

**PENYUSUNAN DAN VALIDASI MODEL PENDUGA  
VOLUME JENIS POHON BALANGERAN (*Shorea balangeran* (Korth.) Burck) DI  
KALIMANTAN TENGAH**

***DEVELOPMENT AND VALIDATION OF VOLUME PREDICTION MODEL FOR  
BALANGERAN (*Shorea balangeran* (Korth.) Burck) IN CENTRAL KALIMANTAN***

**Muhammad Abdul Qirom**

Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Banjarbaru  
Jl. Ahmad Yani Km 28,7 Banjarbaru, Kalimantan Selatan  
Telp. (0511)-4707872; email: qirom.litbanglhk@gmail.com

Diterima: 7 Maret 2018; direvisi: 9 Juli 2018; disetujui: 3 Desember 2018

**ABSTRAK**

Model penduga volume pohon harus mempunyai akurasi dan ketepatan yang tinggi sehingga pendugaan potensi tegakan menjadi tepat. Penelitian ini bertujuan mendapatkan dan melakukan validasi eksternal model penduga volume jenis Balangeran di Kalimantan Tengah. Penyusunan model penduga volume ini menggunakan 3 tahapan yakni penyusunan model dengan 52 pohon contoh, validasi model dengan 23 pohon, dan validasi eksternal dengan 10 pohon contoh. Model penduga volume pohon menggunakan model linear dan non linear dengan peubah bebas diameter, diameter dan tinggi, dan kombinasi peubah diameter dan tinggi. Kriteria pemilihan model terbaik antara lain: koefisien determinasi, simpangan relatif dan agregatif, bias, ketepatan dan akurasi dugaan, dan AIC (*Akaike's Information criterion*). Hasil penelitian menunjukkan model dengan peubah bebas diameter tidak memenuhi kriteria pemilihan model terbaik (simpangan agregatif < 1 % dan simpangan relatif < 8 %). Penambahan tinggi kedalam model penduga volume meningkatkan koefisien determinasi sebesar 6,54 % dan terdapat model penduga dengan peubah diameter dan tinggi memenuhi kriteria pemilihan model terbaik. Model penduga terbaik yakni  $V=0,00014 D^{1,4451}H^{1,116943}$  dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 89,77 %. Namun demikian, model penduga volume tersebut tidak dapat digunakan pada tempat tumbuh dan karakteristik tegakan yang lain.

Kata kunci: volume pohon, model, *Shorea balangeran*, validasi, tegakan

**ABSTRACT**

Estimation model of tree volume must be high in accuracy and precisions to estimate stand potential precisely. This paper determines and validates the estimation model of *Shorea balangeran* volume grown in Central Kalimantan, Indonesia. There were three phases of model development which include 52 trees for model progress, 23 trees for model validation, and 10 trees for external model validation. The calculation model used linear and non-linear models with diameter, diameter and height, and diameter and height combination as independent variables. The criteria of the best model was determined by statistical analyses such as coefficient determination, relative and aggregative deviation, bias, precisions and accuracy of estimation, AIC (*Akaike's Information Criterion*). The result of the study showed that the model with diameter as single variable was not complied with the selected best model criteria (aggregative deviation; AD < 1 % and relative deviation: RD < 8 %). The addition of tree height on model estimation increased the coefficient determination of 6.54% and the model with diameter and height as independent variable was satisfied with the criteria (AD and RD criteria). The best model of Balangeran was  $V=0.00014 D^{1.4451}H^{1.116943}$  with coefficient determination of 89.77 %. However, the best model was not applicable for other sites with different stand characteristics

*Keywords: volume, model, Balangeran, validation, stand, tree*

**PENDAHULUAN**

Famili pohon yang mendominasi hutan tropis dataran rendah di Asia Tenggara adalah Dipterocarpaceae (Ashton, 1982; Naiem, *et al.*,

2014). Famili Dipterocarpaceae terdiri dari 3 Sub Famili, 16 genus, dan lebih dari 500 jenis (Bawa, 1998). Umumnya, beberapa jenis Dipterocarpaceae merupakan jenis yang komersial sehingga

keberadaannya semakin terancam akibat penebangan dan aktivitas manusia yang lain (Naito *et al.*, 2008).

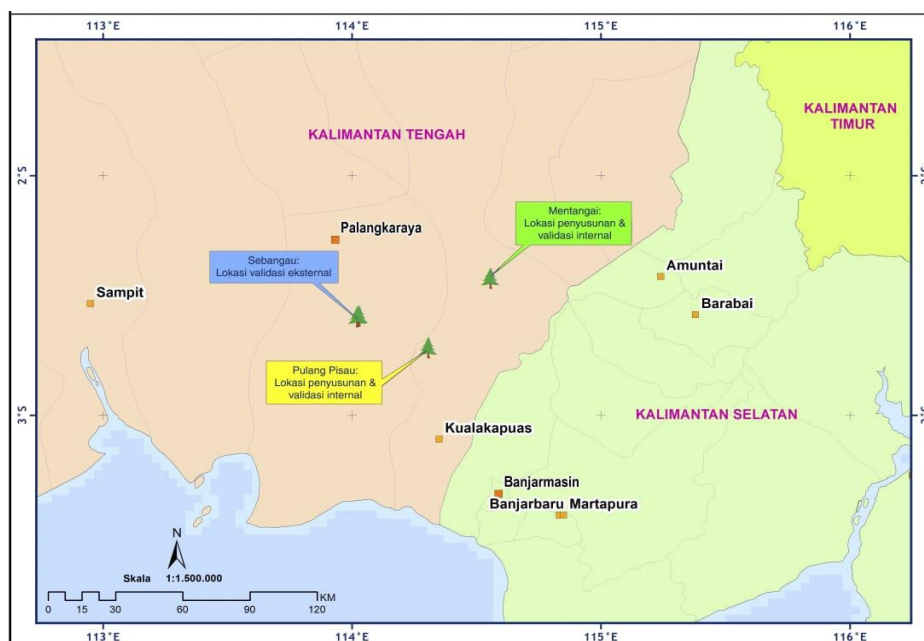
*Shorea balangeran* termasuk salah satu jenis Dipterocarpaceae. Jenis ini mempunyai tinggi antara 20 – 50 m dan diameter mencapai 50 cm (Hayne, 1987). Menurut (Turjaman *et al.*, 2011) *S. balangeran* termasuk jenis penyusun utama hutan rawa gambut dan mempunyai nilai ekonomi yang penting. *Shorea balangeran* dapat digunakan untuk papan bangunan, jembatan, dan tiang-tiang jembatan. Hal ini karena balangeran mempunyai keawetan kelas awet II dan kelas kuat I-II (Hayne, 1987).

Jenis ini mempunyai pertumbuhan yang cepat dengan riap diameter mencapai 1,2 cm/tahun (Hilwan *et al.*, 2013). Berdasarkan pertumbuhan tersebut, jenis ini mempunyai potensi untuk dikembangkan dalam rangka rehabilitasi dan peningkatan produktivitas lahan rawa gambut. Pengembangan suatu jenis/komoditi membutuhkan informasi yang lengkap terkait pertumbuhan maupun pendugaan potensi tegakannya. Pendugaan potensi ini memerlukan alat yang dapat menduga secara cepat, tepat, dan biaya murah (Arevalo, *et al.* 2007). Alat penduga potensi tersebut disusun dengan pendekatan penyusunan model alometrik penduga volume pohon berdasarkan tinggi dan diameter sebagai peubah bebasnya. Penyusunan model alometrik umumnya menggunakan metode kuadrat terkecil (OLS: *ordinary least square*) (Brandeis *et al.* 2006).

Di Indonesia, model-model penduga volume jenis pohon sangat terbatas (Krisnawati, 2016) sehingga pendugaan volume pohon menggunakan cara ekstrapolasi ataupun pendekatan berdasarkan famili sehingga hasil dugaan volume tidak akurat untuk jenis tertentu (Suchomel, *et al.* 2012). Peningkatan akurasi dan ketepatan dugaan dapat dilakukan dengan menggunakan model volume yang disusun berdasarkan jenis dan tempat tumbuhnya. Penggunaan model alometrik ke tempat tumbuh yang berbeda mensyaratkan untuk uji model alometrik di luar data model penduga volume disusun. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun dan melakukan validasi eksternal model penduga volume jenis balangeran di Kalimantan Tengah.

