

**MODEL VOLUME KELOMPOK JENIS POHON PADA HUTAN RAWA GAMBUT DI
IUPHHK PT. TINGANG KARYA MANDIRI,
KALIMANTAN TENGAH**

***THE VOLUME MODEL OF TREE SPECIES GROUP IN PEAT SWAMP FOREST AT
LOGGING CONCESSION AREA OF TINGANG KARYA MANDIRI, CENTRAL KALIMANTAN***

Muhammad Abdul Qirom dan Acep Akbar

Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Banjarbaru
Jl. Ahmad Yani Km 28,7 Banjarbaru, Kalimantan Selatan
Telp. (0511) 4707872; Email: Qirom.Litbanglkh@gmail.Com

Diterima: 5 November 2019; Direvisi: 30 Maret 2020; Disetujui: 16 Juni 2020

ABSTRAK

Hutan rawa gambut (HRG) tropika mempunyai keragaman jenis dan nilai yang tinggi termasuk nilai kayu. Penghitungan nilai kayu tersebut didekati dengan menghitung besarnya volume tegakan. Namun demikian, model volume di HRG tidak tersedia untuk setiap jenis dan kelompok jenis pada tempat tumbuh tertentu. Penelitian ini bertujuan mendapatkan model penduga volume pada kelompok jenis pohon pada hutan rawa gambut di Kalimantan Tengah. Penyusunan dan validasi model menggunakan pohon contoh sebanyak 120 pohon dari kelompok jenis dipterocarpaceae dan non-dipterocarpaceae. Pembagian pohon contoh tersebut yakni 70 % untuk penyusunan model dan 30 % untuk tahap validasi. Pendugaan volume menggunakan model linear dan non-linear. Pemilihan model terbaik menggunakan beberapa kriteria antara lain: koefisien determinasi, simpangan relatif ($SR < 8\%$) dan agregatif ($SA < 1\%$), bias dugaan (s dan RSE : *Root Square Errors*), AIC (*Akaike's Information Criteriation*) dan $NRMSE$ (*Normalized Root Mean Square Errors*). Hasil penelitian ini menunjukkan model dengan peubah diameter sangat baik untuk menduga volume pohon pada seluruh tingkatan yakni jenis, kelompok jenis dan keseluruhan jenis kecuali kelompok dipterocarpaceae. Model ini mempunyai koefisien determinasi yang tinggi ($R^2 > 95\%$). Model-model yang disusun memenuhi kriteria SA dan SR sehingga model-model tersebut sangat akurat dalam menduga volume pohon pada tingkat pohon sebagai individu dan tegakan. Implikasi dari penelitian ini bahwa model keseluruhan jenis dapat digunakan untuk pendugaan volume pohon di hutan rawa gambut.

Kata kunci: akurasi, kayu, non-linear, validasi

ABSTRACT

*Tropical peat swamp forest (PSF) has a high species diversity and value including timber value. The valuation of timber is approached by calculating the stand volume. However, the volume model at PSF is not available for every species and species groups in specific site. This study aims to obtain a volume estimation model of species groups of tree species in peat swamp forest in Central Kalimantan. The model development and validation used 120 sample trees of the dipterocarpaceae and non-dipterocarpaceae species. The distribution of sample trees is 70 % for the development model and 30 % for the validation stage. Modeling used linear and non-linear models. The selection of the best model used several criteria including: coefficient of determination, relative deviation ($SR < 8\%$) and aggregation ($SA < 1\%$), presumptive bias (s and RSE : *Root Square Errors*), AIC (*Akaike's Information criteriation*), and $NRMSE$ (*Normalized Root Mean Square Errors*). The results of this study indicated the Berkhout/diameter model as a single variable was very good in estimating the volume of trees at all levels namely species groups and all species except dipterocarpaceae groups. This model had a high coefficient of determination ($R^2 > 95\%$). The models compiled met the SA and SR criteria so that the models were very accurate in estimating tree volume at the tree level, as individuals and stands. The implication of this research was that the whole species model can be used to estimate the volume of trees in peat swamp forest.*

Keywords: accuracy, timber, non-linear, validation

PENDAHULUAN

Hutan gambut dunia seluas 441.025 km² dengan 11 % merupakan hutan rawa gambut (HRG) tropika (Rieley & Page, 2016). HRG Indonesia terluas di

dunia atau 46 % dari total luas HRG tropika dunia dengan luas 14,6 juta Hektar (Osaki *et al.*, 2016). HRG tersebut tersebar dari Pulau Sumatera 6,44 juta

ha (43 %), Kalimantan 4,78 juta ha (32 %), dan Papua 3,69 juta ha (25 %) (Osaki *et al.*, 2016).

