

**MODEL PENDUGA VOLUME POHON KELOMPOK JENIS KOMERSIAL
PADA AREAL IUPHHK PT. TUNAS TIMBER LESTARI
DI KABUPATEN BOVEN DIGUL, PAPUA**

***TIMBER VOLUME ESTIMATION MODEL FOR COMMERCIAL TREE SPECIES
IN THE LOGGING AREA CONCESSION OF PT. TUNAS TIMBER LESTARI
IN BOVEN DIGUL, PAPUA***

Freddy Jontara Hutapea dan Relawan Kuswandi

Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Manokwari
Jl. Inamberi-Pasir Putih PO Box 159 Manokwari Papua Barat
Telp. (0986) 213437-213440, Fax. (0986) 213441; Email: jontara_h@yahoo.com

Diterima: 26 Juni 2018; Direvisi: 07 Februari 2019; Disetujui: 24 Juni 2019

ABSTRAK

Model penduga volume pohon merupakan salah satu komponen penting dalam mewujudkan pengelolaan hutan lestari. Saat ini, berbagai model telah disusun untuk berbagai tipe hutan di Indonesia. Namun demikian, model-model tersebut belum mewakili tipe ekosistem hutan di Papua. Oleh sebab itu, berbagai studi masih sangat diperlukan untuk menyusun model penduga volume pohon untuk berbagai tipe ekosistem di Papua. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model penduga volume pohon jenis komersial di areal PT. Tunas Timber Lestari di Distrik Sesnukt, Kabupaten Boven Digul, Provinsi Papua. Sebanyak 164 pohon contoh dipilih untuk menyusun model penduga volume pohon dan 50 pohon contoh untuk validasi model. Hasil penelitian menunjukkan bahwa diameter dan tinggi pohon tidak memiliki korelasi yang kuat. Oleh sebab itu, model penduga harus disusun berdasarkan kombinasi diameter dengan tinggi pohon. Model terbaik pada tahapan penyusunan model dipilih berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2), kesalahan standar estimasi (SEE), dan F_{hitung} . Sementara model terbaik pada tahap validasi model dipilih berdasarkan nilai bias (e), rata-rata kuadrat simpangan (RMSE), simpangan rata-rata (SR), simpangan agregatif (SA), dan χ^2_{hitung} . Model terbaik untuk menduga volume pohon jenis komersial di PT. Tunas Timber Lestari adalah $V = 0,00007594 D^{1,978} H^{0,923}$.

Kata kunci: diameter, jenis komersial, model penduga, tinggi pohon, volume

ABSTRACT

The volume estimation model is one of the most important components in developing sustainable forest management. Nowadays, various models for various types of forests in Indonesia have developed. Nevertheless, these models do not represent the type of forest ecosystem in Papua. Therefore, numerous studies are still needed to develop volume estimation model for various types of forests in Papua. This study was aimed to develop timber volume estimation model for commercial tree species in logging concession of PT. Tunas Timber Lestari in Sesnukt District, Boven Digul Regency, Papua Province. A total of 164 trees were chosen to develop the model and 50 trees for model validation. The result showed that diameter did not have a strong correlation with tree height. Therefore, the model should be developed using the combination of diameter and tree height. The best model in the development stage was selected based on the value of coefficient of determination (R^2), standard error of the estimate (SEE), and F_{test} . The best model in the validation stage was selected based on the value of bias (e), root mean square errors (RMSE), average deviation (SR), aggregative deviation (SA), and χ^2_{test} . The best model for timber volume estimation in PT. Tunas Timber Lestari are $V = 0.00007594 D^{1.978} H^{0.923}$.

Keywords: commercial tree species, diameter, timber volume estimation, tree height, volume

PENDAHULUAN

Perencanaan yang cermat, akurat, dan tepat sasaran merupakan hal yang sangat diperlukan dalam

mewujudkan pengelolaan hutan lestari (Gonzalez-Benecke *et al.*, 2014; Malata *et al.*, 2017). Perencanaan ini dapat disusun dengan baik apabila

pengelola ijin usaha pemanfaatan hasil hutan kayu (IUPHHK) mendapatkan informasi yang akurat mengenai potensi tegakan. Informasi potensi tegakan hutan umumnya diperoleh melalui pendugaan volume pohon menggunakan angka bentuk. Namun demikian, metode ini dipandang sudah tidak tepat lagi karena akurasi yang rendah akibat variasi pertumbuhan pohon yang dipengaruhi oleh perbedaan jenis, tempat tumbuh, dan perlakuan silvikultur (Krisnawati & Bustomi, 2004; Holopainen *et al.*, 2010; Tewari *et al.*, 2013; Kuswandi, 2016; Budiyanita *et al.*, 2018). Oleh sebab itu, penggunaan metode yang bersifat umum dalam menduga volume pohon disarankan untuk dihindarkan karena berpotensi menghasilkan informasi yang kurang akurat (Boreel & Siahaya, 2010; Abdurachman, 2013).

Salah satu metode yang disarankan dalam menduga volume pohon adalah tabel volume pohon yang disusun berdasarkan persamaan regresi (Sumida *et al.*, 2013; Kitikidou *et al.*, 2014; Adesoye & Popoola, 2016; Giri *et al.*, 2019). Metode ini dikenal memiliki akurasi yang tinggi dan sangat praktis digunakan (Krisnawati & Bustomi, 2004). Metode ini dibangun berdasarkan hubungan antara dimensi pohon yang dapat diukur (diameter dan tinggi) dengan volume pohon (Krisnawati *et al.*, 2011; Johansson, 2014; McRoberts & Westfall, 2014). Namun demikian, metode ini masih cukup terbatas pada jenis dan lokasi tempat tumbuh (Basuki *et al.*, 2009; Mugasha *et al.*, 2016; Guedes *et al.*, 2018).