### METODE PENELITIAN

Pengambilan data penelitian dilaksanakan pada bulan Mei sampai dengan Desember 2014 dan pengukuran untuk validasi model dilakukan pada bulan Januari sampai dengan April 2015. Pada tahap penyusunan dan validasi internal model, pengambilan data dilakukan di Mentangai, Kabupaten Kuala Kapuas, Kalimantan Tengah sedangkan validasi eksternal dengan menggunakan data pengukuran dari Taman Nasional Sebangau, Kalimantan Tengah. Lokasi pengumpulan data yang digunakan untuk penyusunan, validasi internal, dan eksternal seperti disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: *phiband* meter, haga meter, SRB (*Spiegel*

*Relaskop Bieterlich*) dan bor tanah. SRB ini dapat digunakan untuk inventarisai hutan yakni diameter,

tinggi, luas bidang dasar, dan diameter dengan ketinggian tertentu (Bitterlich, n.d.) Bahan yang digunakan berupa pohon contoh balangeran pada tempat tumbuh yang berbeda yakni kondisi lahan bekas kebakaran (Plot Mentangai) dan areal bekas tebangan (Plot Sebangau).

**Pengumpulan Data**

Model-model penduga volume pohon disusun berdasarkan pengukuran pohon berdiri (*Non-destructive sampling*). Pengukuran diameter pohon berdiri per seksi diukur menggunakan *Spiegel Relaskop Bitterlich* (SRB). Panjang masing-masing seksi (sortimen) sepanjang 2 m. Volume pohon aktual didapatkan dengan mengukur pohon sampai diameter ujung 5 cm

Pengukuran diameter pohon ini menggunakan jarak datar 20 meter. Pada pengukuran seksi pada ketinggian tertentu diatas atau dibawah jarak datarnya, jarak pengukuran dikoreksi karena jarak pengukuran ini akan bertambah jauh. Perhitungan koreksi jarak dirumuskan:

$$d = \sqrt{d^2} = (\text{jarakdatar})^2 + (bc)^2 \text{ atau } e = \sqrt{e^2} = (\text{jarakdatar})^2 + (bc)^2$$

dimana: b,c: ketinggian pohon pada titik tertentu; d,e: jarak pengukuran hasil koreksi.

Pohon contoh diambil berdasarkan keterwakilan (sebaran) diameter pohon balangeran di lokasi penelitian. Pohon contoh hasil pengukuran tersebut terdiri dari 52 pohon untuk penyusunan model, 23 pohon untuk validasi internal, dan 10 pohon untuk validasi eksternal (Tabel 1). Validasi eksternal ini dilakukan dengan menggunakan data di tempat tumbuh yang berbeda (Ubuy *et al.*, 2018). Pada tahap penyusunan dan validasi internal, pohon sampel mempunyai diameter antara 31,6 cm ± 6,65 cm dan tinggi antara 17,20 m ± 1,66 m. Sebaran frekuensi data masing-masing kelas untuk penyusunan, validasi model, dan validasi eksternal seperti pada Tabel 1. Secara umum, pohon-pohon yang digunakan untuk penyusunan dan validasi model terletak pada kelas diameter sedang (23,0 cm – 41,2 cm), sedangkan untuk validasi eksternal dengan diameter 21,4 – 112,3 cm.

Tabel 1. Sebaran frekuensi pohon untuk penyusunan, validasi internal, dan validasi eksternal model penduga volume

No	Kelas Diameter (cm)	Banyak pohon model				
		Total	Penyusunan	Validasi	Validasi eksternal	
1	18,50	23,04	10	6	3	1
	-	-	-	-	-	2
2	23,05	27,54	17	10	5	2
	-	-	-	-	-	3
3	27,55	32,14	20	13	5	3
	-	-	-	-	-	1
4	32,15	36,64	19	11	5	0
	-	-	-	-	-	0
5	36,65	41,24	13	8	4	0
	-	-	-	-	-	0
6	41,25	45,74	4	3	1	0
	-	-	-	-	-	0
7	45,75	50,34	1	1	0	1
	-	-	-	-	-	1
8	> 50,34	-	1	0	0	10
	Total	-	85	52	23	-

Sumber : Data Primer, 2015

**Pengolahan data**

Volume pohon per seksi dan volume pohon total dirumuskan dengan (Husch, 1963; Husch *et al.*, 2002):

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

$$V = \sum V_s \dots\dots\dots(2)$$

keterangan: V: volume aktual per pohon (m<sup>3</sup>); Vs: Volume per seksi (m<sup>3</sup>); Bu: luas bidang dasar ujung (m<sup>2</sup>); Bp: luas bidang dasar pangkal (m<sup>2</sup>); L: panjang sortimen (m).

**Analisis Data**

**1. Analisis korelasi dan penyusunan model penduga volume pohon**

Analisis korelasi menggunakan korelasi *Pearson* (Armeccin & Coseco, 2012). Analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui keeratan hubungan linear antara peubah bebas (volume) dengan peubah tidak bebas (diameter, tinggi, angka bentuk) atau antar peubah bebas. Nilai korelasi (r) berkisar antar -1 sampai dengan 1. Hubungan antara peubah tersebut sangat erat apabila nilai r mendekati 1 atau -1.

Prosedur analisis data ini sesuai dengan yang dilakukan oleh (Tewari & Singh, 2006). Data yang akan digunakan untuk analisis data ini terbagi menjadi

dua yakni 70 % data yang telah dikumpulkan sebagai dasar dalam penyusunan model, sedangkan 30 % dari data yang ada digunakan untuk validasi internal. Model penduga volume ini digunakan untuk memproyeksikan hasil yang akan dicapai pada masa yang akan datang. Model yang akan disusun berupa bentuk hubungan antara volume dengan diameter dan tinggi sebagai variabel tunggal dan kombinasi diameter dan tinggi sebagai variabel bebas. Model-model yang dicobakan yakni:

- E.1  $V = a D^b$  .....(3) (Arevalo *et al.*, 2007; Brandeis *et al.*, 2006; Jagodziński *et al.*, 2018; Turski, Beker, *et al.*, 2008; Zewdie, Olsson, & Verwijst, 2009)
- E.2.  $V = a (D^2 H)^b$  .....(4) (Brandeis *et al.*, 2006; Jagodziński *et al.*, 2018; Lima *et al.*, 2012; Zewdie *et al.*, 2009)
- E.3  $V = a (DH)^b$  .....(5) (Subedi & Sharma, 2012)
- E.4  $V = a D^b H^c$  .....(6) (Brassard *et al.*, 2011; Jagodziński *et al.*, 2018; Zewdie *et al.*, 2009)
- E.5  $V = a + D^b$  .....(7) (Subedi & Sharma, 2012)
- E.6  $V = EXP(a + b(D^2 H))$  .....(8) (Subedi & Sharma, 2012)
- E.7  $V = a * EXP(-b/D)$  .....(9) (Subedi & Sharma, 2012)
- E.8  $V = a * EXP(-bD)$  .....(10) (Subedi & Sharma, 2012)
- E.9  $V = a + bD + cD^2$  .....(11) (Turski *et al.* 2008; Mugasha *et al.* 2013)
- E.10  $V = a + b(D^2 H)$  .....(12) (Zewdie *et al.*, 2009)

Keterangan: V: volume pohon (m<sup>3</sup>); D: diameter setinggi dada (cm); H: tinggi pohon (m); a, b, c: koefisien regres

**2. Pemilihan calon model terbaik**

Pada tahap awal, keeratan hubungan antar variabel penduga volume (diameter dan tinggi pohon) dilakukan analisis dengan menggunakan korelasi pearson (Armeccin & Coseco, 2012). Korelasi ini dapat bernilai positif atau negatif. Pemilihan calon model untuk hubungan volume pohon dengan diameter dan volume dengan diameter dan tinggi pohon menggunakan kriteria antara lain: koefisien determinasi maksimum (R<sup>2</sup> maksimum) dan koefisien determinasi terkoreksi maksimum (R<sup>2</sup><sub>adj</sub> maksimum)

(Widyasari, Saharjo, Solichin, & Istomo, 2010), dan simpangan baku minimum (s) (Armeccin & Coseco, 2012; Blujdea,et al., 2012). Sedangkan pemilihan calon model penduga volume terbaik ditambahkan dengan kriteria lain yakni: menggunakan kriteria simpangan agregatif (SA) dan simpangan relatif (SR). Model terbaik didapatkan jika nilai SA < 1% dan SR < 8 % (B. Husch *et al.*, 2002). Penggunaan kriteria ini juga dilakukan oleh Siarudin & Indrajaya, (2014) dalam penyusunan model penduga jenis Jabon di Jawa Barat. Kriteria tersebut dirumuskan sebagai berikut:

$$SA = \frac{\sum DV_{ia} - \sum V_{it}}{\sum V_{it}} \times 100\% \text{ dan } SR = \frac{\sum \left| \frac{V_{ia} - V_{it}}{V_{it}} \right|}{N} \times 100\% \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan: SR: simpangan relatif; SA: simpangan agregatif; V<sub>it</sub>: Dimensi dugaan (berdasar persamaan); V<sub>ia</sub>: dimensi pohon aktual; N: jumlah pohon model.