Tipe hutan rawa gambut mempunyai kekayaan dan keragaman tumbuhan yang khas (Badan Restorasi Gambut (BRG), 2016). Keragaman jenis tersebut bervariasi antar tempat tumbuh (Mirmanto, 2010). Hasil penelitian Mirmanto, (2010) memperoleh sebanyak 133 jenis tumbuhan dengan areal penelitian seluas 2 Ha di HRG Sebangau. Hal ini didukung dari hasil studi yang lain menunjukkan bahwa keragaman jenis tumbuhan lebih dari 100 jenis (Page *et al.*, 1999). Keragaman jenis cenderung menurun. Hal ini berdasarkan hasil tahun 2019 di Taman Nasional Sebangau menemukan sebanyak 99 jenis dengan luas pengamatan 2,01 Ha (Kalima & Denny, 2019). Selain itu, penelitian pada HRG di Kalimantan Barat menunjukkan hasil yang serupa yakni pada HRG dengan minimum gangguan keragaman jenisnya mencapai 108 jenis pohon (Astiani, 2016). Jenis-jenis tersebut tersusun dari kelompok jenis dipterocarpaceae dan kelompok jenis lain yang mempunyai nilai ekonomi dan ekologi yang tinggi (Astiani, 2016; Kalima & Denny, 2019; Mirmanto, 2010; Page *et al.*, 1999). HRG mempunyai nilai ekonomi yang tinggi jika kayu-kayu dari kelompok jenis tersebut diambil langsung manfaatnya. Nilai kayu ini dapat dihitung dengan pendekatan nilai volume tegakan berdiri. Penghitungan volume tegakan berdiri dilakukan dengan menyusun/membangun model penduga volume yang bersifat spesifik baik jenis maupun tempat tumbuhnya.

Penyediaan model volume/biomassa yang bersifat umum dan berlaku luas menjadi tantangan yang sangat besar (Chave *et al.*, 2005; Chave *et al.*, 2014). Model-model penduga volume di hutan rawa gambut antara lain jenis *Shorea balangeran* (Qirom, 2018); *Dyera polyphylla* (Qirom & Supriyadi, 2012); dan biomassa kelompok jenis dipterocarpaceae (Manuri *et al.*, 2014). Namun demikian, model tersebut bersifat spesifik baik jenis dan tempat tumbuh sehingga model-model untuk