Meskipun Krisnawati *et al.* (2012) telah merangkum berbagai model penduga volume pohon untuk berbagai tipe ekosistem hutan di Indonesia, namun model-model tersebut masih sangat didominasi oleh tipe hutan dari luar Papua. Oleh sebab itu, penyusunan model penduga volume pohon untuk berbagai tipe ekosistem hutan di Papua masih sangat diperlukan. Sampai saat ini, model penduga volume pohon kelompok jenis komersial di areal IUPHHK PT. Tunas Timber Lestari masih belum tersedia. Oleh sebab itu, penyusunan model penduga volume pohon

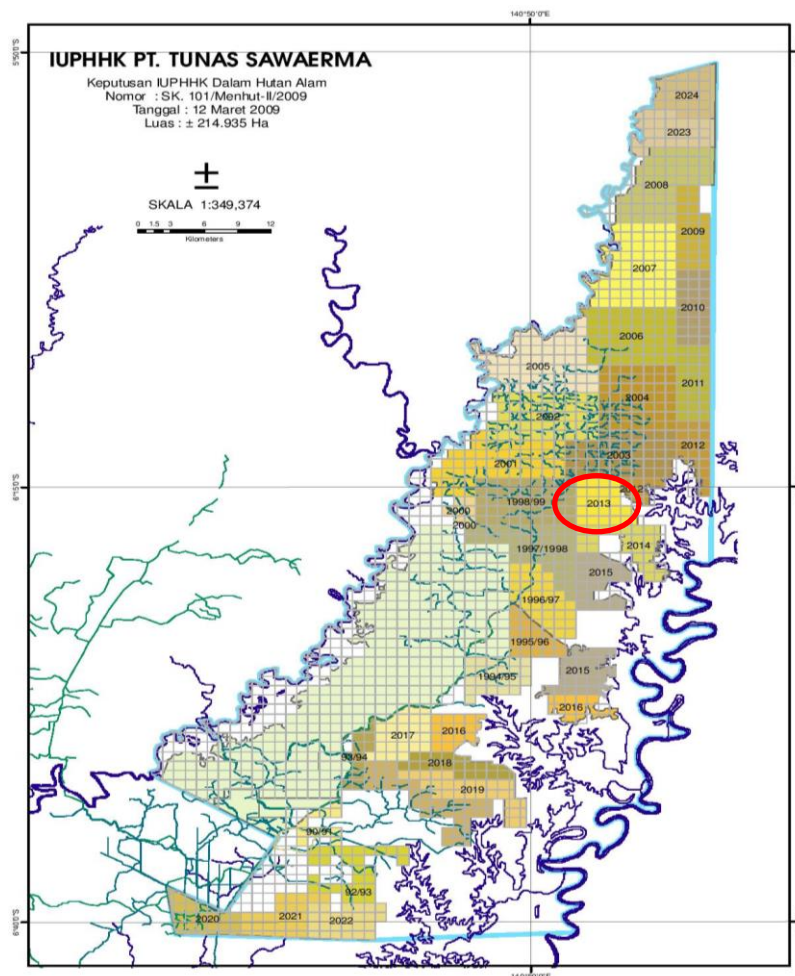
kelompok jenis komersial di areal PT. Tunas Timber Lestari masih sangat diperlukan untuk membantu perusahaan dalam membuat perencanaan yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model penduga volume pohon jenis komersial di areal PT. Tunas Timber Lestari. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan dalam menaksir volume pohon jenis komersial di areal PT. Tunas Timber Lestari.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dari bulan Mei-September 2013 di areal IUPHHK PT. Tunas Timber Lestari, yang dulunya dikenal sebagai PT. Tunas Sawaerma, di Distrik Sesnukt, Kabupaten Boven Digul, Provinsi Papua. Topografi PT. Tunas Timber Lestari dikategorikan datar sampai bergelombang ringan, dengan kemiringan 0 -15 % dan ketinggian 30 - 300 m dpl. Jenis tanah yang terdapat pada areal perusahaan ini adalah ultisol, podsolik coklat kelabu, podsolik merah kuning, dan aluvial. Tipe iklim di areal perusahaan ini termasuk iklim A. Curah hujan rata-rata di lokasi ini adalah sekitar 4.196 mm/tahun, dengan jumlah hari hujan setiap bulan sebesar 13 - 23 hari (Kuswandi *et al.*, 2015).

Pengambilan sampel pohon dilakukan di IUPHHK PT. Tunas Timber Lestari pada areal RKT 2013 (Gambar 1). Secara umum, areal RKT 2013 ini ditumbuhi oleh berbagai jenis pohon dari genus *Amoora*, *Anisoptera*, *Calophyllum*, *Canarium*, *Carallia*, *Celtis*, *Cryptocarya*, *Endiandra*, *Hopea*, *Litsea*, *Myristica*, *Palaquium*, *Planchonella*, *Pometia*, *Syzygium*, *Teijsmanniodendron*, *Vatica*, dan *Vavaea*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 214 pohon jenis komersial pada areal konsesi IUPHHK PT. Tunas Timber Lestari. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pita ukur (*phi-band*), meteran, *tallysheet*, komputer, dan alat tulis. Pengolahan data dilakukan menggunakan Microsoft Excel, SPSS 17, dan R Studio.



Gambar 1. Lokasi pengambilan data di PT. Tunas Timber Lestari
(Sumber: Tunas Timber Lestari, 2013)

Prosedur Penelitian

1. Pemilihan Pohon Model

Pohon model yang diamati dalam penelitian ini adalah jenis pohon yang tergolong kedalam kelompok jenis komersial (kelompok meranti, rimba campuran, dan kayu indah) yang ditetapkan dalam SK Menteri Kehutanan No. 163 (2003). Pemilihan pohon model dilakukan secara sengaja (*purposive sampling*) berdasarkan sebaran diameter pohon di areal penelitian. Jumlah pohon yang ditetapkan sebagai pohon model tergantung pada banyaknya pohon yang ditemukan dalam petak tebangan (minimal 150 pohon). Pohon model dibagi menjadi dua kelompok yaitu pohon model untuk penyusunan model dan pohon model untuk validasi model. Pohon model untuk penyusunan model dan validasi model ini selanjutnya dibagi menjadi 11 kelas diameter dengan interval kelas 10 cm, dan 4 kelas tinggi dengan interval kelas 5 m. Kelas diameter dimulai dari 10 - 19 hingga > 100 cm. Sementara itu, kelas tinggi dimulai dari 5 - 9,9 hingga 20 - 24,9 m. Kriteria yang

ditetapkan terhadap pohon model adalah lurus, tidak menggarpu, bebas dari serangan hama dan penyakit, dan batang tidak pecah setelah ditebang (Subedi & Sharma, 2012; Menéndez-Miguélez *et al.*, 2014; Ardelina *et al.*, 2015).