Validasi model ini digunakan untuk melihat ketarandalan model dalam menduga dimensi atau volume diluar data yang digunakan dalam model (30 % data). Beberapa kriteria validasi model antara lain:

$$e = \left( \sum \frac{((V_{it} - V_{ia}) / V_{ia})}{n} \right) \times 100\% ; \dots\dots\dots(14) \text{ (Laar \& A. Akca, 1997)}$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{((V_{it} - V_{ia}) / V_{ia})^2}{n}} \times 100\% ; \dots\dots\dots(15) \text{ (Laar \& A. Akca, 1997)}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((V_{it} - V_{ia}) / V_{ia})^2 - \frac{\left[ \sum_{i=1}^n ((V_{it} - V_{ia}) / V_{ia}) \right]^2}{n}}{n-1}} \times 100\% \dots\dots\dots(16) \text{ (Laar \& A. Akca, 1997)}$$

$$MRES = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}_i)}{n} ; AMRES = \frac{\sum_{i=1}^n |(V_i - \bar{V}_i)|}{n} \dots\dots\dots(17) \text{ (Huang, Yang, \& Wang, 2003;}$$

Tewari \& Singh, 2008)

$$AIC = \frac{2k}{n} + \ln \left( \frac{\sum_{i=1}^n \hat{u}_i^2}{n} \right) \dots\dots\dots(18) \text{ (Graza, 1989)}$$

Keterangan: s: Simpangan baku; e: rata-rata bias; RMSE: *Root mean square error*; MRES: Mean residual; AMRES: Absolute Mean Residual; AIC: Akaike's Information criterion;  $D_{it}$ ,  $y_i$ : hasil dugaan dimensi dan volume dengan model ;  $V_{ia}$ ,  $v_j$  :: hasil pengukuran dimensi dan volume; n: jumlah pohon contoh

**3. Penentuan model terbaik**

Model terbaik ditentukan dengan sistem skor. Hal ini dilakukan karena suatu model menjadi terbaik

untuk suatu kriteria tetapi model tersebut tidak menjadi model terbaik untuk kriteria lain. Sistem skor tersebut seperti Tabel 2.

Tabel 2. Sistem skor pada masing-masing kriteria

Kriteria	Kategori	Skor	Sumber
Koefisien determinasi dan terkoreksi	maksimum	skor terendah	(Blujdea <i>et al.</i> , 2012; Istomo & Farida, 2017; Siregar & Dharmawan, 2011; Sutaryo, 2009; Widyasari <i>et al.</i> , 2010; Yuniati & Kurniawan, 2013)
Simpangan baku	minimum	skor terendah	(Armecin & Coseco, 2012; Blujdea <i>et al.</i> , 2012)
Simpangan agregatif dan relatif	minimum	skor terendah	(B. Husch <i>et al.</i> , 2002; Sumadi & Siahaan, 2010)
Bias, RMSE	minimum	skor terendah	(Basuki <i>et al.</i> , 2009; Fayolle <i>et al.</i> , 2013; Giday <i>et al.</i> , 2013; Manuri <i>et al.</i> , 2014)
AMRES; MRES	minimum	skor terendah	(Ubuy <i>et al.</i> , 2018)
AIC	minimum	skor terendah	(Fayolle <i>et al.</i> , 2013; Krisnawati, 2016)

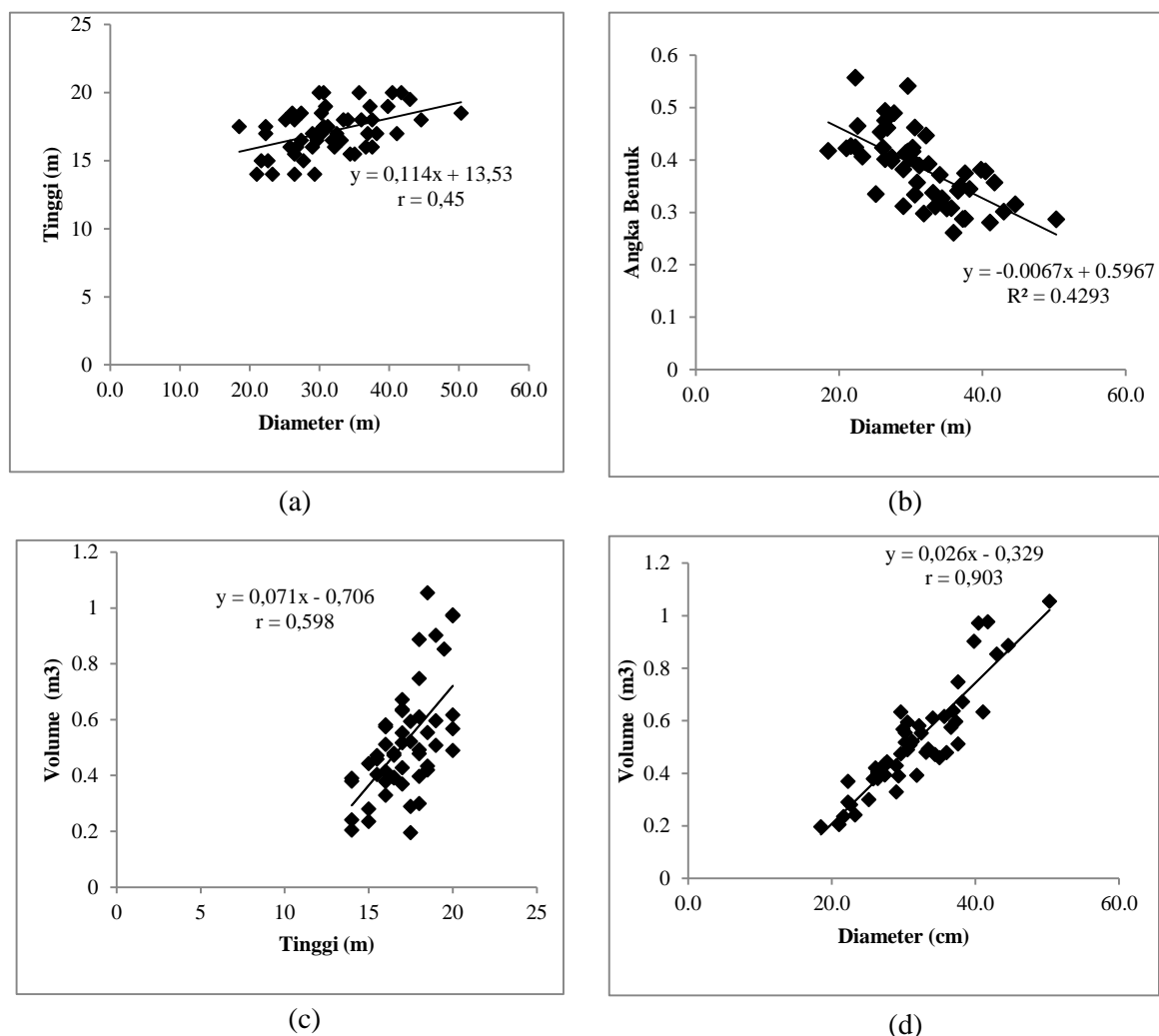
Kriteria	Kategori	Skor	Sumber
Keputusan	Skor terendah dari seluruh kriteria adalah model terbaik		(Herbagung & Krisnawati, 2009)