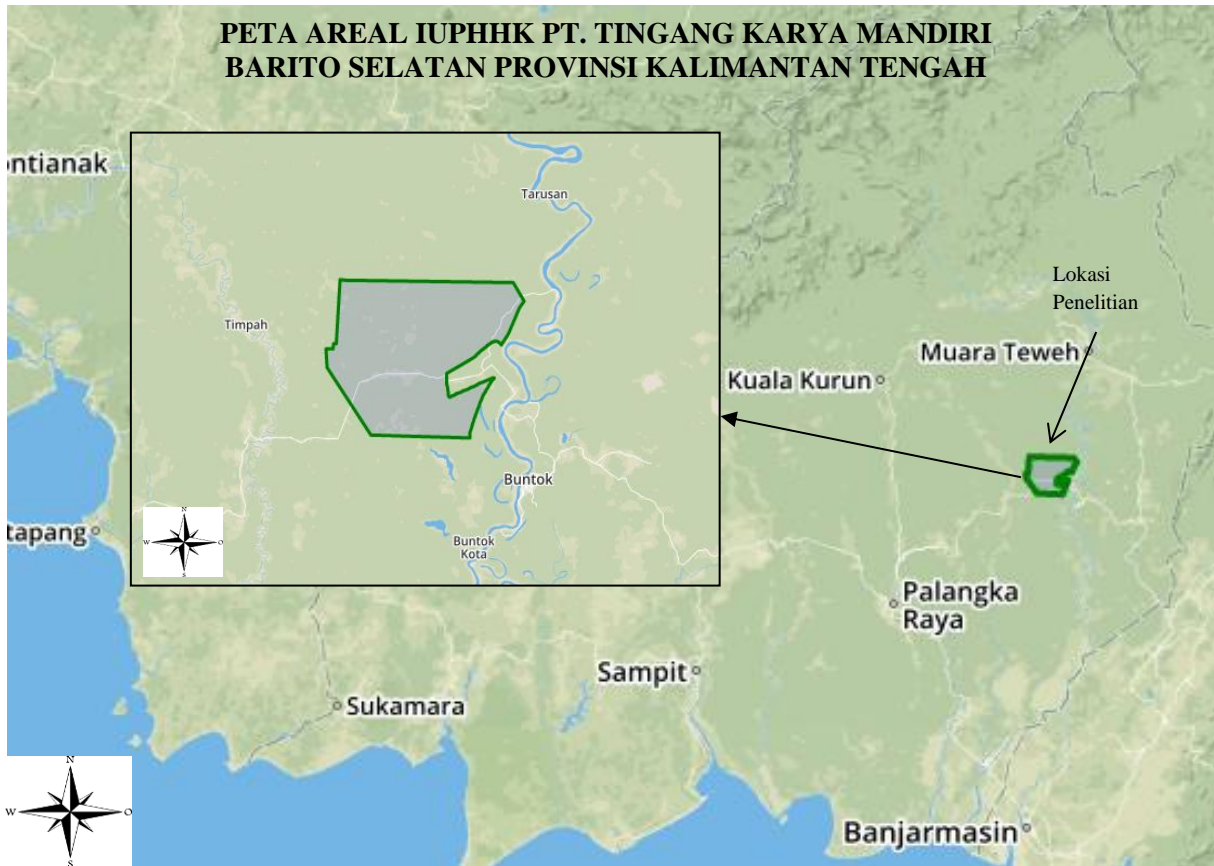
jenis-jenis lain di HRG masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan menyusun dan mendapatkan model volume kelompok jenis pohon pada hutan rawa gambut di Kalimantan Tengah. Pengelompokan jenis ini untuk memudahkan aplikasi model di lapangan. Pengelompokan tersebut sangat mungkin dilakukan dalam penyusunan model penduga volume maupun pendugaan biomassa pohon (Basuki *et al.*, 2009; Manuri *et al.*, 2014).

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan pada areal IUPHHK PT. Tingang Karya Mandiri di Kabupaten Barito Selatan Provinsi Kalimantan Tengah (Gambar 1). Secara administrasi pemerintahan termasuk Kecamatan Dusun Selatan, Barito Selatan. Secara geografis terletak pada 1°31'50.2"LS - 1°36'54.1"LS ; 114°43'12.1"BT - 114°46'57.0"BT. Kondisi topografi datar berawa bearada 2-10 meter dari permukaan laut. Jenis tanah menurut Puslitnah tahun 1993 adalah organosol, gleisol, aluvial, kombisol dan bercampur tanah podsol. Tingkat kematangannya termasuk organosol hemik (PPT, 1983). Kondisi hutan terdiri dari *Log over area* (LOA) dan sebagian virgin forest. Type iklim menurut Schmidt dan Ferguson termasuk type B (basah). Rata-rata curah hujan tahunan 2.265 mm dan bulanan 289,6 mm. Jumlah hari hujan 18,4 hari hujan, temperatur rata-rata adalah 26,1 °C dengan suhu maksimum 31,4 °C dan minimum 22,7 °C. Kelembaban rata-rata 85 %. Curah hujan relatif merata sepanjang tahun dengan bulan kering rata-rata antara Juni s/d September.

Areal ini merupakan areal hutan rawa gambut sekunder dengan diameter < 40 cm. Pada Areal pengusahaan tersebut didominasi oleh jenis meranti rawa (*Shorea teysmaniana*), keruing (*Dipterocarpus kerii*), resak Rawa (*Cotylelobium burckii*), pelawan (*Tristania* sp.), alau (*Dacridium pectinatum*), bintangur (*Calophyllum soulattri*), dan nyatoh (*Palaquium rostratum*).