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan pada pohon berdiri dengan mengukur diameter setinggi dada (Dbh) pada ketinggian 1,3 m di atas permukaan tanah atau 20 cm di atas banir (untuk pohon berbanir dengan ketinggian banir lebih dari 1,10 m). Pengumpulan data juga dilakukan pada pohon rebah (telah ditebang), dengan mengukur seksi pohon (*sectionwise measurement*) diameter pangkal sampai ujung bebas cabang. Setiap pohon model dibagi menjadi beberapa seksi, tergantung tinggi pohon. Panjang setiap seksi adalah 2 m.

3. Pengolahan Data dan Analisis Data

a. Perhitungan Volume Pohon Aktual

Volume pohon aktual dihitung dengan menjumlahkan volume setiap seksi yang menyusun batang. Volume pohon aktual dan volume setiap seksi dihitung menggunakan persamaan 1 dan 2 (Sadono *et al.*, 2009; Abdurachman, 2012; Ver Planck & MacFarlane, 2014; Sahuri, 2017).

$$V_s = \frac{Bp + Bu}{2} \times L \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$V_a = \sum_{i=1}^n V_s \quad \dots\dots\dots (2)$$

dimana V_s adalah volume seksi batang (m^3), V_a adalah volume aktual pohon (m^3), Bp adalah luas bidang dasar pangkal seksi (m^2), Bu adalah luas bidang dasar ujung seksi (m^2), dan L adalah panjang seksi (m).

b. Penyusunan Persamaan Regresi Model Penduga Volume Pohon

Model penduga volume pohon disusun berdasarkan hubungan antara volume pohon sebagai variabel terikat (*dependent variable*) dengan diameter dan tinggi pohon sebagai variabel bebas (*independent variable*). Persamaan ini disusun menggunakan persamaan 3, 4, 5, 6, 7, dan 8 baik melalui transformasi atau tanpa transformasi ke dalam bentuk linear (transformasi logaritmis) (Mauya *et al.*, 2014; Kuswandi, 2016; Susanty & Abdurachman, 2016). Transformasi logaritmis ini bertujuan untuk menyederhanakan persamaan dan mempermudah proses pengolahan data (Susila, 2012).

$$V = aD^b \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$V = a + bD^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$V = a + bD + cD^2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$V = aD^b H^c \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$V = a(D^2 H)^b \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$V = a + bD^2 + cD^2 H + dH \quad \dots\dots\dots (8)$$

dimana V adalah volume tiap pohon (m^3), D adalah diameter setinggi dada (1,3 m) (cm), H adalah tinggi pohon (m), dan a, b, c, d adalah konstanta.

c. Pemilihan Model Terbaik

Pemilihan model terbaik dilakukan pada tahap penyusunan dan validasi model. Pemilihan model terbaik pada tahap penyusunan model dilakukan dengan membandingkan nilai koefisien determinasi

(R^2), kesalahan standar estimasi (*standard error of the estimate*) (SEE), dan F_{hitung} dari masing-masing model (Riady, 2011). Koefisien determinasi menunjukkan proporsi variasi total di sekitar nilai tengah yang dapat dijelaskan oleh variasi regresi (Sumadi *et al.*, 2010). Semakin tinggi nilai R^2 suatu model maka kualitas model tersebut semakin baik (Guendehou *et al.*, 2012; Kesuma *et al.*, 2016). Kesalahan standar estimasi (SEE) merupakan ukuran yang menunjukkan banyaknya kesalahan suatu model dalam memprediksi variabel terikat (McCormick *et al.*, 2015).

Pemilihan model terbaik pada tahap penyusunan model dilakukan dengan melakukan sistem skoring terhadap nilai R^2 , SEE, dan F_{hitung} . Nilai 1 diberikan kepada model dengan nilai R^2 , F_{hitung} tertinggi, dan SEE terendah. Nilai 2 diberikan kepada model dengan nilai R^2 , F_{hitung} tertinggi kedua, dan SEE terendah kedua. Nilai selanjutnya diberikan dengan menggunakan sistem yang sama. Model terbaik adalah model yang memiliki skor terendah (Kuswandi, 2016).

Validasi model dilakukan dengan melihat nilai bias (e), akar rata-rata kuadrat simpangan (RMSE), simpangan rata-rata (SR), simpangan agregatif (SA), dan uji beda nyata antara volume nyata dengan volume dugaan yang dilakukan dengan uji Khi-kuadrat (χ^2) (Riady, 2011). Bias (e) menggambarkan besarnya kesalahan sistematis yang dapat terjadi karena kesalahan teknis dan pengukuran (Qirom & Supriyadi, 2012; Sahuri, 2017). Semakin kecil bias yang dihasilkan suatu model semakin baik (Qirom, 2018). Akar rata-rata kuadrat simpangan (RMSE) menunjukkan ketepatan dari pendugaan (Freund *et al.*, 2010; Sumadi & Siahaan, 2010; Sumadi *et al.*, 2010). Model terbaik adalah model dengan RMSE terendah (Tiryana *et al.*, 2011; Qirom, 2018). SR merupakan rata-rata jumlah dari nilai mutlak selisih antara volume dugaan dan volume aktual, proporsional terhadap jumlah volume dugaan (Riady, 2011). Sementara itu, SA memberikan gambaran simpangan volume dugaan dan volume sebenarnya secara agregat (Siswanto *et al.*, 2007). Semakin kecil nilai SR dan SA suatu model, semakin tinggi tingkat akurasi model tersebut. Suatu model dikatakan layak apabila $SA < 1\%$ dan $SR < 10\%$ (Sumadi & Siahaan, 2010; Sahuri, 2017). Nilai e, RMSE, SR, dan SA dihitung menggunakan persamaan 9, 10, 11, dan 12 (Siarudin & Indrajaya, 2014; Sahuri, 2017).

$$e = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Vd - va}{va} \right)}{n} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{(Vd - Va)^2}{Va} \right)}{n}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$SR = \left[\frac{\left(\sum \frac{Vd - Va}{Vd} \right)}{n} \right] \times 100\% \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$SA = \left(\frac{\sum_{i=1}^n Vd - \sum_{i=1}^n Va}{\sum_{i=1}^n Vd} \right) \quad \dots\dots\dots (12)$$

dimana e adalah bias, RMSE adalah akar rata-rata kuadrat simpangan, Vd adalah volume dugaan berdasarkan persamaan (m³), Va adalah volume aktual (m³), SR adalah simpangan rata-rata, dan SA adalah simpangan agregatif.

