

KARAKTERISTIK VOLUME POHON BERDIRI DAN REBAH *ACACIA CRASSICARPA* DI LAHAN GAMBUT

Volume Characteristics of Standing and Felled Acacia crassicarpa Trees in Peatland Plantations

Irsya Muthia Muthmainnah^{1*}, Ujang Suwarna¹, Lysel Tamalia Haura Zulfah²

(Diterima 18 Juni 2026 /Disetujui 28 Juni 2026)

ABSTRACT

Wood volume information is important for forest inventory and wood utilization planning in peatland plantation forests. During harvesting, standing trees become felled trees, requiring different volume measurement approaches. This study aimed to analyze the volume characteristics of standing and felled Acacia crassicarpa trees in peatlands and to develop volume estimation models based on tree and stem dimensions. The study used 40 standing trees and 40 felled trees. Standing tree volume was estimated using diameter at breast height, tree height, and a form factor of 0.7, while felled tree volume was calculated using the Brereton formula based on butt diameter, top diameter, and stem length. Data were analyzed using descriptive statistics, the Shapiro-Wilk normality test, Welch's test, and multiple linear regression. The results showed that the average volume of standing trees was $0.124 \pm 0.044 \text{ m}^3 \text{ tree}^{-1}$, significantly higher than felled trees at $0.089 \pm 0.019 \text{ m}^3 \text{ stem}^{-1}$ ($p < 0.001$). The volume estimation models showed strong relationships between wood volume and tree or stem dimensions, with coefficients of determination of 0.969 for standing trees and 0.997 for felled trees. These findings support wood resource evaluation in peatland plantation forests.

Keywords: Acacia crassicarpa, felled trees, forest harvesting, peatland, wood volume

¹ Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

*Penulis korespondensi: Irsya Muthia Muthmainnah
e-mail: irsyamuthia@apps.ipb.ac.id

² Alumnus Program Sarjana Program Studi Manajemen Hutan, Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

PENDAHULUAN

Hutan tanaman industri merupakan salah satu sumber utama bahan baku kayu bagi industri pulp dan kertas di Indonesia (Martins *et al.* 2020). Salah satu jenis yang banyak dikembangkan pada lahan gambut adalah akasia rawa (*Acacia crassiparva* A.Cunn. ex Benth.) karena memiliki pertumbuhan yang relatif cepat, toleran terhadap kondisi tanah masam dan jenuh air, serta mampu menghasilkan kayu dalam jumlah besar pada umur rotasi yang relatif pendek (Martins *et al.* 2020). Selain berperan sebagai sumber bahan baku industri, tegakan *A. crassiparva* di lahan gambut juga memiliki kontribusi terhadap penyimpanan biomassa dan karbon sehingga menjadi komponen penting dalam sistem pengelolaan hutan tanaman industri (Yuniawati *et al.* 2011).

Berbagai penelitian telah dilakukan terkait karakteristik dan pemanfaatan *A. crassiparva*. Martins *et al.* (2020) meneliti variasi sifat kayu dan kualitas bahan baku *A. crassiparva* untuk kebutuhan industri pulp. Yuniawati *et al.* (2011) mengkaji potensi biomassa dan karbon tegakan *A. crassiparva* di lahan gambut. Penelitian lain menyoroti aspek efisiensi pemanenan dan faktor eksploitasi pada kegiatan pemanenan kayu (Suhartana & Yuniawati 2011; Soenarno *et al.* 2016; Soenarno *et al.* 2019). Meskipun demikian, penelitian yang secara khusus membandingkan karakteristik volume antara pohon berdiri dan pohon rebah hasil penebangan pada tegakan *A. crassiparva* di lahan gambut masih terbatas. Informasi tersebut penting karena dapat menghubungkan data inventarisasi tegakan dengan volume aktual hasil pemanenan sebagai dasar evaluasi sumber daya kayu dan efisiensi pemanfaatannya.