Gambar 1. Lokasi areal IUPHHK PT. Tingang Karya Mandiri

Pengambilan data pohon

Pohon contoh yang diambil terdiri dari kelompok jenis Non-dipterocarpaceae: jenis nyatoh (*P. rostratum*), bintangur (*C. soulattri*), alau (*D. pectinatum*), dan kelompok jenis dipterocarpaceae: meranti rawa (*S. teysmaniana*), keruing (*D. kerii*), dan resak rawa (*C. burckii*). Pohon contoh yang diambil setiap jenis sebanyak 20 pohon sehingga setiap kelompok jenis terdapat 60 pohon dan 120

pohon untuk keseluruhan jenis. Pohon contoh tersebut dibedakan menjadi dua yakni tahap penyusunan dan validasi model. Penyusunan dan validasi model menggunakan data yang berbeda. Menurut Tewari & Singh (2006) pada tahap penyusunan model menggunakan 70 % dari data dan 30 % digunakan untuk validasi model (Tabel 1).

Tabel 1. Karakteristik pohon contoh dalam penyusunan dan validasi model model penduga volume pohon

Jenis	Parameter	Penyusunan Model					Validasi Model				
		Rataan	Min	Maks	s	n	Rataan	Min	Maks	s	n
Nyatoh <i>P. rostratum</i>	Diameter	12,2	5,6	24,5	5,5	20	10,5	7,5	15,4	3,5	6
	Tinggi	11,8	6,0	18	3,3		11,0	8,0	15,0	2,7	
	Volume	0,117	0,010	0,54	0,136		0,077	0,023	0,172	0,065	
Alau <i>D. pectinatum</i>	Diameter	15,8	7,0	31,8	7,3	20	18,7	9,8	31,8	8,0	6
	Tinggi	17,7	8,0	24,0	4,8		18,8	14,0	23,0	3,5	
	Volume	0,248	0,0190	0,9449	0,240		0,335	0,055	0,945	0,333	
Bintangur <i>C. soulattri</i>	Diameter	13,2	6,7	26,2	4,8	20	11,0	7,1	13,8	2,7	6
	Tinggi	15,0	9,8	22	2,7		13,5	9,8	15,0	2,4	
	Volume	0,1552	0,0265	0,6534	0,1431		0,097	0,030	0,171	0,052	
Keruing	Diameter	13,2	6,5	24,1	4,1	20	14,2	7,0	24,1	6,4	6

Jenis	Parameter	Penyusunan Model					Validasi Model				
		Rataan	Min	Maks	s	n	Rataan	Min	Maks	s	n
<i>D. kerii</i>	Tinggi	14,7	8,2	20,23	3,2		13,4	8,2	20,2	4,4	
	Volume	0,150	0,0228	0,4766	0,1067		0,179	0,030	0,477	0,168	
Resak	Diameter	14,5	6,3	28,5	6,3	20	18,1	6,7	28,5	7,9	6
<i>C. burckii</i>	Tinggi	13,7	9,3	20,6	2,8		14,4	9,4	20,6	4,2	
	Volume	0,20	0,0206	0,6911	0,1818		0,308	0,025	0,691	0,254	
Meranti	Diameter	14,0	7,3	29,2	5,5	20	15,9	8,1	22,2	5,5	6
Putih	Tinggi	16,3	8,2	20,9	3,3		17,4	10,3	20,9	4,0	
<i>S. teysmaniana</i>	Volume	0,2002	0,0227	0,8005	0,2034		0,270	0,036	0,604	0,227	
	Angka Bentuk	0,62	0,50	0,76	0,05		0,63	0,50	0,76	0,09	
Kelompok non-dipterocarpaceae	Diameter	13,9	5,6	27,0	6,0	42	13,4	7,1	31,8	6,3	18
	Tinggi	14,9	6,0	24,0	4,4		14,4	8,0	23,0	4,3	
	Volume	0,175	0,010	0,653	0,170		0,170	0,023	0,945	0,222	
Kelompok dipterocarpaceae	Diameter	13,0	6,3	29,2	4,5	42	16,1	6,7	28,5	6,5	18
	Tinggi	14,9	8,2	20,2	2,7		15,1	8,2	20,9	4,3	
	Volume	0,152	0,021	0,801	0,136		0,252	0,025	0,691	0,213	
Keseluruhan jenis	Diameter	13,4	5,6	29,2	5,3	84	14,7	6,7	31,8	6,4	36
	Tinggi	14,9	6,0	24,0	3,7		14,7	8,0	23,0	4,3	
	Volume	0,163	0,010	0,801	0,154		0,211	0,023	0,945	0,219	