Pemilihan model terbaik dalam tahap validasi model dilakukan dengan melakukan sistem skoring terhadap nilai e, RMSE, SR, SA, dan χ^2 . Nilai 1 diberikan kepada model dengan nilai e, RMSE, SR, SA, dan χ^2 terendah. Nilai 2 diberikan kepada model dengan nilai e, RMSE, SR, SA, dan χ^2 terendah kedua. Nilai selanjutnya diberikan dengan menggunakan sistem yang sama. Model terbaik adalah model yang memiliki skor terendah (Kuswandi, 2016). Menurut Sumadi *et al.* (2010), pemilihan model terbaik perlu dilakukan berdasarkan sistem skoring terhadap tiap kriteria statistik karena model tertentu bisa memiliki nilai yang lebih tinggi pada satu kriteria namun rendah pada kriteria statistik lainnya.

Model terpilih sebagai model penduga volume pohon jenis komersil pada areal IUPHHK PT. Tunas Timber Lestari adalah model terbaik dalam tahap penyusunan dan validasi model. Jika model terbaik dalam tahap penyusunan dan validasi model berbeda, maka pemilihan model dilakukan dengan melakukan pemeringkatan terhadap gabungan skor pada tahap penyusunan dan validasi model (Riady, 2011; Siagian, 2011).

HASIL DAN PEMBAHASAN
Sebaran Pohon Model

Jumlah pohon yang terpilih sebagai pohon model dalam penyusunan model penduga volume pohon kelompok jenis komersial di areal IUPHK PT. Tunas Timber Lestari adalah sebanyak 164 pohon, dengan sebaran diameter 11,15 - 115,60 cm, dan tinggi pohon 6,00 - 23,30 m. Menurut Qirom & Supriyadi (2013),

jumlah pohon model ini sudah cukup representatif dalam menyusun model penduga volume pohon. Sementara itu, jumlah pohon terpilih sebagai pohon contoh untuk validasi model adalah sebanyak 50 pohon, dengan sebaran diameter antara 15,00 - 113,00 cm, dan tinggi pohon antara 8,50 - 24,90 m. Sebaran diameter dan tinggi pohon contoh untuk penyusunan dan validasi model dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Sebaran diameter dan tinggi pohon penyusun model penduga volume pohon kelompok jenis komersial di areal IUPHHK PT. Tunas Timber Lestari.

Kelas diameter (cm)	Tinggi pohon (m)				Jumlah (pohon)
	5 - 9,9	10 - 14,9	15 - 19,9	20 - 24,9	
10 - 19	2	6			8
20 - 29		5	6		11
30 - 39		5	10		15
40 - 49		5	18	1	24
50 - 59		12	32	3	47
60 - 69	1	5	14	4	24
70 - 69			11	3	14
80 - 89		1	3	5	9
90 - 99			4	1	5
100 - 109			2	2	4
> 110			1	2	3
Jumlah	3	39	101	21	164

Sumber: diolah dari data primer.

Tabel 2. Sebaran diameter dan tinggi pohon untuk validasi model penduga volume pohon kelompok jenis komersial di areal IUPHHK PT. Tunas Timber Lestari.

Kelas diameter (cm)	Tinggi pohon (m)				Jumlah (pohon)
	5 - 9,9	10 - 14,9	15 - 19,9	20 - 24,9	
10 - 19	1	1			2
20 - 29		2		1	3
30 - 39		2	2	1	5
40 - 49		4	3		7
50 - 59		1	12	1	14
60 - 69		4	1	2	7
70 - 69			4		4
80 - 89				3	3
90 - 99			1	1	2
100 - 109			1	1	2
> 110			1		1
Jumlah	1	14	25	10	50

Sumber: diolah dari data primer.

Model Penduga Volume Pohon

Model penduga volume pohon yang disusun dalam penelitian ini merupakan akumulasi dari semua jenis pohon komersial yang terdapat dalam areal RKT 2013 PT. Tunas Timber Lestari. Dalam menyusun model penduga, hubungan antara diameter dan tinggi pohon merupakan komponen penting diperhatikan untuk melihat keterwakilan kedua variabel tersebut dalam menyusun model penduga volume pohon secara bersama-sama, atau keterwakilan satu variabel menggantikan variabel yang lain (Krisnawati & Bustomi, 2004; Yulianti, 2012; Qirom, 2018). Hubungan antara diameter dan tinggi pohon model dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Persamaan regresi hubungan antara diameter dan tinggi pohon model

No	Persamaan	Koefisien korelasi (r)	Koefisien determinasi (R ²)
1	$H = 11,712 + 0,0849 D$	0,585	0,343

Sumber: diolah dari data primer.

Keterangan: H tinggi pohon (m); D: diameter pohon (cm).

Tabel 3 menunjukkan bahwa diameter dan tinggi pohon memiliki koefisien korelasi sebesar 0,585, yang

menunjukkan bahwa diameter pohon dapat menjelaskan lebih dari 58 % variasi dari tinggi pohon. Keeratan korelasi antara diameter dan tinggi pohon model di lokasi penelitian ini lebih kecil dibandingkan dengan lokasi lain di Indonesia yang umumnya mencapai 0,7 (Krisnawati & Bustomi, 2004; Abdurachman, 2013; Qirom & Supriyadi, 2013; Susila & Darwo, 2015). Namun demikian, korelasi diameter dan tinggi pohon di lokasi penelitian ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan areal IUPHHK PT. Wapoga Mutiara Timber di Kabupaten Sarmi (Papua) yang hanya 0,0067 (Kuswandi, 2016). Secara umum, rendahnya korelasi antara diameter dan tinggi pohon pada hutan alam disebabkan oleh variasi jenis dan tipe pertumbuhan pohon yang terdapat dalam hutan alam serta kondisi lingkungan (Imani *et al.*, 2017; Mensah *et al.*, 2017).