Informasi volume kayu merupakan aspek penting dalam inventarisasi hutan, perencanaan pemanenan, dan evaluasi pemanfaatan hasil hutan. Pada tahap pra-panen, volume pohon umumnya diduga menggunakan persamaan volume yang memanfaatkan diameter setinggi dada (DBH) dan tinggi pohon sebagai peubah utama, serta pada beberapa kondisi, pendugaan volume juga menggunakan faktor bentuk untuk mengakomodasi variasi bentuk batang (Ulak *et al.* 2022). Setelah pohon ditebang dan berada dalam kondisi rebah, volume kayu dapat diukur secara langsung berdasarkan dimensi batang, seperti diameter pangkal, diameter ujung, dan panjang batang. Perbedaan metode pengukuran tersebut menghasilkan informasi yang berbeda mengenai volume kayu yang tersedia sebelum dan setelah penebangan. Oleh karena itu, evaluasi karakteristik volume pada kedua kondisi tersebut diperlukan untuk mendukung pengelolaan sumber daya kayu yang lebih akurat.

Permasalahan yang dihadapi adalah masih terbatasnya informasi mengenai perbedaan karakteristik volume antara pohon berdiri dan pohon rebah pada tegakan *A. crassiparva* di lahan gambut. Keterbatasan informasi tersebut dapat menyebabkan ketidakpastian dalam memperkirakan sumber daya kayu yang tersedia pada tahap inventarisasi maupun setelah penebangan. Pendekatan yang digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah membandingkan volume pohon berdiri dan pohon rebah melalui pengukuran langsung di lapangan serta menganalisis hubungan antara dimensi pohon atau batang dengan volume kayu yang dihasilkan.

Berdasarkan uraian tersebut, pertanyaan penelitian yang diajukan adalah: bagaimana karakteristik volume kayu antara pohon berdiri dan pohon rebah *Acacia crassiparva* pada lahan gambut serta bagaimana hubungan dimensi pohon dan dimensi batang terhadap volume kayu yang dihasilkan? Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis karakteristik volume pohon berdiri dan pohon rebah *Acacia crassiparva* di lahan gambut; (2) membandingkan volume kayu antara pohon berdiri dan pohon rebah; serta (3) menyusun model pendugaan volume berdasarkan dimensi pohon dan dimensi batang sebagai dasar evaluasi sumber daya kayu pada hutan tanaman industri.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari–Februari 2026 di areal hutan tanaman industri lahan gambut PT. Arara Abadi, Kabupaten Siak, Provinsi Riau. Objek penelitian adalah tegakan akasia rawa (*Acacia crassicarpa* A.Cunn. ex Benth.) berumur 3,5 tahun dengan jarak tanam $3\text{ m} \times 2\text{ m}$.

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pohon berdiri dan pohon rebah *A. crassicarpa* pada tegakan hutan tanaman industri lahan gambut. Alat yang digunakan meliputi pita ukur atau meteran untuk mengukur keliling dan diameter batang, alat ukur tinggi pohon, meteran gulung untuk mengukur panjang batang rebah.

Pengumpulan Data

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif eksploratif dengan pendekatan pengukuran lapangan untuk membandingkan karakteristik volume pohon berdiri dan pohon rebah hasil penebangan. Pengumpulan data dilakukan dengan metode *purposive sampling* pada tegakan *A. crassicarpa* di lahan gambut. Data yang dikumpulkan terdiri atas data pohon berdiri dan data pohon rebah. Pohon berdiri didefinisikan sebagai pohon *A. crassicarpa* yang masih tumbuh tegak di lapangan sebelum kegiatan penebangan. Pohon rebah didefinisikan sebagai pohon *A. crassicarpa* yang telah ditebang dalam kegiatan pemanenan dan berada dalam posisi rebah sebelum proses pengangkutan. Sampel terdiri atas 40 pohon berdiri dan 40 pohon rebah.

Pada pohon berdiri, variabel yang diukur meliputi keliling batang pada posisi diameter setinggi dada dan tinggi pohon. Pada pohon rebah, parameter yang diukur meliputi diameter pangkal, diameter ujung, dan panjang batang. Diameter pangkal dan diameter ujung masing-masing diukur sebanyak dua kali pada arah yang saling tegak lurus, kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Panjang batang diukur dari pangkal hingga ujung batang yang digunakan dalam perhitungan volume.

Pengolahan dan Analisis Data

Analisis statistik volume kayu dilakukan mengikuti alur pada Gambar 1. Tahap awal analisis dilakukan secara deskriptif untuk memperoleh nilai rata-rata, standar deviasi, nilai minimum, dan nilai maksimum volume pohon berdiri dan pohon rebah. Selanjutnya, data volume diuji normalitasnya menggunakan uji Shapiro-Wilk. Uji normalitas dilakukan menggunakan uji Shapiro-Wilk karena uji ini umum digunakan untuk mengevaluasi kenormalan data kuantitatif pada sampel berukuran kecil hingga sedang (Shapiro & Wilk 1965).

