmoid, growth, exponential, dan logistic.

$$Y = \beta 0 + \beta 1X + \varepsilon \qquad (1)$$

Penyusunan model allometrik yaitu mengasumsikan bahwa terdapat hubungan erat antara dimensi pohon dengan berat daun ranting kayu putih. Berbagai data dari dimensi pohon dianalisis apakah ada korelasinya dengan berat daun ranting kayu putih kemudian membuat model allometrik menggunakan regresi. Model regresi ini dapat menaksi pengaruh *variable independent* dengan *variable dependent*. Model regresi pada persamaan berikut (Yonar *et al.* 2020).

Linear	$D = q + bw$	(2)
Quadratic	$D = q + bw + cw^2$	(3)
Cubic	$D = q + bw + cw^2$	(4)
Logarithm	$D = q + bw + cw^2 + dw^3$	(5)
Inverse	$D = q + b/w$	(6)
Compound	$D = qb^w$	(7)
Power	$D = qw^b$	(8)
Sigmoid	$D = e^{q+b/t}$	(9)
Growth	$D = e^{q+bw}$	(10)
Exponential	$D = q\ (e^{bw})$	(11)
Logistic	$D = (1/u + qb^w)^{-1}$	(12)

Keterangan: D: Berat daun dan ranting dan ranting kayu putih; q: Konstata regresi; b,c,d: Koefisien regresi; w: *variable independent* (tinggi total, TBBC, DBH pohon, diameter, tajuk, umur tanaman kayu putih, tinggi tajuk, dan jari – jari tajuk); Ln: Log natural; e: 2,714; u: Harga batas atas model *logistic.*

Parameter untuk pemilihan model regresi yaitu *corrected coefficient of determination* (R^2 – Adj), *residual sum of square* (RSS), dan kesederhanaan model. Semakin tinggi *corrected coefficient of determination* (kisaran nilai 0 – 1) maka semakin baik model regresinya, *standar error* dan *residual sum of square* yang kecil menunjukkan tingkat kesalahan yang kecil pula. Kelayakan model diuji dengan uji F dan uji T (Sulaiman, 2004). Analisis data menggunakan *software Microsoft Excel* dan SPSS 26. *Coefficient of determination* (R^2) merupakan seberapa besar keragaman *variable dependent* dengan *variable independent* sedangkan *corrected coefficient of determination* (R^2 – adj) nilai peubahnya sudah dikoreksi.

$$R^2 = \frac{\text{JKR}}{\text{JKT}}\ x\ 100 = \left\{1 - \frac{\text{JKR}}{\text{JKT}}\right\} x\ 100,$$

keterangan

R^2: *Coefficient of determination*, JKR: *regression sum of squares*, JKT: *sum of total squares*.

$$Adjusted\ R^2 = 1 - \frac{(1-R^2)(\text{N}-1)}{\text{N}-\text{p}-1},$$

Keterangan:

N : jumlah total sampel,

p : jumlah *variable independent*

Keakuratan suatu model dengan *residual standart error*. Suatu model dikatakan baik ketika nilai RSE nya kecil yaitu mendekati nol. Persamaan Allometrik untuk mengestimasi biomassa berkayu baik jika nilai *residual standart error* kurang dari 30. RSE menggunakan selisih dari nilai yang diestimasi dan nilai yang aktual. RSE sebagai berikut:

$$Residual\ standart\ error = \frac{\sqrt{RSS}}{\text{df}},$$

keterangan:

RSS: *residual standart error*, df: derajat bebas residual (n-2)

Uji F untuk menguji suatu model persamaan layak digunakan atau tidak dengan melihat nilai sig F < 0,05 artinya hipotesis nol ditolak sehingga persamaan model dapat diterima (Madhusudhan et al. 2022)

$t\ hitung = \frac{d-d0}{\frac{Sd}{\sqrt{n}}}$, keterangan: d: nilai Tengah selisih n pengamatan berpasasangan, S: simpangan baku selisih, n: jumlah contoh.