Meskipun memiliki koefisien korelasi lebih dari 58 %, diameter dan tinggi pohon model dianggap belum memiliki korelasi yang kuat. Dalam penyusunan model, diameter, dan tinggi pohon dianggap memiliki korelasi yang kuat apabila memiliki koefisien korelasi minimal 0,71 atau koefisien determinasi minimal 50 % (Riady, 2011; Abdurachman, 2013). Dengan demikian, penyusunan model penduga volume pohon di areal IUPHHK PT. Tunas Timber Lestari tidak dapat disusun menggunakan satu variabel (diameter) saja, melainkan harus menggunakan kombinasi antara diameter dan tinggi pohon (menggunakan persamaan 6, 7, dan 8). Menurut Krisnawati & Bustomi (2004), penyusunan model penduga volume pohon menggunakan kombinasi diameter dan tinggi pohon akan menghasilkan suatu model penduga yang cukup akurat karena secara geometrik pohon merupakan benda putar yang dibentuk oleh dimensi diameter dan tinggi pohon. Hal ini telah dibuktikan oleh Doyog *et al.* (2019), dimana model yang disusun menggunakan kombinasi diameter dan tinggi pohon memiliki performa yang lebih bagus dibandingkan dengan model yang disusun menggunakan variabel diameter saja. Model penduga volume pohon yang disusun menggunakan kombinasi diameter dan tinggi pohon dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Model penduga volume pohon kelompok jenis komersial pada areal IUPHHK PT. Tunas Timber Lestari yang disusun berdasarkan kombinasi diameter dan tinggi pohon

No	Model penduga volume pohon	Statistik				
		R ² (%)	SEE	F _{hit}	F _{0,05}	F _{0,01}
1.	$V = 0,00007594 D^{1,978} H^{0,923}$	96,69	0,079	2,352,506	3,05	4,74
2.	$V = 0,00007075 (D^2H)^{0,978}$	96,77	0,078	4,848,646	3,90	6,79
3.	$V = 0,589 + 0,0001355 D^2 + 0,0005694 (D^2H) - 0,06459 H$	97,41	0,528	2,006,901	2,66	3,91

Sumber: diolah dari data primer.

Keterangan: V: volume (m³); D: diameter (cm); H: tinggi pohon (m); R²: koefisien determinasi; SEE: kesalahan standar estimasi; F_{hit}: nilai F hitung; F_{0,05}: nilai F tabel (0,05); F_{0,01}: nilai F tabel (0,01).

Tabel 4 menunjukkan bahwa ketiga model yang disusun memiliki R² yang cukup tinggi (> 96 %). Hal ini sesuai dengan pernyataan Qirom & Supriyadi (2012) yang mengatakan bahwa model yang disusun menggunakan kombinasi diameter dan tinggi pohon menghasilkan R² lebih dari 80 %. Nilai R² model penduga volume pohon yang diperoleh dalam studi ini lebih besar dibandingkan dengan beberapa model penduga volume pohon yang terdapat dalam Qirom (2018). Dilihat dari kesalahan standar estimasinya, model 1 dan 2 memiliki nilai yang lebih rendah daripada model 3, yang menunjukkan bahwa model 1

dan 2 lebih teliti dibandingkan dengan model 3. Sementara itu, F_{hitung} model 2 jauh lebih tinggi dibandingkan dengan model 1 dan 3, yang menunjukkan bahwa model ini memiliki hubungan regresi yang paling nyata antara variabel bebas dan variabel tidak bebasnya.

Sistem skoring terhadap nilai R², SEE, dan F_{hitung} pada setiap model (Tabel 5) menunjukkan bahwa model 2 merupakan model dengan skor terendah. Dengan demikian, model 2 ($V = 0,00007075 (D^2H)^{0,978}$) merupakan model terbaik dalam tahap penyusunan model.

Tabel 5. Penentuan peringkat model penduga dalam tahap penyusunan model berdasarkan nilai R², SEE, dan F_{hitung}

No	Model penduga volume pohon	Skoring			Total skor	Peringkat
		R ²	SEE	F _{hit}		
1	$V = 0,00007594 D^{1,978} H^{0,923}$	3	2	2	7	2
2	$V = 0,00007075 (D^2H)^{0,978}$	2	1	1	4	1
3	$V = 0,589 + 0,0001355 D^2 + 0,0005694 (D^2H) - 0,06459 H$	1	3	3	7	2

Sumber: diolah dari data primer.

Keterangan: V: volume (m³); D: diameter (cm); H: tinggi pohon (m); R²: koefisien determinasi; SEE: kesalahan standar estimasi; F_{hit}: nilai F hitung.

Validasi Model

Validasi terhadap model (Tabel 6) menunjukkan bahwa bias (e) yang dihasilkan ketiga model berkisar antara 0,160 sampai 19,690. Berdasarkan nilai biasanya, model 1 lebih baik daripada model 2 dan 3. Sementara itu, RMSE ketiga model berkisar antara 10,983 sampai 994,148. Berdasarkan nilai RMSEnya, model 1 lebih baik daripada model 2 dan 3. Uji Khi-

kuadrat (χ^2) menunjukkan bahwa volume pohon yang diduga oleh ketiga model tidak berbeda nyata dengan volume pohon aktual. Berdasarkan kriteria SA dan SR, hanya model 1 dan 2 yang layak menduga volume pohon jenis komersial pada areal IUPHHK PT. Tunas Timber Lestari. Sementara model 3, dianggap tidak layak karena memiliki nilai SR > 10 %.