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

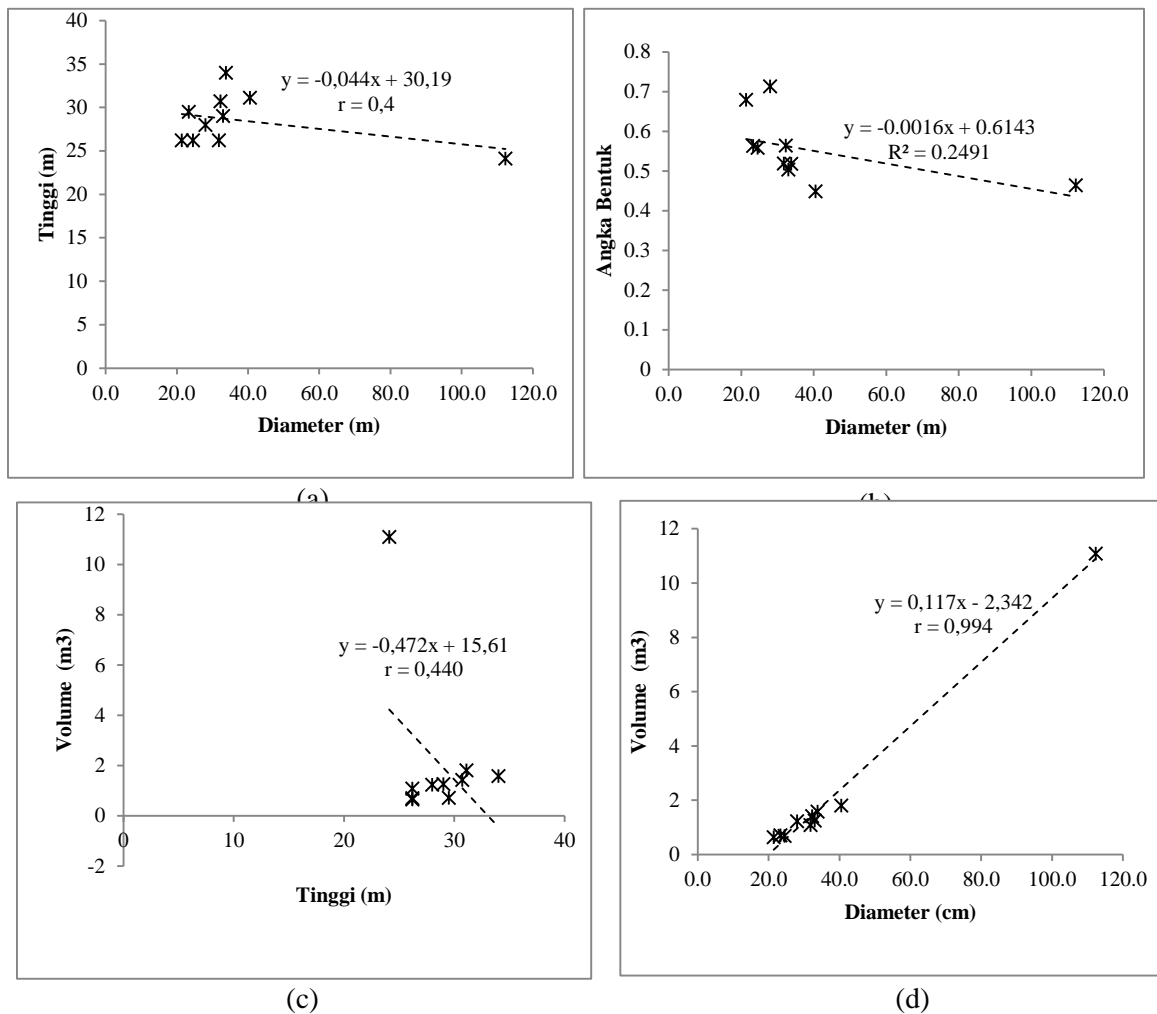
**Hubungan antara variabel penduga volume**

Pada tahap penyusunan dan validasi model, hubungan antara diameter dengan tinggi, diameter dengan volume pohon, dan tinggi dengan volume pohon berkorelasi positif, sedangkan hubungan diameter dengan angka bentuk berkorelasi negatif

(Gambar 2). Hubungan korelasi terbesar yakni hubungan antara diameter dengan volume pohon dengan nilai r sebesar 0,903, sedangkan hubungan antara diameter dengan tinggi dan angka bentuk serta tinggi dengan volume pohon mempunyai hubungan yang tidak erat ( $r < 0,707$ ) (Gambar 2).



Gambar 2. a) Hubungan diameter dengan tinggi pohon; b) hubungan angka bentuk dengan diameter pohon; c) hubungan diameter dengan volume pohon; dan d) hubungan tinggi dengan volume pohon pada tahap penyusunan dan validasi model



Gambar 3. a) Hubungan diameter dengan tinggi pohon; b) hubungan angka bentuk dengan diameter pohon; c) hubungan diameter dengan volume pohon; dan d) hubungan tinggi dengan volume pohon pada tahap validasi eksternal

Berdasarkan bentuk hubungan keeratannya, penyusunan dan validasi model terhindar dari multikolinieritas dan autokorelasi. Hal ini disebabkan oleh tidak ada hubungan yang erat antar variabelnya kecuali hubungan antara diameter dengan volume pohon. Karakteristik pohon model untuk validasi eksternal berbeda dengan karakteristik pohon model pada tahap penyusunan dan validasi model. Hal ini dapat dilihat dari perbedaan nilai korelasinya ( $r$ ). Pada data validasi eksternal, nilai korelasi antara diameter dengan volume dan diameter dengan tinggi lebih besar daripada data pada tahap penyusunan dan validasi internal sedangkan hubungan antara tinggi dengan volume pohon dan diameter dengan angka bentuk mempunyai  $r$  lebih rendah (Gambar 3). Pada tahap penyusunan dan validasi model, pohon model yang digunakan mempunyai penampilan lebih runcing. Kondisi ini ditunjukkan oleh rata-rata angka

$\pm$  standar deviasi bentuknya ( $f$ ) sebesar  $0,39 \pm 0,068$ , sedangkan pada data validasi eksternal, pohon model mempunyai deviasi angka bentuk antara  $0,55 \pm 0,085$ .

Hubungan diameter dengan volume pohon ( $r = 0,90$ ) lebih erat dibandingkan dengan hubungan tinggi dengan volume pohon ( $r = 0,598$ ). Besarnya koefisien korelasi tersebut menunjukkan bahwa diameter merupakan parameter utama dalam penyusunan model penduga volume (Hunter, 2015). Besarnya koefisien korelasi diameter dengan volume tidak jauh berbeda dengan beberapa hasil penelitian yang lain. Hasil penelitian yang lain menunjukkan nilai  $r > 0,7$  (Brassard *et al.*, 2011; Brooks *et al.*, 2008; Suchomel *et al.*, 2012; Zewdie *et al.*, 2009). Selain berkaitan dengan jenis, klon juga berpengaruh terhadap besarnya koefisien korelasi tersebut. Pada klon yang berbeda, korelasinya berkisar antara  $0,56 - 0,87$  (Sahuri, 2017). Pada hutan alam nilai  $r$  sangat rendah

yakn 0,067 (Kuswandi, 2016). Hal ini karena sangat bervariasi tempat tumbuh di hutan alam untuk setiap individu (Menéndez-Miguélez *et al.* 2014).

Namun demikian, besarnya nilai r tinggi dengan volume jauh lebih rendah dengan beberapa penelitian yang lain. Hal ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik jenis balangeran yang lebih runcing dibandingkan dengan jenis yang lain seperti jelutung rawa (Qirom & Supriyadi, 2012a), jati (Susila, 2012), dan nyawai (Qirom & Supriyadi, 2013) sehingga pertambahan tinggi kurang berpengaruh terhadap pertambahan volume. Hal ini ditentukan oleh besarnya angka bentuk masing-masing jenis. Angka bentuk jenis Balangeran sebesar 0,4 (Gambar 1). Angka bentuk jenis Balangeran ini lebih kecil dari angka bentuk jenis lain seperti nyawai dan jelutung rawa dengan angka bentuk sebesar > 0,5 (Qirom & Supriyadi, 2012a, 2013), kayu afrika sebesar 0,56 (Puspitasari, 2015) dan puspa sebesar 0,52 (Juliantari, 2013) di Jawa Barat, dan jenis jati di Nusa Tenggara Timur dengan angka bentuk sebesar 0,72 (Susila, 2012).

**Penyusunan dan validasi model penduga volume pohon**

Model-model penduga volume pohon disusun dengan menggunakan model non-linear (E1 sampai dengan E8) dan model-model linear (E9 dan E10). Hasil penyusunan model menunjukkan keseluruhan model penduga volume mempunyai koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) lebih dari 80 % (Tabel 3). Hal ini berarti semua peubah bebas yang digunakan dapat menjelaskan lebih dari 80 % keragaman dari volume pohon. Secara umum, model-model penduga yang telah disusun mempunyai simpangan dugaan yang kecil yakni kurang dari 0,1 m<sup>3</sup> terhadap keseluruhan volume aktualnya.