Akaike information criterion (AIC) untuk mennetukan model prediksi terbaik dari model – model persamaan yang didapat dengan mempertimbangkan variabel yang digunakan dalam model. Nilai AIC terkecil menunjukan model prediksi terbaik.

$$AIC = \text{j}\log(\frac{RSS}{j}) + 2i + \frac{2i\,(i+1)}{j-i-1},$$

keterangan:

j: jumlah sampel, RSS: jumlah sisa kuadrat model, i: jumlah variabel.

Uji validasi model merupakan suatu proses dalam menentukan benar atau tidak suatu model disajikan secara nyata dan menunjukkan kelemahan dalam suatu model ntuk penambahan pengumpulan data lapangan. Uji Validasi dapat menggunakan NRMSE dan MAPE. Kriteria NRMSE dan MAPE yaitu memiliki nilai sebagai berikut < 10% *accurate*, 11 – 20 % *well*, 20 – 50% *feasible*, dan > 50% *inaccurate* (Sanni et al. 2024). NRMSE adalah hasil RMSE (*Root Mean Square Error*) yang dinormalisasikan untuk mengetahui informasi rata – rata dan kesalahan sebaran data. Dimana kesalahan sebaran data ini menunjukkan hubungan antara variabel dependent dan variabel independent. NRMSE dan RMSE menggunakan rumus sebagai berikut.

$NRMSE = \frac{RMSE}{Y}$, keterangan: RMSE: *root mean square error*, Y: rata – rata Y Aktual.

$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n}(Ay-Fr)^2}{n}}$, keterangan: Ay: *value* data aktual, Fr: *value* hasil pendugaan, n: jumlah data.

MAPE adalah rata-rata dari kesalahan persentase absolut (APE). MAPE menjelaskan seberapa besar error memprediksi dengan nilai aktual terhadap hasil yang diestimasi (Ghuo et al. 2023). MAPE dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut kemudian dikalikan 100 sehingga nilai MAPE dalam satuan persen (%).

$MAPE = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{n}|\frac{At-Ft}{At}|$, keterangan: At: nilai aktual, Ft: nilai prediksi dari model, n: jumlah data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan pengukuran diameter pangkal (30 cm di atas permukaan tanah), diameter bebas cabang, diameter tajuk, dan tinggi total. Namun estimasi biomassa dengan menggunakan diameter paling dapat diandalkan untuk estimasi biomassa. Hal ini didukung oleh Mulyana *et al.* (2021) dalam penelitianya model allometrik pendugaan biomassa menggunakan penduga diameter menghasilkan model *power* dengan nilai *coefficient of determination* sebesar 0,959. Nilai ini menunjukkan 95,9 % terdapat korelasi antara biomassa dan diameter. Daun dan ranting kayu putih merupakan biomassa di atas permukaan tanah.

Tabel 1. Model Allometrik Dengan Penduga Diameter Pangkal Diukur 30 Cm Di Atas Permukaan Tanah

Jenis Model	Persamaan	R^2 – Adj	Std Error Estimated	RSS / JKE	F-Hit	Sig
Linier	Y= 1,013 + 0,213Do	0,584	1,161	334,104	351,167	0,000
Logaritma	Y= -0,793 + 1,907LnDo	0,537	1,225	372,114	289,964	0,000
Inverse	Y= 4,820 – 9,046/Do	0,363	1,437	512,069	142,932	0,000
Cubic	Y= 2,391 – 0,410Do + 0,066Do^2 – 0,002Do^3	0,646	1,071	282,048	152,676	0,000
Compound	**Y= 1,294 $1,074^{Do}$**	**0,574**	**0,397**	**39,089**	**336,220**	**0,000**
Power	Y= $0,665Do^{0,665}$	0,573	0,397	39,144	335,392	0,000
Sigmoid	Y = $e^{1,570– 3,435/Do}$	0,425	0,461	52,727	185,109	0,000
Growth	Y= $e^{0,258 + 0,071Do}$	0,574	0,397	39,089	336,220	0,000
Exponential	Y= 1,294 ($e^{0,071Do}$)	0,574	0,397	39,089	336,220	0,000
Logistic	Y= (1/u + 0,773.$0,931^{Do}$)$^{-1}$	0,574	0,397	39,089	336,220	0,000