Apabila data berdistribusi normal, analisis dilanjutkan dengan uji homogenitas ragam menggunakan uji Levene untuk menilai kesamaan ragam antara kelompok pohon berdiri dan pohon rebah (Levene 1960). Jika ragam kedua kelompok homogen, perbandingan volume pohon berdiri dan pohon rebah dianalisis menggunakan uji *t* dua sampel independen. Namun, jika data berdistribusi normal tetapi ragam kedua kelompok tidak homogen, perbandingan rata-rata dianalisis menggunakan uji Welch karena uji ini dikembangkan untuk membandingkan rata-rata ketika ragam populasi berbeda (Welch 1947). Apabila data tidak berdistribusi normal, perbandingan dua kelompok independen dianalisis menggunakan uji Mann-Whitney (Mann & Whitney 1947).

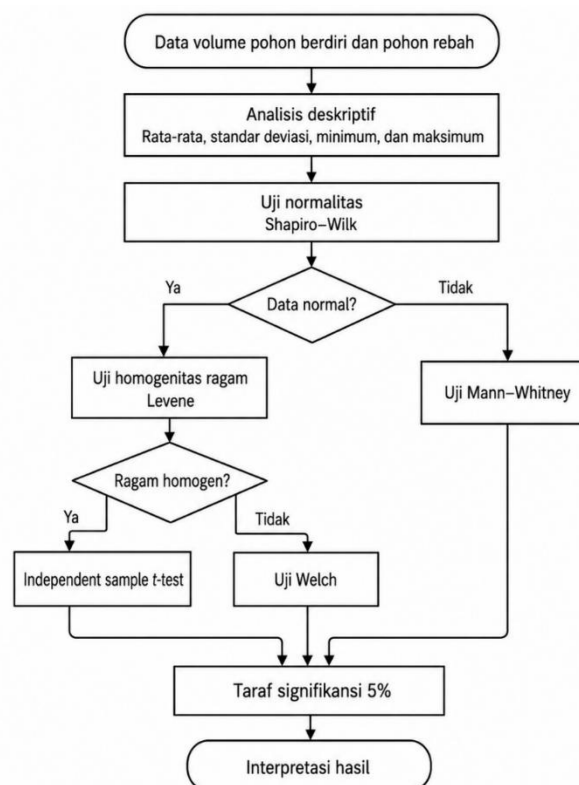
Seluruh pengujian dilakukan pada taraf nyata 5%. Pemilihan uji parametrik dilakukan setelah asumsi normalitas terpenuhi. Fagerland (2012) menjelaskan bahwa uji nonparametrik tidak selalu menjadi pilihan terbaik untuk data kuantitatif apabila tujuan analisis adalah membandingkan rata-rata, sehingga pemilihan uji perlu mempertimbangkan bentuk data dan asumsi statistik. Selain itu, analisis regresi linear berganda digunakan untuk menyusun model pendugaan volume. Pada pohon berdiri, volume dianalisis sebagai variabel terikat dengan diameter setinggi dada dan tinggi pohon sebagai variabel bebas. Pada pohon rebah, volume dianalisis sebagai variabel terikat dengan diameter pangkal, diameter ujung, dan panjang batang sebagai variabel bebas. Analisis regresi linear berganda

digunakan untuk menyusun model pendugaan volume. Bentuk umum model regresi yang digunakan adalah sebagai berikut (Montgomery *et al.* 2012) :

$$V = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (1)$$

Keterangan: V = Volume kayu (m^3)
 a = konstanta regresi
 $b_1, b_2, \dots, b_n$ = koefisien regresi masing-masing variabel bebas
 $X_1, X_2, \dots, X_n$ = variabel bebas (dimensi pohon atau dimensi batang)

Kekuatan model dievaluasi berdasarkan nilai koefisien determinasi, nilai signifikansi model, dan signifikansi masing-masing variabel bebas.