Model-model penduga volume menggunakan peubah bebas diameter mempunyai R<sup>2</sup> lebih dari 80 %. Hal ini menunjukkan peubah bebas diameter mampu menjelaskan lebih dari 80 % dari variasi dari volume pohon. Secara umum, keseluruhan model penduga volume pohon menggunakan peubah diameter dan

tinggi secara bersama-sama dapat meningkatkan koefisien determinasi sebesar 6,54 % terhadap model penduga volume dengan peubah bebas diameter. Besarnya peningkatan koefisien determinasi ini disebabkan oleh hubungan diameter dengan tinggi yang kurang erat (Gambar 2).

Secara umum, penambahan tinggi kedalam model penduga volume mempunyai koefisien determinasi yang lebih besar dibandingkan model dengan diameter sebagai peubah tunggal. Kondisi ini dipengaruhi oleh hubungan antara diameter dengan tinggi pohon sampel tidak erat. Hal ini ditunjukkan oleh nilai r sebesar 0,45 (Gambar 1). Penambahan tinggi kedalam model sangat signifikan pengaruhnya terhadap ketepatan dan ketarandalan model penduga volume pohon. Model-model penduga dengan diameter sebagai peubah tunggal tidak ada yang memenuhi kriteria Simpangan Agregatif (SA) sehingga model terbaik adalah model penduga volume dengan peubah diameter dan tinggi atau kombinasi kedua peubah tersebut.

Model penduga terbaik mempunyai koefisien determinasi yang besar (R<sup>2</sup> > 85 %). Koefisien determinasi tersebut lebih tinggi dari beberapa hasil penelitian lain yakni jenis *Bursera sumaruba* di Puerto Rico dengan R<sup>2</sup> sebesar 55,3 % (Brandeis *et al.*, 2006) dan jenis jelutung rawa di Kalimantan Tengah (Qirom & Supriyadi, 2012a). Model-model penduga yang telah disusun tersebut menggunakan peubah diameter dan tinggi secara bersama-sama. Namun demikian, model-model tersebut mempunyai koefisien determinasi yang lebih rendah daripada beberapa model penduga yang telah disusun. Model-model tersebut digunakan untuk menduga beberapa jenis tanaman seperti *Acacia mangium* (Qirom & Lazuardi, 2007), *Disoxylum molliscimum* (Sumadi & Siahaan, 2010), *Alstonia scholaris* (Sumadi *et al.*, 2010), *Dipterocarpus acutangalus*, and *Ficus variegata* (Qirom & Supriyadi, 2013). Model-model tersebut disusun berdasarkan metode pendugaan pohon berdiri (*non destructive*) dan penebangan (*destructive*). Gambaran besarnya koefisien determinasi dan simpangan dugaannya seperti Tabel 5.

Tabel 5. Model-model penduga volume beberapa jenis pohon pada beberapa tempat tumbuh

Lokasi	Jenis	Model	R <sup>2</sup> (%)	N	SA (%)	SR (%)	Sumber
Kalimantan Timur	1. Keruing ( <i>Dipterocarpus acutangalus</i> )	$Log V = -3,1974 + 2,4022 \log D$	96,3	77	-1,86	3,21	(Abdurachman, 2012)



Lokasi	Jenis	Model	R <sup>2</sup> (%)	N	SA (%)	SR (%)	Sumber
	2. Tengkawang ( <i>Shorea macrophylla</i> )	$\log V = -3,2545 + 2,2249 \log D - 3,9328 \left(\frac{1}{D}\right)$	97,3	51	-1,54	3,26	(Abdurachman & Purwaningsih, 2012)
	3. Keruing ( <i>Dipterocarpus coniferus</i> )	$V = 0,2578 + 0,0286 D - 0,00014 D^2$	96,5	44	0,03	3,51	(Abdurachman, 2013)
	4. Nyawai ( <i>Ficus variegata</i> )	$\ln V = -9,22846 + 1,7456 \ln(D) + 0,9759 \ln(H)$	90,1	10 1			(Qirom & Supriyadi, 2013)
					-0,60	4,01	
Kalimantan Tengah	5. Jelutung Rawa: Volume total	$\ln V = -7,9444 + (2,1952) * (\ln(D))$ (Peubah diameter)	81,8	96			(Qirom & Supriyadi, 2012b)
		$V = 2,4081 * 10^{-4} * (D^2 H)^{0,80871}$ (Peubah diameter dan tinggi)	82,7	96	0,78 -0,15	4,94 4,64	(Qirom & Supriyadi, 2012b)
	6. Jelutung Rawa ( <i>Merchantable volume</i> )	$\ln V = -8,2598 + (2,2843) * (\ln(D))$ (Peubah diameter)	81,3	96	0,86	5,05	(Qirom & Supriyadi, 2012b)
		$\ln V = -9,0589 + (1,8958) * (\ln(D)) + (0,7347) * (L$ (Peubah diameter dan tinggi)	83,1	96	0,92	4,76	(Qirom & Supriyadi, 2012b)
Kalimantan Selatan	7. Akasia ( <i>Acacia mangium</i> )	$V = 0,01621 + 0,00003124 (D^2 H)$ (Kelas Komersial)	96,1	93	0,0	-4,0	(Qirom & Lazuardi, 2007)
	8. Akasia ( <i>Acacia mangium</i> )	$V = -0,007398 + 0,00003136 (D^2 H)$ (Kelas kayu pertukangan)	90,4	93	0,02	- 1,21	(Qirom & Lazuardi, 2007)
Sumatera Selatan	9. Kayu bawang ( <i>Disoxylum molliscimum</i> )	$V = 0,0001027 D^{2,3127} H^{0,239}$	95,6	96	0,09	9,16	(Sumadi & Siahan, 2010)
	10. Pulau Gading	$V = 0,000077 D^{2,304} H^{0,241}$	96,7	96	-	-	(Sumadi et al., 2010)

Keterangan: jenis 1 – 6: pohon contoh diambil dengan cara *non destructive*, jenis 7 – 10: pohon contoh diambil dengan *destructive*; V: Volume (m<sup>3</sup>); D: diameter (cm); H: tinggi (m); R<sup>2</sup>= koefisien determinasi (%); N: jumlah pohon; SA: simpangan agregatif (%); SR: simpangan relatif (%)

Model penduga yang telah disusun mempunyai hasil dugaan yang *overestimate* terhadap volume aktualnya kecuali model E3. Hal ini ditunjukkan oleh nilai SA yang negatif. Model-model penduga tersebut

mempunyai simpangan relatif (SR) kurang dari 1 %, sedangkan simpangan agregatif (SA) yang dihasilkan lebih dari 1 % kecuali model E3 dan E4 sehingga sebagian kecil model memenuhi kriteria SR. Kedua

model tersebut menggunakan peubah bebas diameter dan tinggi dan kombinasi kedua peubah tersebut. Model-model penduga dengan peubah diameter sebagai peubah bebas atau kombinasinya tidak ada yang memenuhi kriteria SA dan SR (Tabel 4).

Berdasarkan kriteria ini, model E3 dan E4 dipilih sebagai calon model penduga volume terbaik pada tahap penyusunan dan validasi model penduga volume pohon.