Tabel 6. Nilai bias (e), RMSE, SR, SA, dan χ^2_{hit} hasil uji validasi model penduga volume pohon

No	Model penduga volume pohon	Statistik						
		e	RMSE (%)	SR (%)	SA (%)	χ^2_{hit}	$\chi^2_{0,05}$	$\chi^2_{0,01}$
1.	$V = 0,00007594 D^{1,978} H^{0,923}$	0,160	10,983	7,715	-0,018	0,243	66,339	74,919
2.	$V = 0,00007075 (D^2H)^{0,978}$	0,165	11,235	8,001	0,024	0,243	66,339	74,919
3.	$V = 0,589 + 0,0001355 D^2 + 0,0005694 (D^2H) - 0,06459 H$	19,690	994,148	90,645	0,904	0,238	66,339	74,919

Sumber: diolah dari data primer.

Keterangan: V: volume (m³); D: diameter (cm); H: tinggi pohon (m); e: bias; RMSE: akar rata-rata kuadrat simpangan; SA: simpangan agregatif; SR: simpangan rata-rata; χ^2_{hit} : nilai χ^2 hitung; $\chi^2_{0,05}$: nilai χ^2 tabel (0,05); $\chi^2_{0,01}$: nilai χ^2 tabel (0,01).

Tabel 7. Penentuan peringkat model penduga dalam tahap validasi model berdasarkan nilai e, RMSE, SR, SA, dan χ^2_{hit} .

No	Model penduga volume pohon	Skoring					Total skor	Peringkat
		e	RMSE	SR	SA	χ^2_{hit}		
1	$V = 0,00007594 D^{1,978} H^{0,923}$	1	1	1	1	1	5	1
2	$V = 0,00007075 (D^2H)^{0,978}$	2	2	2	2	1	9	2
3	$V = 0,589 + 0,0001355 D^2 + 0,0005694 (D^2H) - 0,06459 H$	3	3	3	3	2	14	3

Sumber: diolah dari data primer.

Keterangan: V: volume (m³); D: diameter (cm); H: tinggi pohon (m); e: bias; RMSE: akar rata-rata kuadrat simpangan; SA: simpangan agregatif; SR: simpangan rata-rata; χ^2_{hit} : nilai χ^2 hitung.

Skoring terhadap nilai e, RMSE, SA, SR, dan Khi-kuadrat (χ^2) (Tabel 7) menunjukkan bahwa model 1 merupakan model dengan skor terendah. Dengan demikian, model 1 ($V = 0,00007594 D^{1,978} H^{0,923}$) merupakan model terbaik dalam tahap validasi model.

Pemilihan Model Penduga Terbaik

Karena model penduga terbaik yang dihasilkan pada tahap penyusunan model dan validasi model

berbeda, maka model terbaik harus ditentukan berdasarkan penghitungan peringkat gabungan dari tahap penyusunan dan validasi model (Siagian, 2011; Susanty & Abdurachman, 2016). Model terbaik merupakan model dengan skor terendah. Peringkat gabungan dari tahap penyusunan dan validasi model dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Penentuan peringkat gabungan terhadap skor tahap penyusunan dan validasi model

No	Model penduga volume pohon	Tahap		Total skor	Peringkat
		Penyusunan	Validasi		
1	$V = 0,00007594 D^{1,978} H^{0,923}$	7	5	12	1
2	$V = 0,00007075 (D^2H)^{0,978}$	4	9	13	2
3	$V = 0,589 + 0,0001355 D^2 + 0,0005694 (D^2H) - 0,06459 H$	7	14	21	3

Sumber: diolah dari data primer.

Keterangan: V: volume (m³); D: diameter (cm); H: tinggi pohon (m).

Tabel 8 menunjukkan bahwa model 1 memiliki skor yang lebih rendah dibandingkan model 2 dan 3. Dengan demikian, model terbaik untuk menduga volume pohon jenis komersial pada areal IUPHHK PT. Tunas Timber Lestari adalah $V = 0,00007594 D^{1,978} H^{0,923}$. Model penduga yang disusun pada areal IUPHHK PT. Tunas Timber Lestari ini sangat berbeda dengan model yang disusun oleh Kuswandi (2016) di areal IUPHHK PT. Wapoga Mutiara Timber di Kabupaten Sarmi, dimana model yang disusun untuk menduga volume pohon di areal IUPHHK PT. Wapoga Mutiara Timber hanya menggunakan variabel diameter saja ($V = 0,000457 D^{2,16}$). Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan lokasi tempat tumbuh mempengaruhi variabel yang terlibat dalam penyusunan model penduga.

KESIMPULAN

Diameter dan tinggi pohon model tidak memiliki hubungan korelasi yang kuat. Oleh sebab itu, model penduga volume pohon harus disusun menggunakan kombinasi diameter dan tinggi pohon. Model terbaik untuk menduga volume pohon kelompok jenis komersil di areal IUPHHK PT. Tunas Timber Lestari adalah $V = 0,00007594 D^{1,978} H^{0,923}$.

SARAN

Model penduga volume pohon yang terpilih dapat digunakan sebagai dasar dalam penyusunan tabel volume pohon jenis komersial di areal IUPHHK PT. Tunas Timber Lestari di Kabupaten Boven Disul Provinsi Papua. Model penduga volume pohon yang disusun juga dapat digunakan di lokasi lain, sepanjang jenis dan karakteristik hutan yang diukur tidak terlalu berbeda.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Manokwari, atas kontribusinya mendanai kegiatan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada PT. Tunas Timber Lestari dan beberapa staf seperti Jamian dan Kornelis atas dukungannya dalam kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Abdurachman. (2012). Tabel volume batang di bawah pangkal tajuk pohon keruing (*Dipterocarpus acutangulus*) di Labanan Berau Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Dipterokarpa*, 6(1), 31-39.
Abdurachman. (2013). Model pendugaan volume pohon *Dipterocarpus confertus* V. Slooten di Wahau Kutai