Gambar 1 Diagram alir analisis statistik volume pohon berdiri dan pohon rebah *Acacia crassicarpa*

Data hasil pengukuran ditabulasi berdasarkan dua kelompok, yaitu pohon berdiri dan pohon rebah. Volume pohon berdiri dihitung berdasarkan diameter setinggi dada (DBH), tinggi pohon, dan angka bentuk (*form factor*) sebesar 0,7 menggunakan persamaan volume pohon sebagai berikut (Tiryana *et al.* 2021) :

$$V = 0,25\pi \times (Dbh)^2 \times H \times F \quad (2)$$

Keterangan: V = Volume kayu (m^3)
 π = phi (3,14)
 Dbh = Diameter setinggi dada (m)
 H = Tinggi pohon (m)
 F = Angka bentuk batang sebesar 0,7

Volume pohon rebah dihitung menggunakan rumus Brereton berdasarkan diameter pangkal, diameter ujung, dan panjang batang. Metode Brereton menghitung volume log menggunakan diameter rata-rata dari kedua ujung batang dan panjang log sebagai dasar perhitungan volume (Muhdin 1999). Rumus yang digunakan adalah:

$$V = 0,25\pi \times \left(\frac{Dp+Du}{2} \right)^2 \times L \quad (3)$$

Keterangan:	V	= Volume kayu (m^3)
	π	= <i>phi</i> (3,14)
	Dp	= Diameter pangkal (m)
	Du	= Diameter ujung (m)
	L	= Panjang (m)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Volume Pohon Berdiri dan Pohon Rebah

Rata-rata volume pohon berdiri lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata volume pohon rebah. Volume pohon berdiri memiliki rata-rata sebesar $0,124 \text{ m}^3 \text{ pohon}^{-1}$ dengan standar deviasi $0,044 \text{ m}^3$, sedangkan volume pohon rebah memiliki rata-rata sebesar $0,089 \text{ m}^3 \text{ batang}^{-1}$ dengan standar deviasi $0,019 \text{ m}^3$. Karakteristik volume pohon berdiri dan pohon rebah *Acacia crassicaarpa* pada lahan gambut disajikan pada Tabel 1. Sebagai pembandingan, Martins *et al.* (2020) menggunakan 40 pohon *A. crassicaarpa* berumur 50 bulan dalam kajian sifat kayu dan pulping. Meskipun tujuan penelitian tersebut berbeda, kesamaan jumlah pohon menunjukkan bahwa pengamatan pada puluhan individu pohon telah digunakan dalam kajian karakteristik *A. crassicaarpa*. Namun demikian, jumlah sampel dalam penelitian ini tetap perlu dipahami dalam konteks penelitian eksploratif pada lokasi dan tegakan tertentu, bukan sebagai dasar generalisasi untuk seluruh tegakan *A. crassicaarpa* di lahan gambut.

Tabel 1 Karakteristik volume pohon berdiri dan pohon rebah *Acacia crassicaarpa*

Kondisi pohon	Volume rata-rata $\pm$ standar deviasi
Pohon berdiri	$0,124 \pm 0,044 \text{ m}^3 \text{ pohon}^{-1}$
Pohon rebah	$0,089 \pm 0,019 \text{ m}^3 \text{ batang}^{-1}$

Rata-rata volume pohon berdiri sebesar $0,124 \text{ m}^3 \text{ pohon}^{-1}$ menunjukkan bahwa tegakan *A. crassicaarpa* yang diteliti memiliki potensi kayu yang dapat mendukung kebutuhan bahan baku hutan tanaman industri. Nilai ini tidak dapat dibandingkan secara langsung dengan penelitian biomassa karena satuan dan variabel yang digunakan berbeda. Yuniawati *et al.* (2011) menunjukkan bahwa biomassa tegakan *A. crassicaarpa* di lahan gambut meningkat seiring dengan bertambahnya umur tegakan. Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan dimensi pohon berkaitan dengan peningkatan akumulasi biomassa dan volume kayu. Jika dibandingkan dengan kajian pada jenis *Acacia* lain, nilai volume pohon berdiri dalam penelitian ini masih tergolong wajar untuk tegakan muda pada lahan gambut. Krisnawati *et al.* (2011) menjelaskan bahwa pertumbuhan dan pendugaan volume batang *Acacia mangium* dipengaruhi oleh diameter, tinggi, umur, dan kualitas tempat tumbuh. Namun, karena penelitian tersebut membahas *A. mangium*, hasilnya tidak dapat dibandingkan secara langsung dengan *A. crassicaarpa*. Perbedaan spesies, umur tegakan, kondisi tapak, dan standar pemanfaatan batang dapat menyebabkan perbedaan nilai volume individu.