Tabel 4. Penyusunan dan validasi model penduga volume jenis balangeran

Model	Parameter			R <sup>2</sup> (%)	R <sup>2</sup> adj (%)	s (m <sup>3</sup> )	SA (%)	SR (%)
	a	b	c					
E1	0,00155	1,6817		84,05	83,73	0,033	-5,96	0,53
E2	0,00028	0,7693		89,21	89,00	0,025	-2,47	0,45
E3	0,00009	1,3664		89,47	89,26	0,023	0,34	0,45
E4	0,00014	1,4451	1,116943	89,77	89,36	0,023	-0,85	0,44
E5	-2,32792	0,3054		81,05	80,67	0,038	-6,65	0,65
E6	-8,17623	0,7693		89,21	89,00	0,025	-2,47	0,45
E7	3,13530	56,0760		82,57	82,22	0,036	-6,02	0,58
E8	0,11309	-0,04732		82,51	82,16	0,032	-6,01	0,64
E9	-0,03344	0,007489	0,000313	84,04	83,39	0,033	-5,96	0,53
E10	0,12547	0,0000218		89,08	88,87	0,051	-2,38	0,46

Keterangan: R<sup>2</sup>: koefisien determinasi (%); R<sup>2</sup>adj: koefisien determinasi terkoreksi (%); s: simpangan baku (m<sup>3</sup>); SR: simpangan relatif (%); SA: Simpangan Agregatif (%); a,b,c: parameter regresi

Tahapan selanjutnya yakni pemilihan model terbaik dari dua calon model penduga terbaik (E3 dan E4). Model tersebut mempunyai koefisien determinasi terbesar dengan simpangan dugaan (s, SA, dan SR) terkecil. Pemilihan model dilakukan dengan menggunakan kriteria koefisien determinasi, s, SA, dan SR (Tabel 4) dan bias, ketepatan, RMSE, AMRES, MRES dan AIC. Penggunaan kriteria validasi seperti MRES, AMRES, dan RMSE dilakukan oleh beberapa penelitian yakni penyusunan biomassa di hutan rawa gambut Kalimantan (Manuri

*et al.*, 2014), jenis Dipterocarpaceae di Kalimantan Timur (Basuki *et al.*, 2009); jenis pohon lahan kering dan semak belukar di Ethiopia (Ubuy *et al.*, 2018); dan penyusunan model taper jenis Kayu Afrika (Herbagung & Krisnawati, 2009).

Pemilihan model menggunakan sistem skor untuk masing-masing kriteria (Tabel 5). Hal ini dikarenakan calon model penduga terbaik menjadi terbaik untuk satu kriteria tetapi pada kriteria yang lain, model tersebut bukan sebagai model terbaik. Hasil skoring tersebut seperti Tabel 4.

Tabel 5. Pemilihan model terbaik dengan sistem skor

Model	Bias	RMSE	AIC	MRES	AMRES	Total
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Skor
E1	6,81	6,94	-4,92	3,55	7,51	-
E2	2,44	5,20	-5,31	2,01	4,73	-
E3	-0,49	4,74	-5,34	1,44	4,28	14,5
E4	0,68	4,80	-5,33	0,64	3,73	12,5
E5	6,20	7,83	-8,66	3,90	8,83	-
E6	2,44	5,20	-5,31	2,01	4,73	-
E7	5,58	7,60	-4,83	3,63	7,97	-
E8	8,45	6,69	-4,83	3,55	7,93	-
E9	6,87	6,90	-4,92	3,54	7,52	-
E10	3,16	5,06	-5,30	1,88	4,56	-

Keterangan: RMSE: Root mean square error; MRES: Mean residual; AMRES: Absolute Mean Residual; AIC: Akaike's Information criterion

Skoring dilakukan hanya pada model yang memenuhi kriteria SA dan SR (model E3 dan E4). Hasil pemilihan model terbaik menunjukkan model E4 sebagai model terbaik. Model ini mempunyai koefisien determinasi terbesar dengan simpangan

dugaan yang relatif kecil. Model E4 tersebut yakni:  $V = 0,00014 D^{1,4451} H^{1,116943}$  dengan  $R^2 = 89,77\%$ . Model ini digunakan untuk menyusun tabel volume standard jenis balangeran seperti Tabel 6.

Tabel 6. Tabel volume standard jenis balangeran

DBH (cm)	Tinggi (m)											
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
10	0,074	0,080	0,086	0,092	0,098	0,105	0,111	0,117	0,123	0,129	0,136	0,142
15	0,134	0,144	0,155	0,166	0,177	0,188	0,199	0,210	0,221	0,233	0,244	0,255
20	0,202	0,219	0,235	0,252	0,268	0,285	0,302	0,318	0,335	0,353	0,370	0,387
25	0,280	0,302	0,325	0,347	0,370	0,393	0,416	0,440	0,463	0,487	0,510	0,534
30	0,364	0,393	0,422	0,452	0,482	0,512	0,542	0,572	0,603	0,633	0,664	0,695
35	0,455	0,491	0,528	0,565	0,602	0,639	0,677	0,715	0,753	0,791	0,830	0,869
40	0,551	0,596	0,640	0,685	0,730	0,775	0,821	0,867	0,913	0,960	1,007	1,054
45	0,654	0,706	0,759	0,812	0,865	0,919	0,974	1,028	1,083	1,138	1,193	1,249
50	0,761	0,822	0,884	0,945	1,008	1,071	1,134	1,197	1,261	1,325	1,390	1,455

Keterangan (remarks) : DBH: diameter at breast height (cm)

**Validasi eksternal**

Hasil pengujian menunjukkan semua model tidak memenuhi kriteria keakuratan dan keterandalan model (Tabel 7). Berdasarkan Tabel 6, semua model mempunyai Simpangan Agregatif lebih dari 1 %

sehingga model-model tersebut hanya dapat digunakan untuk menduga volume pohon jenis balangeran di tempat dimana data yang digunakan untuk menyusun model tersebut dikumpulkan.

Tabel 7. Validasi eksternal pada keseluruhan model penduga volume pohon

Model		Penyusunan dan Validasi				Validasi Eksternal		
		R <sup>2</sup> adj	s	SA	SR	s	SA	SR
		(%)	(m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(m <sup>3</sup> )	(%)	(%)
E1	$V = 0,00155D^{1,6817}$	83,73	0,033	-5,96	0,53	1,475	147,97	2,95
E2	$V = 0,00028(D^2H)^{0,7693}$	89,00	0,025	-2,47	0,45	1,376	93,87	2,39
E3	$V = 0,00009(DH)^{1,3664}$	89,26	0,023	0,34	0,45	1,376	61,16	1,88
E4	$V = 0,00014D^{1,4451}H^{1,116943}$	89,36	0,023	-0,85	0,44	1,366	74,15	2,10
E5	$V = -2,32792 + D^{0,3054}$	80,67	0,038	-6,65	0,65	1,967	244,10	3,51
E6	$V = EXP(-8,176 + 0,7693(\ln(D^2H)))$	89,00	0,025	-2,47	0,45	1,376	93,87	2,39
E7	$V = 3,1353 * EXP\left(\frac{-56,076}{D}\right)$	82,22	0,036	-6,02	0,58	1,968	246,58	3,52
E8	$V = 0,11309EXP(-(-0,04732)D)$	82,16	0,032	-6,01	0,64	2,520	-21,33	4,13
E9	$V = -0,03344 + 0,007489D + 0,000313D^2$	83,39	0,033	-5,96	0,53	1,396	137,07	2,86
E10	$V = 0,12547 + 0,0000218(D^2H)$	88,87	0,051	-2,38	0,46	0,949	62,22	1,90

Keterangan: R<sup>2</sup>: koefisien determinasi (%); R<sup>2</sup>adj: koefisien determinasi terkoreksi (%); s: simpangan baku (standard deviation: m<sup>3</sup>); SR: simpangan relatif (%); SA: Simpangan Agregatif (%); a,b,c: parameter regresi

Model terbaik jenis balangeran yang disusun dalam penelitian ini tidak dapat digunakan pada lokasi lain. Hal ini menunjukkan model penduga tersebut

tidak cukup andal dalam menduga pohon dengan karakteristik dimensi yang berbeda.