- Timur, Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Dipterokarpa*, 7(1), 29-34.
- Adesoye, P. O., & Popoola, O. D. (2016). Determinants of stem form: application to *Tectona grandis* (Linn. F) stands. *Journal of Sustainable Forestry*, 35(5), 338-354. doi: 10.1080/10549811.2016.1177730.
- Ardelina, A., Tiryana, T., & Muhdin. (2015). Model volume pohon sengon untuk menilai kehilangan keuntungan petani hutan rakyat. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 12(2), 131-139.
- Basuki, T. M., van Laake, P. E., Skidmore, A. K., & Hussin, Y. A. (2009). Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland *Dipterocarp* forests. *Forest Ecology and Management*, 257, 1684-1694. doi:10.1016/j.foreco.2009.01.027.
- Boreel, A., & Siahaya, T. E. (2010). Model pendugaan isi pohon jenis torem (*Manilkara kanosiensis*, H.J. Lam & B.J.D. Meeuse) di Pulau Yamdena Kabupaten Maluku Tenggara Barat. *Jurnal Agroforestry*, 5(4), 279-286.
- Budiyana, Dewantara, I., & Yani, A. (2018). Analisis angka konversi pengukuran kayu bulat di air untuk jenis meranti (*Shorea* spp.). *Jurnal Hutan Lestari*, 6(1), 1-6.
- Doyog, N. D., Lumbres, R. I. C., Jung, S. C., Lee, Y. J., & Seo, Y. O. (2019). Stem volume models for *Cryptomeria japonica* of Jeju Island, Korea. *Journal of Sustainable Forestry*, 38(5), 442-456. <https://doi.org/10.1080/10549811.2019.1570273>.
- Freund, R. J., Wilson, W. J., & Mohr, D. J. (2010). *Statistical Methods* (Edisi ke-3). Canada: Academic Press.
- Giri, K., Pandey, R., Jayaraj, R. S. C., Nainamalai, R., & Ashutosh, S. (2019). Regression equations for estimating tree volume and biomass of important timber species in Meghalaya, India. *Current Science*, 116(1), 75-81.
- Gonzalez-Benecke, C. A., Gezan, S. A., Samuelson, L. J., Cropper Jr., W. P., Leduc, D. J., & Martin, T. A. (2014). Estimating *Pinus palustris* tree diameter and stem volume from tree height, crown area and stand-level parameters. *Journal of Forestry Research*, 25(1), 43-52. doi: 10.1007/s11676-014-0427-4.
- Guedes, B. S., Siteo, A. A., & Olsson, B. A. (2018). Allometric models for managing lowland miombo woodlands of the Beira corridor in Mozambique. *Global Ecology and Conservation*, 13, 1-15. doi: 10.1016/j.gecco.2018.e00374.
- Guendehou, G. H. S., Lehtonen, A., Moudachirou, M., Mäkipää, R., & Sinsin, B. (2012). Stem biomass and volume models of selected tropical tree species in West Africa. *Southern Forest: A Journal of Forest Science*, 74(2), 77-88. doi: 10.2989/20702620.2012.701432.
- Holopainen, M., Vastaranta, M., Rasinmaki, J., Kalliovirta, J., Makinen, A., Haapanen, & R., Hyyppa, J. (2010). Uncertainty in timber assortment estimates predicted from forest inventory data. *European Journal of Forestry Research*, 129(6), 1131-1142. doi: 10.1007/s10342-010-0401-4.
- Imani, G., Boyemba, F., Lewis, S., Nabahungu, N. L., Calders, K., Zapfack, L., ... Cuni-Sanchez, A. (2017). Height-diameter allometry and above ground biomass in tropical montane forests: insights from the Albertine Rift in Africa. *PLoS ONE*, 12(6), 1-20. doi: 10.1371/journal.pone.0179653.
- Johansson, T. (2014). Total stem and merchantable volume equations of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) growing on former farmland in Sweden. *Forests*, 5(8), 2037-2049. doi: 10.3390/f5082037.
- Kesuma, R. A., Kustanti, A., & Hilmanto, R. (2016). Pertumbuhan riap diameter pohon bakau kurap (*Rhizophora mucronata*) di Lampung Mangrove Center. *Jurnal Sylva Lestari*, 4(3), 97-106.
- Kitikidou, K., Milios, E., & Lpiridis, I. (2014). Tree volume model estimates and nearest neighbour analysis in the stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the central part of Rodope Mountain. *Sumarski List*, 138(11-12), 573-582.
- Krisnawati, H., & Bustomi, S. (2004). Model penduga isi pohon bebas cabang jenis sungkai (*Peronema canescens* Jack.) di KPH Banten. *Buletin Penelitian Hutan*, 644, 39-50.
- Krisnawati, H., Kallio, M., & Kanninen, M. (2011). *Swietenia macrophylla King: Ecology, Silviculture, and Productivity*. Bogor: CIFOR.
- Krisnawati, H., Adinugroho, W. C., & Imanuddin, R. (2012). *Monograf Model-Model Allometrik untuk Pendugaan Biomassa Pohon pada Berbagai Tipe Ekosistem Hutan di Indonesia*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi.
- Kuswandi, R., Sadono, R., Supriyatno, N., & Marsono, D. (2015). Keanekaragaman struktur tegakan hutan alam bekas tebangan berdasarkan biogeografi di Papua. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 22(2), 151-159.
- Kuswandi, R. (2016). Model penduga volume pohon kelompok jenis komersial pada wilayah Kabupaten Sarmi, Papua. *Jurnal Wasian*, 3(2), 91-96.
- Malata, H., Ngulube, E. S., & Missanjo, E. (2017). Site specific stem volume models for *Pinus patula* and *Pinus oocarpa*. *International Journal of Forestry Research*, 2017, 1-6. <https://doi.org/10.1155/2017/3981647>.
- Mauya, E. W., Mugasha, W. A., Zahabu, E., Bollandssås, O. M., & Eid, T. (2014). Models for estimation of tree volume in the miombo woodlands of Tanzania. *Southern Forest: A Journal of Forest Science*, 76(4), 209-219. doi: 10.2989/20702620.2014.957594.
- McCormick, K., Salcedo, J., & Poh, A. (2015). *SPSS for Dummies* (Edisi ke-3). New Jersey: John Wiley & Sons.
- McRoberts, R. E., & Westfall, J. A. (2014). Effects of uncertainty in model predictions of individual tree volume on large area volume estimates. *Forest Science*, 60(1), 34-42. <http://dx.doi.org/10.5849/forsci.12-141>.
- Menéndez-Miguélez, M., Canga, E., Álvarez-Álvarez, P., & Majada, J. (2014). Stem taper function for sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) coppice stands in northwest Spain. *Annals of Forest Science*, 71, 761-770. doi: 10.1007/s13595-014-0372-6.
- Mensah, S., Veldtman, R., & Seifert, T. (2017). Allometric models for height and aboveground biomass of dominant three species in South African Mistbelt