Rata-rata volume pohon rebah sebesar $0,089 \text{ m}^3 \text{ batang}^{-1}$ lebih rendah dibandingkan rata-rata volume pohon berdiri. Perbedaan ini dapat terjadi karena volume pohon rebah dihitung berdasarkan dimensi batang setelah penebangan, yaitu diameter pangkal, diameter ujung, dan panjang batang. Sementara itu, volume pohon berdiri dihitung sebagai volume dugaan berdasarkan diameter setinggi dada, tinggi pohon, dan angka bentuk. Oleh karena itu, perbedaan volume antara pohon berdiri dan pohon rebah tidak dapat langsung diartikan sebagai kehilangan volume, tetapi lebih tepat dipahami sebagai perbedaan karakteristik objek pengukuran dan pendekatan perhitungan volume. Nambiar dan Harwood (2014) menjelaskan bahwa produktivitas hutan tanaman *Acacia* dan *Eucalyptus* di Asia Tenggara sangat dipengaruhi oleh faktor biofisik, kualitas tapak, pengelolaan tanah, perlindungan sumber daya, dan perbaikan genetik. Martins *et al.* (2020) juga menunjukkan bahwa *A. crassicaarpa* merupakan jenis penting untuk bahan baku pulp dan kertas di Asia Tenggara, serta memiliki variasi sifat kayu antarindividu. Dengan demikian, variasi volume pada pohon berdiri dan pohon rebah dalam

penelitian ini dapat dipengaruhi oleh kondisi tapak gambut, umur tegakan, dimensi pohon, serta pendekatan pengukuran volume.

Perbandingan Volume Pohon Berdiri dan Pohon Rebah

Hasil uji normalitas, uji homogenitas ragam, dan uji perbedaan volume pohon berdiri dan pohon rebah disajikan pada Tabel 2. Hasil uji Shapiro-Wilk menunjukkan bahwa data volume pohon berdiri dan pohon rebah berdistribusi normal. Namun, hasil uji Levene menunjukkan bahwa ragam kedua kelompok tidak homogen. Oleh karena itu, perbandingan volume antara pohon berdiri dan pohon rebah dianalisis menggunakan uji Welch.

Tabel 2 Hasil uji statistik volume pohon berdiri dan pohon rebah *Acacia crassicarpa*

Parameter uji	Nilai
Shapiro-Wilk pohon berdiri	W = 0,970; p = 0,359
Shapiro-Wilk pohon rebah	W = 0,961; p = 0,178
Levene	F = 24,769; p < 0,001
Uji Welch	t = 4,611; df = 52,717; p < 0,001
Selisih rata-rata volume	0,035 m ³

Hasil uji Welch menunjukkan bahwa volume pohon berdiri dan pohon rebah berbeda nyata pada taraf nyata 5%. Selisih rata-rata volume antara kedua kelompok sebesar 0,035 m³. Secara relatif, rata-rata volume pohon rebah lebih rendah sekitar 28% dibandingkan volume pohon berdiri. Perbedaan sebesar 0,035 m³ menunjukkan adanya perbedaan antara potensi volume sebelum penebangan dan volume batang yang terukur setelah penebangan. Dalam konteks pemanenan, perbedaan tersebut dapat berkaitan dengan perbedaan batas pengukuran, bagian pucuk yang tidak termasuk dalam panjang batang terukur, bagian batang yang tidak dimanfaatkan, atau perbedaan antara bentuk pohon utuh dan bentuk batang setelah ditebang. Soenarno *et al.* (2016) menjelaskan bahwa faktor eksploitasi berkaitan dengan proporsi kayu yang dapat dimanfaatkan dibandingkan dengan potensi kayu yang tersedia. Dengan demikian, perbedaan sekitar 28% pada penelitian ini dapat menjadi indikasi awal bahwa hubungan antara volume pohon berdiri dan volume pohon rebah perlu diteliti lebih lanjut melalui pengukuran faktor eksploitasi, tinggi tunggak, volume bagian pucuk, dan limbah pemanenan. Hasil ini juga sejalan dengan konsep efisiensi pemanenan yang dilaporkan Soenarno *et al.* (2019), bahwa efisiensi pemanfaatan kayu dipengaruhi oleh kemampuan kegiatan pemanenan dalam mengonversi potensi kayu menjadi kayu yang termanfaatkan. Namun, penelitian ini belum mengukur faktor eksploitasi secara langsung. Oleh karena itu, perbedaan volume pohon berdiri dan pohon rebah dalam penelitian ini sebaiknya dipahami sebagai perbedaan karakteristik volume berdasarkan kondisi dan metode pengukuran, bukan sebagai nilai kehilangan volume aktual.