Implikasi hasil penelitian ini yakni penggunaan model penduga ataupun tabel volume harus dilakukan validasi dengan menggunakan data aktual ditempat tersebut. Kondisi ini sesuai dengan yang dinyatakan (Ubuy *et al.*, 2018) yakni penggunaan suatu formula ditempat lain harus dilakukan secara hati-hati. Selain itu, penggunaan model penduga volume harus memperhatikan kisaran diameter dalam penyusunan model. Penggunaan model diluar kisaran diameter akan memperbesar kesalahan dari pendugaan yang dihasilkan (Nugroho, 2014). Kondisi ini juga ditunjang oleh pendapat dari Maulana (2014) dalam penyusunan model penduga biomassa di Papua. Model penduga yang didapatkan bersifat lokal, sesuai dengan tempat tumbuh, dan jenis yang sama (Maulana, 2014). Hal ini mencegah terjadinya bias dalam pendugaan dari model volume yang dihasilkan. Penelitian Maulana *et al.* (2016) mendapatkan bahwa bias dugaan dari model-model lokal lebih rendah dibandingkan dengan model yang bersifat umum. Studi tersebut membandingkan antara model penduga biomasa lokal dengan model biomassa umum (Maulana *et al.*, 2016). Penggunaan model yang tidak tervalidasi akan menyebabkan hasil dugaan yang tidak valid/tepat. Kasus ini seperti dilaporkan oleh Ngomanda *et al.*, (2014) dalam menduga biomasa dengan menggunakan model penduga yang bersifat umum. Ngomanda *et al.* (2014) mendapatkan hasil dugaan yang *overestimate* sebesar 40% dari nilai aktualnya sehingga pendugaan yang dilakukan tidak valid. Kondisi ini dapat dijelaskan karena karakteristik pohon antara penyusunan dan validasi eksternal sangat berbeda. Hal ini dapat dilihat dari angka bentuk dan hubungan tinggi dengan volume yang sangat berbeda antar kedua lokasi tersebut. Kondisi yang berbeda dari hasil penelitian Fayolle *et al.*, (2013) dalam memvalidasi model biomassa di Afrika Tengah. Model umum biomasa tersebut dapat digunakan karena berat jenis kayu yang dimasukkan di model tersebut adalah berat jenis kayu lokal. Menurut Sutaryo (2009) model pendugaan harus bersifat spesifik terutama untuk tegakan-tegakan monokultur (hutan tanaman). Hal ini juga dikuatkan oleh pendapat Maulana & Pandu (2011) yang menyatakan bahwa pendugaan volume/biomassa sedapat mungkin menggunakan model-model lokal dan spesifik yang tersedia. Kondisi tersebut juga dikuatkan pendapat Sharma, Oderwald, & Amateis (2002) yang menyatakan bahwa penyusunan model penduga volume dengan dua variabel bersifat lokal dan spesifik untuk tempat tumbuh dan jenis yang sama.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Penambahan peubah tinggi meningkatkan tingkat akurasi, ketepatan, dan keterandalan model penduga volume. Model penduga volume dengan peubah diameter dan tinggi secara bersama-sama dapat meningkatkan koefisien determinasi sebesar 6,54 % dibandingkan model penduga volume dengan diameter sebagai peubah tunggal. Model penduga volume terbaik jenis balangeran yakni:  $V=0,00014 D^{1,4451} H^{1,116943}$  dengan  $R^2$  sebesar 89,77 %. Model penduga tersebut tidak dapat digunakan pada tempat tumbuh yang berbeda. Hal ini didasarkan pada hasil validasi eksternal yang menunjukkan semua model penduga yang disusun tidak memenuhi kriteria-kriteria yang ditetapkan termasuk model penduga terbaik tersebut. Penerapan hasil penelitian ini yakni penggunaan model alometrik atau tabel volume pohon jenis balangeran harus memperhatikan karakteristik tempat tumbuh (kimia dan fisika tanah, kedalaman gambut) dan karakteristik pohon (diameter, tinggi, dan angka bentuk) sehingga bias hasil pendugaan dalam penggunaannya dapat dihindari.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Anggaran DIPA Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Banjarbaru. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Susy Andriani, S.Hut., M.Sc. dan Safinah S. Hakim, S.Hut., M.Si. atas bantuan dalam penyusunan dan perbaikan tulisan ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Supriyadi dan Arif Susianto atas bantuan dalam pengambilan data lapangan dan pembuatan peta lokasi penelitian. Ucapan terimakasih juga kepada Balai Taman Nasional Sebangau atas fasilitasi selama pelaksanaan penelitian.

## 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.Sloten di Wahau Kutai Timur, Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Dipterokarpa*, 7(1), 29–34.  
<http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Abdurachman, & Purwaningsih, S. (2012). Tabel volume batang di bawah pangkal tajuk jenis tengkawang (*Shorea macrophylla*) di PT Gunung Gajah Abadi, Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Dipterokarpa*, 6(2), 131–139.

- Arevalo, C. B. M., Volk, T. A., Bevilacqua, E., & Abrahamson, L. (2007). Development and validation of aboveground biomass estimations for four *Salix* clones in central New York. *Biomass and Bioenergy*, 31(1), 1–12.  
<http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.06.012>
- Armeccin, R. B., & Coseco, W. C. (2012). Abaca (*Musa textilis* Nee) allometry for above-ground biomass and fiber production. *Biomass and Bioenergy*, 46(0), 181–189.  
<http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.09.004>
- Ashton, P. . (1982). Dipterocarpaceae. *Flora Malesiana*, 9, 237–552.
- 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(8), 1684–1694.  
<http://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.01.027>
- Bawa, K. (1998). Conservation of Genetic Resources in The Dipterocarpaceae. dalam S. Appanah & JM Turnbull (Eds.), *A Review of Dipterocarps, Taxonomy, Ecology and Silviculture* (pp. 45–56). Bogor: CIFOR.
- Bitterlich, W. (n.d.). *The Spiegel-Relascop [manual]* (1 st). Salzburg-Austria.
- Blujdea, V. N. B., Pilli, R., Dutca, I., Ciuvat, L., & Abrudan, I. V. (2012). Allometric biomass equations for young broadleaved trees in plantations in Romania. *Forest Ecology and Management*, 264, 172–184.  
<http://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.09.042>
- Brandeis, T. J., Delaney, M., Parresol, B. R., & Royer, L. (2006). Development of equations for predicting Puerto Rican subtropical dry forest biomass and volume. *Forest Ecology and Management*, 233(1), 133–142.  
<http://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.06.012>
- Brassard, B. W., Chen, H. Y. H., Bergeron, Y., & Paré, D. (2011). Coarse root biomass allometric equations for *Abies balsamea*, *Picea mariana*, *Pinus banksiana*, and *Populus tremuloides* in the boreal forest of Ontario, Canada. *Biomass and Bioenergy*, 35(10), 4189–4196.  
<http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.06.045>
- Brooks, J. R., Jiang, L., & Özçelik, R. (2008). Compatible stem volume and taper equations for Brutian pine, Cedar of Lebanon, and Cilicica fir in Turkey. *Forest Ecology and Management*, 256(1–2), 147–151.  
<http://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.04.018>
- Fayolle, A., Doucet, J. L., Gillet, J. F., Bourland, N., & Lejeune, P. (2013). Tree allometry in Central Africa: Testing the validity of pantropical multi-species allometric equations for estimating biomass and carbon stocks. *Forest Ecology and Management*, 305, 29–37.  
<http://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.036>
- Giday, K., Eshete, G., Barklund, P., Aertsen, W., & Muys, B. (2013). Wood biomass functions for *Acacia abyssinica* trees and shrubs and implications for provision of ecosystem services in a community managed enclosure in Tigray, Ethiopia. *Journal of Arid Environments*, 94, 80–86.
- Graza, A. A. (1989). *Econometric Model Selection: A New Approach*. (J. P. Ancot, A. J. H. Hallet, F. G. Adams, P. Balestra, M. G. Dagenais, D. Kendrick, ... W. Welfe, Eds.) (1st ed.). Kluwer Academic Publishers.
- Hayne, K. (1987). *Tumbuhan Berguna Indonesia* (III). Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Departemen Kehutanan.
- Herbagung, & Krisnawati, H. (2009). Model taper batang tanaman *Khaya anthotheca* C.Dc. di Hutan Penelitian Pasir Hantap, Sukabumi, Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, VI(1), 13–24.
- Hilwan, I., Setiadi, Y., & Rachman, H. (2013). Evaluasi pertumbuhan beberapa jenis dipterokarpa di areal revegetasi PT. Kitadin, Kalimantan Timur. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 4(2), 108–112.
- Huang, S., Yang, Y., & Wang, Y. (2003). A Critical Look at procedures for validating growth and yield models. in A. Amaro, D. Reed, & P. Soares (eds.), *Modelling Forest System* (1st ed., p. 416). CABI Publishing.  
<http://doi.org/10.1093/forestry/cpi037>
- Hunter, J. T. (2015). Changes in allometric attributes and biomass of forests and woodlands across an altitudinal and rainfall gradient: What are the implications of increasing seasonality due to anthropogenic climate change?. *International Journal of Ecology*, 2015, 1–10.  
<http://doi.org/10.1155/2015/208975>
- Husch, B. (1963). *Forest Mensuration and Statistics*. New York: The Ronald Press Company.
- Husch, B., Beers, T. W., & Kershaw, J. (2002). *Forest Mensuration* (Fourth). New Jersey: Jhon Wiley and Sons, Inc. Hoboken.
- Istomo, & Farida, N. E. (2017). Potensi simpanan karbon di atas permukaan tanah tegakan *Acacia nilotica* L . ( Willd ) ex . Del . di Taman Nasional Baluran , Jawa Timur. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 7(2), 155–162.  
<http://doi.org/10.19081/jpsl.2017.7.2.155>
- Jagodziński, A. M., Dyderski, M. K., Gęsikiewicz, K., Horodecki, P., Cysewska, A., Wierczyńska, S., & Maciejczyk, K. (2018). How do tree stand parameters affect young Scots pine biomass? – Allometric equations and biomass conversion and expansion factors. *Forest Ecology and Management*, 409(October 2017), 74–83.  
<http://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.11.001>
- Juliantari, F. (2013). *Angka Bentuk dan Model Volume Puspas (Schima wallichii (DC.) Korth) di Hutan Pendidikan Gunung Walat*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Krisnawati, H. (2016). A Compatible estimation model of stem volume and taper for *Acacia mangium* Willd . plantations. *Indonesia Journal of Forestry Research*, 3(1), 49–64.