Tabel 2. Model Allometrik Dengan Penduga Diameter Pohon Bebas Cabang

Jenis Model	Persamaan	R^2 – Adj	Std Error Estimated	RSS / JKE	F-Hit	Sig
Linier	Y= 0,681 + 0,318Db	0,733	0,943	220,611	683,889	0,000
Logaritma	Y= -0,504 + 2,023LnDb	0,639	1,097	298,362	441,046	0,000
Inverse	Y= 4,547– 5,816/Db	0,344	1,478	541,541	131,630	0,000
Cubic	Y= 1,797 – 0,291Db + $0,080Db^2$ - $0,003Db^3$	0,766	0,883	191,866	272,288	0,000
Compound	**Y= 1,189 $1,109^{Db}$**	**0,702**	**0,331**	**27,141**	**588,919**	**0,000**
Power	Y= $0,764Db^{0,688}$	0,668	0,350	30,301	501,636	0,000
Sigmoid	$Y = e^{1,467– 2,075/Db}$	0,397	0,471	54,997	165,024	0,000
Growth	$Y= e^{1,173 - 0,103Db}$	0,702	0,331	27,141	588,919	0,000
Exponential	Y= 1,189 ($e^{0,103Db}$)	0,702	0,331	27,141	588,919	0,000
Logistic	Y= $(1/u + 0,841.0,902^{Db})^{-1}$	0,702	0,331	27,141	588,919	0,000

Tabel 3. Model Allometrik Dengan Penduga Diameter Tajuk Pohon

Jenis Model	Persamaan	R^2 – Adj	Std Error Estimated	RSS / JKE	F-Hit	Sig
Linier	Y= 2,753 + 0,824Dt	0,123	1,650	465,372	25,084	0,000
Logaritma	Y=3,591 + 1,572LnDt	0,292	1,482	375,470	72,034	0,000
Inverse	Y= 5,611– 1,706/Dt	0,403	1,361	316,853	116,995	0,000
Quadratic	Y = -1,461 +7,664Do – $2,140Do^2$	0,733	0,911	141,082	236,509	0,000
Compound	Y=2,345 $1,318^{Dt}$	0,170	0,460	36,133	36,240	0,000
Power	Y= $3,121Dt^{0,508}$	0,373	0,399	27,276	103,539	0,000
Sigmoid	**$Y = e^{1,791– 0,551/Dt}$**	**0,513**	**0,352**	**21,186**	**182,452**	**0,000**
Growth	$Y= e^{0,852 - 0,276Dt}$	0,170	0,460	36,133	36,240	0,000
Exponential	Y= 2,345 ($e^{0,276Dt}$)	0,170	0,460	36,133	36,240	0,000
Logistic	Y= $(1/u + 0,426.0,759^{Dt})^{-1}$	0,170	0,460	36,133	36,240	0,000