- forests. *Southern Forests: A Journal of Forest Science*, 79(1), 19-30. doi: 10.2989/20702620.2016.1225187.
- Mugasha, W. A., Mwakalukwa, E. E., Luoga, E., Malimbwi, R. E., Zahabu, E., Silayo, D. S., ... Kashindye, A. (2016). Allometric models for estimating tree volume and above ground biomass in lowland forests of Tanzania. *International Journal of Forestry Research*, 2016, 1-13. doi: 10.1155/2016/8076271.
- Qirom, M. A., & Supriadi. (2012). Penyusunan model penduga volume pohon jenis jelutung rawa (*Dyera polyphylla* (Miq) V. Steenis). *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 9(3), 141-153.
- Qirom, M. A., & Supriyadi. (2013). Model penduga volume pohon nyawai (*Ficus variegata* Blume) di Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 10(4), 173-184.
- Qirom, M. A. (2018). Penyusunan dan validasi model penduga volume jenis pohon balangeran (*Shorea balangeran* (Korth.) Burck) di Kalimantan Tengah. *Jurnal Wasian*, 5(2), 89-103.
- Riady, A. (2011). Penyusunan dan Validasi Persamaan Tabel Volume Lokal Pohon Meranti (*Shorea* spp.) di Areal PT. Intaracawood Manufacturing, Kalimantan Timur. Skripsi tidak diterbitkan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Sadono, R., Trisnomo, M. D., & Askar. (2009). Model lengkung bentuk batang (*taper curve*) pohon jati (*Tectona grandis*). *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 3(1), 35-43.
- Sahuri. (2017). Model pendugaan volume pohon karet saat peremajaan di Sembawa, Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 14(2), 107-112.
- Siagian, K. (2011). Tabel Volume Pohon *Agathis loranthifolia* di Hutan Pendidikan Gunung Walat Kabupaten Sukabumi Provinsi Jawa Barat. Skripsi tidak diterbitkan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Siarudin, M., & Indrajaya, Y. (2014). Persamaan allometrik jabon (*Neolamarckia cadamba* Miq) untuk pendugaan biomassa di atas tanah pada hutan rakyat Kecamatan Pakenjeng Kabupaten Garut. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 11(1), 1-9.
- Siswanto, B. E., Wahjono, D., Harbagung, & Imanuddin, R. (2007). Ketepatan berbagai model pendugaan volume pohon jenis kayu sibu (*Timonius nitens* M.et.P.) di wilayah Kecamatan Mandobo, Kabupaten Merauke, Provinsi Papua. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 4(3), 291-299.
- Subedi, M. R., & Sharma, R. P. (2012). Allometric biomass models for bark of *Cinnamomum tamala* in mid-hill of Nepal. *Biomass and Bioenergy*, 47, 44-49.
- Sumadi, A., Nugroho, A. W., & Rahman, T. (2010). Model penduga volume pohon pulai gading di Kabupaten Musi Rawas – Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 7(2), 107-112.
- Sumadi, A., & Siahaan, H. (2010). Model penduga volume pohon kayu bawang (*Disoxylum molliscimum* Burm F.) di Provinsi Bengkulu. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 7(5), 227-231.
- Sumida, A., Miyaura, T., & Torii, H. (2013). Relationships of tree height and diameter at breast height revisited: analyses of stem growth using 20-year data of an even-aged *Chamaecyparis obtusa* stand. *Tree Physiology*, 33, 106-118. doi: 0.1093/treephys/tps127
- Surat Keputusan Menteri Kehutanan (2003). *Pengelompokan Jenis Kayu sebagai Dasar Pengenaan Iuran Kehutanan dengan Beberapa Penyesuaian* (SK Menhut No.163/Kpts-II/2003).
- Susanty, F. H., & Abdurachman. (2016). Analisis penyusunan model penduga volume pohon 3 jenis shorea di Tarakan, Kalimantan Utara. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterokarpa*, 2(1), 29-40.
- Susila, I. W. W. (2012). Model pendugaan volume dan riap tegakan jati (*Tectona grandis* L.F) di Nusa Penida, Klungkung Bali. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 9(3), 165-178.
- Susila, I. W. W., & Darwo. (2015). Riap dan dugaan volume tegakan ampupu (*Eucalyptus urophylla* S.T. Blake) di kawasan hutan Wololobo, Bajawa Flores. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 12(2), 105-113.
- Tewari, V. D., Mariswamy, K. M., & Arunkumar, A. N. (2013). Total and merchantable volume equations for *Tectona grandis* Linn. f. plantations in Karnataka, India. *Journal of Sustainable Forestry*, 32(3), 213-229. doi: 10.1080/10549811.2013.762187.
- Tiryana, T., Tatsuhara, S., & Shiraishi, N. (2011). Empirical models for estimating the stand biomass of teak plantations in Java, Indonesia. *Journal of Forest Planning*, 16, 177-188.
- Tunas Timber Lestari. (2013). *Rencana Kerja Tahunan IUPHHK PT. Tunas Timber Lestari Tahun 2013*. Boven Digul: PT. Tunas Timber Lestari.
- Ver Planck, N. R., & MacFarlane, D. W. (2014). Modelling vertical allocation of tree stem and branch volume for hardwoods. *Forestry*, 87, 459-469. doi: 10.1093/forestry/cpu007.
- Yulianti, M. (2012). Penyusunan tabel volume lokal jabon (*Anthocephalus cadamba*) di hutan rakyat Desa Punggelan, Kecamatan Punggelan, Banjarnegara, Jawa Tengah. *Tekno Hutan Tanaman*, 5(2), 73-78.