- Kuswandi, R. (2016). Model Penduga Volume Pohon Kelompok Jenis Komersial Pada Wilayah Kabupaten Sarmi, Papua Timber Volume Estimation Model for Merchantable Tree Species in Sarmi Regency, Papua, 91–96.  
<http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.03.001>
- Laar, A. Van, & A. Akca. (1997). *Forest Mensuration*. Göttingen.: Cuvillier Verlag.
- Lima, A. J. N., Suwa, R., De Mello Ribeiro, G. H. P., Kajimoto, T., Dos Santos, J., Da Silva, R. P., ... Higuchi, N. (2012). Allometric models for estimating above- and below-ground biomass in Amazonian forests at Sao Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 277, 163–172.  
<http://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.04.028>
- Manuri, S., Brack, C., Nugroho, N. P., Hergoualc'h, K., Novita, N., Dotzauer, H., ... Widyasari, E. (2014). Tree biomass equations for tropical peat swamp forest ecosystems in Indonesia. *Forest Ecology and Management*, 334, 241–253.  
<http://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.08.031>
- Maulana, S. I. (2014). Allometric equations for estimating above-ground biomass in Papua Tropical Forest. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 1(2), 77–88.  
<http://doi.org/10.20886/ijfr.2014.1.2.77-88>
- Maulana, S. I., & Pandu, P. J. (2011). Pendugaan total biomassa atas tanah pada Genera Pometia di Kawasan Hutan Tropis Papua. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan Penelitian Sosial Dan Ekonomi Kehutanan*, 8(4), 288–298.
- Maulana, S. I., Wibisono, Y., & Utomo, S. (2016). Development of local allometric equation to estimate total aboveground biomass in Papua. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 3(2), 107–118.  
<http://doi.org/DOI>  
<http://dx.doi.org/10.20886/ijfr.2016.3.2.107-118>
- 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(7), 761–770.  
<http://doi.org/10.1007/s13595-014-0372-6>
- Mugasha, W. A., Eid, T., Bollandas, O. M., Malimbwi, R. E., Chamshama, S. A. O., Zahabu, E., & Katani, J. Z. (2013). Allometric models for prediction of above- and belowground biomass of trees in the miombo woodlands of Tanzania. *Forest Ecology and Management*, 310, 87–101.  
<http://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.003>
- Naiem, M., Widyatno, & Al-Fauzi, M. Z. (2014). Progeny test of *Shorea leprosula* as key point to increase productivity of secondary forest in PT Balik Papan Forest Industries, East Kalimantan, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 816–822.  
<http://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.099>
- Naito, Y., Kanzaki, M., Iwata, H., Obayashi, K., Lee, S. L., Muhammad, N., ... Tsumura, Y. (2008). Density-dependent selfing and its effects on seed performance in a tropical canopy tree species, *Shorea acuminata* (Dipterocarpaceae). *Forest Ecology and Management*, 256(3), 375–383.  
<http://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.04.031>
- Ngomanda, A., Engone Obiang, N. L., Lebamba, J., Moundounga Mavouroulou, Q., Gomat, H., Mankou, G. S., ... Picard, N. (2014). Site-specific versus pantropical allometric equations: Which option to estimate the biomass of a moist central African forest? *Forest Ecology and Management*, 312, 1–9.  
<http://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.10.029>
- Nugroho, N. P. (2014). Developing Site-Specific Allometric Equations for above-ground biomass estimation in peat swamp forests of Rokan Hilir District, Riau Province, Indonesia. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 1(1), 47–66.  
<http://doi.org/10.20886/ijfr.2014.1.1.47-65>
- Puspitasari, D. (2015). *Angka Bentuk dan Model Volume Kayu Afrika (Maesopsis eminii Engl) di Hutan Pendidikan Gunung Walat, Sukabumi, Jawa Barat*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Qirom, M. A., & Lazuardi, D. (2007). Model persamaan linear untuk penduga volume pohon hutan tanaman jenis Mangium di Kalimantan Selatan. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 4(3), 119–138.
- Qirom, M. A., & Supriyadi. (2012a). *Evaluasi dan Penyusunan Model Prediksi Pertumbuhan dan Hasil Jenis Jelutung Rawa dan Nyawai*. Banjarbaru.
- Qirom, M. A., & Supriyadi. (2012b). 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.
- Sahuri. (2017). Model pendugaan volume pohon karet saat peremajaan di Sembawa, Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 14(2), 129–143.
- Sharma, M., Oderwald, R. G., & Amateis, R. L. (2002). A consistent system of equations for tree and stand volume. *Forest Ecology and Management*, 165(1–3), 183–191.  
[http://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00616-8](http://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00616-8)
- 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.
- Siregar, C. A., & Dharmawan, I. W. S. (2011). Stok karbon tegakan hutan alam dipterokarpa di pt. sarpatim, kalimantan tengah. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 8(4), 337–348.
- 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.  
<http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.10.006>

- Suchomel, C., Pyttel, P., Becker, G., & Bauhus, J. (2012). Biomass equations for sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) and hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in aged coppiced forests in southwest Germany. *Biomass and Bioenergy*, 46(0), 722–730. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.06.021>
- 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.
- Susila, I. W. W. (2012). Model dugaan volume dan riap tegakan jati (*Tectona grandis* L.F) di Nusa Penida, Klungkung Bali. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 9(3), 165–178.
- Sutaryo, D. (2009). *Penghitungan Biomassa: Sebuah pengantar untuk studi karbon dan perdagangan karbon*. Bogor: Wetland International Indonesia Programme.
- Tewari, V. P., & Singh, B. (2006). Total and merchantable wood volume equations for Eucalyptus hybrid trees in Gujarat State, India. *Arid Land Research and Management*, 20(2), 147–159. <http://doi.org/Doi10.1080/15324980500546015>
- Tewari, V. P., & Singh, B. (2008). Potential density and basal area prediction equations for unthinned Eucalyptus hybrid plantations in the Gujarat state of India. *Bioresource Technology*, 99(6), 1642–1649. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.04.004>
- Turjaman, M., Santoso, E., Susanto, A., Gaman, S., Limin, S. H., Tamai, Y., ... Tawaraya, K. (2011). Ectomycorrhizal fungi promote growth of Shorea balangeran in degraded peat swamp forests. *Wetlands Ecology and Management*, 19(4), 331–339. <http://doi.org/10.1007/s11273-011-9219-1>
- Turski, M., Beker, C., Kazmierczak, K., & Najgrakowski, T. (2008). Allometric equations for estimating the mass and volume of fresh assimilational apparatus of standing scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees. *Forest Ecology and Management*, 255(7), 2678–2687. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.01.028>
- Ubuy, M. H., Eid, T., Bollandsås, O. M., & Birhane, E. (2018). Above ground biomass models for trees and shrubs of exclosures in the drylands of Tigray, northern Ethiopia. *Journal of Arid Environments*, 156(February), 9–18. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.05.007>
- Widyasari, N. A. E. K., Saharjo, B. H., Solichin, & Istomo. (2010). Pendugaan biomassa dan potensi karbon terikat di atas permukaan tanah pada hutan rawa gambut di su. *Ilmu Pertanian Indonesia*, 15(1), 41–49.
- Yuniati, D., & Kurniawan, H. (2013). Pendugaan simpanan karbon dalam mendukung upaya konservasi savana *Corypha utan* (Biomass and carbon allometric equation for estimating carbon stock to support *Corypha utan* savanna conservation). *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 10(2), 75–84.
- Zewdie, M., Olsson, M., & Verwijst, T. (2009). Above-ground biomass production and allometric relations of *Eucalyptus globulus* Labill. coppice plantations along a chronosequence in the central highlands of Ethiopia. *Biomass and Bioenergy*, 33(3), 421–428. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.007>