Model Pendugaan Volume Pohon Berdiri

Hasil analisis regresi linear berganda disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Model pendugaan volume pohon berdiri *Acacia crassicarpa*

Parameter	Nilai
Persamaan regresi	$V = -0,217 + 0,020(\text{DBH}) + 0,007(T)$
R	0,984
Koefisien determinasi	0,969
Koefisien determinasi terkoreksi	0,967
Fhitung	572,631
Signifikansi model	p < 0,001

Keterangan: V = volume kayu (m³ pohon⁻¹); DBH = diameter setinggi dada (cm); T = tinggi pohon (m).

Model pendugaan volume pohon berdiri memiliki nilai koefisien determinasi sebesar 0,969. Nilai tersebut menunjukkan bahwa 96,9% variasi volume pohon berdiri dapat dijelaskan oleh

diameter setinggi dada dan tinggi pohon. Nilai ini menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara dimensi pohon dan volume kayu. Hasil tersebut sejalan dengan prinsip pendugaan volume pohon pada hutan tanaman, yaitu diameter setinggi dada dan tinggi pohon merupakan variabel utama dalam penyusunan model volume karena keduanya memiliki hubungan alometrik yang kuat dengan volume batang (Cysneiros *et al.* 2020). Krisnawati *et al.* (2011) menjelaskan bahwa model pendugaan volume batang *A. mangium* di Indonesia umumnya menggunakan diameter setinggi dada atau kombinasi diameter setinggi dada dan tinggi pohon. Krisnawati (2016) juga menyusun model volume dan taper batang *A. mangium* berdasarkan 279 pohon rebah di hutan tanaman Sumatra Selatan, dengan menggunakan parameter yang mudah diukur seperti diameter setinggi dada dan tinggi pohon. Kesamaan pendekatan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan diameter dan tinggi sebagai variabel penduga volume pada penelitian ini sudah sesuai dengan praktik umum dalam penyusunan model volume pohon hutan tanaman. Nilai koefisien determinasi sebesar 0,969 pada model pohon berdiri tergolong tinggi. Hal ini terjadi karena volume pohon berdiri dalam penelitian ini dihitung menggunakan diameter setinggi dada, tinggi pohon, dan angka bentuk. Dengan demikian, hubungan antara variabel bebas dan volume menjadi sangat kuat. Namun, model ini sebaiknya dipahami sebagai model pendugaan volume berbasis dimensi pohon, bukan sebagai bukti hubungan sebab-akibat biologis yang berdiri sendiri. Model pendugaan volume pohon berdiri dapat digunakan untuk mendukung kegiatan inventarisasi tegakan sebelum pemanenan. Informasi ini membantu memperkirakan potensi kayu yang tersedia di lapangan sebelum pohon ditebang. Pada hutan tanaman industri, model berbasis diameter dan tinggi dapat mendukung perencanaan pemanenan, estimasi hasil, dan pengelolaan sumber daya kayu secara lebih terukur.

Model Pendugaan Volume Pohon Rebah

Hasil analisis regresi linear berganda untuk model pendugaan volume pohon rebah *Acacia crassicaarpa* disajikan pada Tabel 4. Model disusun menggunakan diameter pangkal (Dp), diameter ujung (Du), dan panjang batang (L) sebagai variabel bebas karena ketiga parameter tersebut merupakan dimensi utama yang menentukan volume batang setelah penebangan.

Tabel 4 Model pendugaan volume pohon rebah *Acacia crassicaarpa*

Parameter	Nilai
Persamaan regresi	$V = -0,173 + 0,011(Dp) + 0,011(Du) + 0,005(L)$
R	0,999
Koefisien determinasi	0,997
Koefisien determinasi terkoreksi	0,997
Fhitung	4.388,497
Signifikansi model	$p < 0,001$

Keterangan: V = volume kayu (m^3 batang⁻¹); Dp = diameter pangkal (cm); Du = diameter ujung (cm); L = panjang batang (m).