Tabel 4. Model Allometrik Dengan Penduga Tinggi Total Pohon

Jenis Model	Persamaan	R^2 – Adj	Std Error Estimated	RSS / JKE	F-Hit	Sig
Linier	Y= -0,417 + 0,844TTL	0,776	0,878	191,151	865,559	0,000
Logaritma	Y= -1,508 + 3,482LnTTL	0,733	0,960	228,635	682,992	0,000
Inverse	Y= 6,553– 11,592/TTL	0,630	1,129	316,213	425,147	0,000
Cubic	Y = 2,402 – 1,229TTL + $0,444TTL^2$ – $0,029TTL^3$	0,786	0,859	181,311	306,175	0,000
Compound	Y=0,871 $1,303^{TTL}$	0,740	0,304	22,902	710,384	0,000
Power	**Y= $0,764TTL^{0,688}$**	**0,669**	**0,350**	**22,495**	**727,744**	**0,000**
Sigmoid	$Y = e^{2,114– 3,882/TTL}$	0,686	0,334	27,698	544,441	**0,000**
Growth	$Y= e^{-0,138 + 0,265TTL}$	0,740	0,304	22,902	710,384	0,000
Exponential	Y= 0,871 ($e^{0,265TTL}$)	0,740	0,304	22,902	710,384	0,000
Logistic	Y= $(1/u + 1,148.0,767^{TTL})^{-1}$	0,740	0,304	22,902	710,384	0,000

Tabel 5. Model Allometrik Dengan Penduga Tinggi Tajuk Pohon

Jenis Model	Persamaan	R^2 – Adj	Std Error Estimated	RSS / JKE	F-Hit	Sig
Linier	Y= 1,698 + 0,766T.Tajuk	0,662	0,952	223,842	487,443	0,000
Compound	**Y= 1,775 $1,264^{T.Tajuk}$**	**0,590**	**0,339**	**28,4160**	**358,602**	**0,000**
Growth	Y= $e^{0,574 + 234T.Tajuk}$	0,590	0,339	28,4160	358,602	0,000
Exponential	Y= 1,775 ($e^{0,234TL}$)	0,590	0,339	28,4160	358,602	0,000
Logistic	Y= (1/u + 0,563.0,791$^{T.Tajuk}$)$^{-1}$	0,590	0,339	28,4160	358,602	0,000

Tabel 6. Hasil Uji Kecocokan Model Allometrik

Dimensi pohon	Jenis Model	RSE	AIC
Do	Compound	0,025	-199,5
Db	**Compound**	**0,021**	**-239,1**
Diameter Tajuk	Sigmoid	0,019	-266
Tinggi Total	Power	0,019	-259,4
Tinggi Tajuk	Compound	0,076	41,2

Keterangan: Do: diameter pangkal diukur dari 30 cm di atas permukaan tanah; Db: diameter pohon bebas cabang; RSE: *residual standart error;* AIC: *Akaike Information Criterion.*

Tabel 6 menunjukkan analisis kecocokan model dengan AIC dan RSE. Model persamaan dikatakan baik apabila memiliki nilai RSE bernilai kecil dan mendekati nol serta memiliki nilai AIC yang semakin kecil. Tabel 6 menunjukkan bahwa model *compound* memiliki nilai RSE sebesar 0,021 dan nilai AIC sebesar -239,1. Nilai AIC bernilai positif atau negatif itu tidak bermasalah penyebabnya karena berasal dari kepadatan probabilitas sehingga nilainya melebihi satu artinya nilai *log-likelihood* positif, menyebabkan nilai AIC pada penelitian ini negatif. Kariya et al. (2021), penelitiannya menghasilkan nilai AIC negatif untuk model logaritma dalam pendugaan biomassa dengan diameter akar setinggi 20 cm.

Uji validasi menggunakan NRMSE dan MAPE disajikan pada Tabel 8 menunjukkan bahwa hasil dari NRMSE yaitu 32,12% artinya kemampuan model peramalan Layak sedangkan hasil uji MAPE yaitu 27,77% artinya kemampuan model peramalan layak. Sehingga dari model yang dihasilkan bahwa model tersebut dapat digunakan untuk memprediksi variabel berat daun ranting kayu putih dengan variabel diameter bebas cabang.