Berdasarkan Tabel 4, model pendugaan volume pohon rebah memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,997, yang menunjukkan bahwa 99,7% variasi volume batang dapat dijelaskan oleh diameter pangkal, diameter ujung, dan panjang batang. Nilai F yang tinggi (4.388,497) dengan tingkat nyata signifikansi $p < 0,001$ menunjukkan bahwa model yang dibangun signifikan secara statistik. Nilai koefisien determinasi model pohon rebah juga lebih tinggi dibandingkan model pohon berdiri. Perbedaan tersebut logis karena volume pohon rebah dihitung langsung menggunakan dimensi batang yang sama, yaitu diameter pangkal, diameter ujung, dan panjang batang. Oleh karena itu, hubungan yang sangat kuat antara variabel bebas dan volume merupakan konsekuensi dari pendekatan pengukuran yang digunakan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Krisnawati (2016), yang menyatakan bahwa model volume batang pada hutan tanaman dapat disusun menggunakan data pohon rebah sebagai dasar pengembangan model volume dan taper. Pengukuran pada pohon rebah memungkinkan seluruh dimensi batang diukur secara langsung sehingga menghasilkan informasi yang lebih representatif dibandingkan pendugaan pada pohon berdiri. Diameter pangkal dan diameter ujung menggambarkan

perubahan ukuran penampang batang, sedangkan panjang batang merepresentasikan dimensi longitudinal. Kombinasi ketiga variabel tersebut merupakan komponen utama dalam penentuan volume batang sehingga secara teoritis memiliki hubungan yang sangat kuat dengan volume kayu.

Tingginya nilai koefisien determinasi pada penelitian ini juga konsisten dengan prinsip pengukuran volume log, yaitu bahwa volume batang terutama ditentukan oleh luas penampang dan panjang batang (Muhdin 1999). Namun demikian, nilai R^2 yang sangat tinggi perlu diinterpretasikan secara hati-hati karena variabel bebas yang digunakan merupakan komponen langsung dalam perhitungan volume. Dengan demikian, model ini lebih tepat dipahami sebagai model pendugaan volume berbasis dimensi batang daripada sebagai model yang menjelaskan hubungan biologis antarvariabel.

Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa model berbasis dimensi batang mampu menduga volume pohon rebah *Acacia crassicarpa* dengan tingkat ketelitian yang sangat tinggi pada lokasi penelitian. Informasi volume pohon rebah melengkapi informasi volume pohon berdiri dalam evaluasi sumber daya kayu. Volume pohon berdiri memberikan estimasi potensi kayu sebelum pemanenan, sedangkan volume pohon rebah menggambarkan volume batang aktual setelah penebangan. Kombinasi kedua informasi tersebut dapat mendukung inventarisasi hutan, evaluasi hasil pemanenan, serta perencanaan pemanfaatan kayu yang lebih akurat.

Model yang dihasilkan pada penelitian ini masih terbatas pada tegakan *A. crassicarpa* berumur 3,5 tahun di lahan gambut. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu melakukan validasi model pada kelas umur, kondisi tapak, dan lokasi yang berbeda untuk menguji tingkat generalisasinya. Selain itu, model ini dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan data faktor eksploitasi, tinggi tunggak, volume bagian pucuk, limbah pemanenan, dan kualitas sortimen sehingga evaluasi efisiensi pemanfaatan kayu setelah penebangan dapat dilakukan secara lebih komprehensif.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa volume pohon berdiri dan pohon rebah *Acacia crassicarpa* pada lahan gambut memiliki karakteristik yang berbeda. Volume pohon berdiri lebih tinggi dibandingkan dengan volume pohon rebah, dan perbedaan tersebut terbukti nyata berdasarkan hasil uji Welch. Perbedaan ini menunjukkan bahwa informasi volume sebelum dan setelah penebangan perlu diperlakukan sebagai dua informasi yang berbeda karena dihitung berdasarkan objek dan pendekatan pengukuran yang berbeda. Model pendugaan volume yang disusun berdasarkan dimensi pohon dan batang menunjukkan kemampuan pendugaan yang sangat kuat, sehingga diameter setinggi dada dan tinggi pohon dapat digunakan untuk menduga volume pohon berdiri, sedangkan diameter pangkal, diameter ujung, dan panjang batang dapat digunakan untuk menduga volume pohon rebah. Temuan ini dapat menjadi dasar awal untuk mengevaluasi sumber daya kayu pada tegakan *A. crassicarpa* di lahan gambut. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengukur faktor eksploitasi, tinggi tunggak, volume bagian pucuk, limbah pemanenan, dan kualitas sortimen agar efisiensi pemanfaatan kayu setelah penebangan dapat dievaluasi secara lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- Cysneiros VC, Gaui TD, Silveira Filho TB, Pelissari AL, Machado SA, De Carvalho DC, Moura TA, Amorim HB. 2020. Tree volume modeling for forest types in the Atlantic Forest: generic and specific models. *iForest*. 13:417–425. doi:10.3832/for3495-013.
- Fagerland MW. 2012. t-tests, non-parametric tests, and large studies: a paradox of statistical practice? *BMC Medical Research Methodology* 12:78. doi: 10.1186/1471-2288-12-78.
- Krisnawati H, Kallio MH, Kanninen M. 2011. *Acacia mangium* Willd.: Ecology, Silviculture and Productivity. Bogor: Center for International Forestry Research.
- Krisnawati H. 2016. A compatible estimation model of stem volume and taper for *Acacia mangium* Willd. plantations. *Indonesian Journal of Forestry Research* 3(1):49–64. doi: 10.20886/ijfr.2016.3.1.49-64.

- Levene H. 1960. Robust tests for equality of variances. In: Olkin I, Ghurye SG, Hoeffding W, Madow WG, Mann HB, editors. *Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling*. Stanford: Stanford University Press. p. 278–292.
- Mann HB, Whitney DR. 1947. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics* 18(1):50–60. doi: 10.1214/aoms/1177730491.
- Martins GS, Yulianto M, Antes R, Sabki, Prasetyo A, Unda F, Mansfield SD, Hodge GR, Acosta JJ. 2020. Wood and pulping properties variation of *Acacia crassicaarpa* A.Cunn. ex Benth. and sampling strategies for accurate phenotyping. *Forests* 11(10):1043. doi: 10.3390/f11101043.
- Montgomery DC, Peck EA, Vining GG. 2012. *Introduction to Linear Regression Analysis*. 5th ed. Hoboken (US): John Wiley & Sons.
- Muhdin. 1999. Analisis beberapa rumus penduga volume log: Studi kasus pada jenis meranti (*Shorea* spp.) di areal HPH PT Siak Raya Timber, Propinsi Riau. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*. 5(2):33–44.
- Nambiar EKS, Harwood CE. 2014. Productivity of acacia and eucalypt plantations in Southeast Asia. 1. Bio-physical determinants of production: opportunities and challenges. *International Forestry Review* 16(2):225–248. doi: 10.1505/146554814811724757.
- Shapiro SS, Wilk MB. 1965. An analysis of variance test for normality: complete samples. *Biometrika* 52(3–4):591–611. doi: 10.1093/biomet/52.3-4.591.
- Soenarno, Edom W, Basari Z, Dulsalam, Suhartana S, Yuniawati. 2016. Faktor eksploitasi hutan di Sub Region Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 34(4):335–348. doi: 10.20886/jphh.2016.34.4.335-348.
- Soenarno, Dulsalam, Sukadaryati. 2019. Efficiency of timber harvesting from natural forest in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 359:012006. doi: 10.1088/1755-1315/359/1/012006.
- Suhartana S, Yuniawati. 2011. Peningkatan produktivitas pemanenan kayu melalui teknik pemanenan kayu ramah lingkungan: kasus di satu perusahaan hutan rawa gambut di Kalimantan Barat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 29(4):369–384. doi: 10.20886/jphh.2011.29.4.369-384.
- Tiryana T, Puspaningsih N, Susanty FH. 2021. Form factors and volume models for estimating tree bole volume of mahogany (*Swietenia macrophylla*) in community forests. *Indonesian Journal of Forestry Research*. 8(2):127–142. doi:10.20886/ijfr.2021.8.2.127-142.
- Ulak S, Ghimire K, Gautam R, Bhandari SK, Poudel KP, Timilsina YP, Pradhan D, Subedi T. 2022. Predicting the upper stem diameters and volume of a tropical dominant tree species. *Journal of Forestry Research*. 33(6):1725–1737. doi:10.1007/s11676-022-01458-5.
- Welch BL. 1947. The generalization of Student's problem when several different population variances are involved. *Biometrika* 34(1–2):28–35. doi: 10.1093/biomet/34.1-2.28.
- Yuniawati, Budiaman A, Elias. 2011. Estimasi potensi biomassa dan massa karbon hutan tanaman *Acacia crassicaarpa* di lahan gambut: studi kasus di areal hutan tanaman industri kayu serat di Pelalawan, Propinsi Riau. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 29(4):343–355. doi: 10.20886/jphh.2011.29.4.343-355.