Tabel 7. Uji Validasi Model Allometrik

Dimensi pohon	Jenis Model	NRMSE	Keterangan	MAPE	Keterangan
Do	Compound	36,15	Layak	33,23	Layak
Db	**Compound**	32,12	Layak	27,77	Layak
Diameter Tajuk	Sigmoid	29,29	Layak	25,97	Layak
Tinggi Total	Power	19,37	Good	29,42	Layak
Tinggi Tajuk	Compound	44,85	Poor	698,67	Poor

Keterangan: Do: diameter pangkal diukur dari 30 cm di atas permukaan tanah; Db: diameter pohon bebas cabang; RMSE & MAPE: uji validasi model.

Model terbaik yang didapatkan yaitu model *compound* dibandingkan dengan nilai masing – masing dimensi pohon yang dianalisis, model ini telah dilakukan uji F yang memenuhi kriteria kelayakan model. Model *compound* memiliki nilai R^2 – Adj

sebesar 0,702 artinya variabel berat daun ranting kayu putih dapat dijelaskan oleh variabel diameter bebas cabang sebesar 70,2%, sisanya (29,8%) dijelaskan oleh variabel lain. *Residual sum of square* 27,141 dan *standar error* 0,331. Model pendugaan yang dipilih yaitu model *compound* dengan penduga diameter bebas cabang memiliki persamaan yaitu $Y= 1{,}189\ 1{,}109^{Db}$.

DBH dan pohon ketinggian berkorelasi positif dengan biomassa, karena diameter batang meningkat seiring pertumbuhan pohon, sehingga meningkatkan jumlah daun dan ranting yang didukung oleh pohon (Schindler et al. 2023). Studi meta di SSA menunjukkan bahwa 75% dari persamaan allometrik yang dikembangkan dengan menggunakan diameter batang untuk menduga biomassa di atas permukaan tanah, dan 74% menggunakan penduga tunggal untuk mengurangi masalah statistik terkait dengan multikolinearitas. Perbedaan lokasi dan spesifisitas spesies mempengaruhi validasi pada persamaan allometrik. Hal ini dapat dikatakan bahwa setiap jenis spesies tanaman dan keadaan lokasi pertumbuhan suatu tanaman akan mempengaruhi jenis persamaan allometrik yang menduga *variable dependent* (Henry et al. 2011).

Berat daun ranting kayu putih yang diestimasi oleh penduga diameter atau luas penampangnya ini sangat berkaitan dengan teori pipa koefisien determinasi yang tertinggi yang lebih banyak menjelaskan biomassa daun ranting dengan penduga diameter bebas cabang. Hal ini sejalan dengan pernyataan bahwa jumlah daun ranting sebanding dengan dbh atau luas penampang batang pada cabang terendah. Dengan demikian terbukti bahwa diameter (dbh) dapat berfungsi sebagai dasar keseluruhan untuk estimasi jumlah daun. Korelasi biomassa terhadap penduga diameter memiliki korelasi positif sebesar 0,89, artinya semakin besar diameter atau semakin tinggi pohon maka biomassa semakin besar. Adapula semakin besar diameter pohon maka biomassa tidak selalu berbanding lurus (Zaenal et al. 2020). Pertumbuhan biomassa tanaman kayu putih meningkat saat daur 1 – 5 bulan. Pertumbuhan relatif lambat saat daur 6 bulan pasca pemangkasan. Pertumbuhan melambat saat daur 12 bulan pasca pemangkasan.

SIMPULAN

Model allometrik terbaik sebagai model untuk pendugaan daun dan ranting tanaman kayu putih di BKPH Subang yaitu berbentuk *compound dengan penduga* diameter bebas cabang. Model allometrik terbaik untuk penduga berat daun ranting kayu putih yaitu $Y= 1{,}189\ 1{,}109^{Db}$.

DAFTAR PUSTAKA

Brophy, J. J., Craven, L. A., & Doran, J. C. (2013). Melaleucas: their botany, essential oils and uses. *ACIAR Monograph*, *156*, 415 pp

Bhattacharya, S., Kamper, F., & Beirlant, J. (2023). Outlier detection based on extreme value theory and applications. *Scandinavian Journal of Statistics*, *50*(3), 1466–1502. https://doi.org/10.1111/sjos.12665

Craven, L.A dan Barlow, B.A. 1997. New taxa and new combination in Melaleuca (Myrtaceae). *Novon*. 7(2): 113-119.

Guo, X., Li, J., Zhu, X., Yang, Y., & Jin, J. (2023). Predicting of elderly population structure and density by a novel grey fractional-order model with theta residual optimization: a case study of Shanghai City, China. *BMC Geriatrics*, *23*(1), 568. https://doi.org/10.1186/s12877-023-04197-2

Henry, M., Picard, N., Trotta, C., Manlay, R. J., Valentini, R., Bernoux, M., & Saint-André, L. (2011). Estimating tree biomass of sub-Saharan African forests: A review of available allometric equations. *Silva Fennica*, *45*(3), 477–569. https://doi.org/10.14214/sf.38

Ridlo, M., Tri, S., Amelia, W., & Wiguno, A. dan Kuswandi. (2020). Pra Desain Pabrik Minyak Kayu Putih. *Teknik ITS*, *9*(2), 355–361

Rimbawanto, A., Kartikawati, N. K., & Prastyono. (2017). Minyak Kayu Putih Dari Tanaman Asli Indonesia Untuk Masyarakat Indonesia. In *Seluk Beluk Tanaman Kayu Putih*.

Smith, H., & Idrus, S. (2018). Karakteristik minyak kayu putih pada berbagai lokasi

di maluku. *Majalah BIAM*, *14*(02), 58–69

Schindler, Z., Seifert, T., Sheppard, J. P., & Morhart, C. (2023). Allometric models for above-ground biomass, carbon and nutrient content of wild cherry (Prunus avium L.) trees in agroforestry systems. *Annals of Forest Science*, *80*(1). https://doi.org/10.1186/s13595-023-01196-6

Kariya, T., Kurata, H., & Hayashi, T. (2024). A modelling framework for regression with collinearity. *Journal of Statistical Planning and Inference*, *228*, 95–115. https://doi.org/10.1016/j.jspi.2023.07.001

Kartikawati, N. K., Rimbawanto, A., Na'iem, M., Indrioko, S., & Doran, J. C. (2021). Pollen dispersal and genetic structure in a cajuput (Melaleuca cajuputi subsp. cajuputi) seed orchard in Yogyakarta, Indonesia. *Australian Forestry*, *84*(2), 82–90. https://doi.org/10.1080/00049158.2021.1911079

Madhusudhan, M. S., Surendra, H. J., Harshitha, J., Lekhana, P. S., & Kusumanjali, T. S. (2022). Estimation of Flood Discharges for Various Return Periods at Kabini Dam Using Statistical Approach. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, *31*, 940–947. https://doi.org/10.3233/ATDE220957

Mulyana, Budi, Rohman, R., & Wardhana, W. (2018). Luas Optimum Petak Ukur Untuk Hutan Tanaman Kayu Putih Di Kesatuan Pengelolaan Hutan Yogyakarta. Jurnal Penelitian Kehutanan Faloak, 2(1), 29–38. https://doi.org/ 10.20886/jpkf.2018.2. 1.29-38

Mulyana, B., Purwanto, R. H., Rohman, & Reorita, R. (2021). Allometric Model to Estimate Biomass of Leave-Twigs Cajuput (Melaleuca cajuput) at KPH Yogyakarta, Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 724(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/724/1/012084

Sanni, O., Adeleke, O., Ukoba, K., Ren, J., & Jen, T. C. (2024). Prediction of inhibition performance of agro-waste extract in simulated acidizing media via machine learning. *Fuel*, *356*(July 2023), 129527. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129527

Zaenal, M. S., Tiryana, T., & Muhdin. (2020). Allometric Models for Estimating Tree Biomass of Dryland Secondary Forest in East Halmahera. Jurnal Wasian, 7(2), 87–101. https://doi.org/10.20886/jwas.v7i2.5948