Keterangan: Min: nilai minimum, Max: nilai Maksimum, s: standard deviasi, n: jumlah pohon

Pohon-pohon contoh dilakukan penebangan sampai dengan tinggi tunggak < 10 cm dari atas tanah. Karakteristik masing-masing jenis yang ditebang dengan diameter antara 5,6 cm – 31,8 cm dan tinggi pohon antara 6,0 m – 24,0 m (Tabel 1). Syarat pohon terpilih antara lain: sehat, lurus, tidak menggarpu, dan tidak mengumpul pada satu kelas diameter (Subedi & Sharma, 2012). Pengukuran pohon contoh meliputi:

- 1) Pengukuran diameter: pengukuran diameter setinggi dada (1,3 m) atau 20 cm di atas permukaan tanah (Hutapea & Kuswandi, 2019). Pengukuran diameter menggunakan pita ukur diameter dan pengukuran dilakukan sebelum penebangan pohon.
- 2) Pengukuran tinggi pohon dilakukan sebelum dan sesudah pohon ditebang. Pada saat pohon berdiri, pengukuran tinggi pohon menggunakan Haga meter dan menggunakan meteran 50 m pada saat pohon rebah. Tinggi pohon yang diukur yakni tinggi total.
- 3) Pengukuran diameter setiap sortimen dilakukan setelah pohon ditebang. Panjang sortimen yakni 2 meter dan tergantung dari tinggi pohon sampai dengan batas diameter terkecil yakni 5 cm. Pada setiap sortimen, pengukuran diameter

dilakukan dua kali yakni diameter ujung dan pangkal dari sortimen.

Pengolahan dan Analisis Data
Pengolahan Data

Volume pohon ditentukan dengan rumus Smalian. Penentuan volume pohon total sampai dengan ujung batang dengan diameter minimal 5 cm. Penentuan volume pohon merupakan penjumlahan/akumulasi dari perhitungan pohon setiap seksi (sortimen) dengan panjang 2 meter. Volume pohon per seksi dan volume pohon total dirumuskan Husch 1963 dalam (Husch et al., 2002):

$$V_s = \frac{Bu + Bp}{2} \times L$$

$$V = \sum V_s$$

keterangan: V: volume aktual per pohon (m³); V_s: Volume per seksi (m³); Bu: luas bidang dasar ujung (m²); Bp: luas bidang dasar pangkal (m²); L: panjang sortimen (m).

Analisis Data

Penyusunan Model Penduga Volume Pohon

Model penduga volume pohon yang disusun terdiri dari dua model utama yakni hubungan volume dengan diameter dan hubungan volume dengan diameter dan tinggi (Magnussen *et al.*, 2020). Pendekatan ini juga digunakan dalam penyusunan

model penduga biomasa pohon di hutan rawa gambut Kalimantan Tengah (Manuri *et al.*, 2014). Menurut Picard *et al.*, (2012) bentuk model penduga volume dapat berupa transformasi model linear. Hal ini dilakukan untuk memenuhi asumsi kehomogenan ragam sisaan (*homocedasticity*) sehingga model penduga volume yang digunakan antara lain:

- $\ln(V) = a_0 + a_1 \ln(D)$ (1)(Manuri *et al.*, 2014; Picard *et al.*, 2012)
- $\ln(V) = a_0 + a_1 \ln(D) + a_2 [\ln(D)]^2 + a_3 [\ln(D)]^3$ (2) (Picard *et al.*, 2012)
- $V = a_0 D^{a_1}$ (3) (Picard *et al.*, 2012)
- $V = a * \exp(bD)$ (4) (Suchomel, Pyttel, Becker, & Bauhus, 2012)
- $\ln(V) = a_0 + a_1 \ln(D^2H)$ (5) (Picard *et al.*, 2012)
- $\ln(V) = a_0 + a_1 \ln(D) + a_2 \ln(H)$ (6) (Manuri *et al.*, 2014; Picard *et al.*, 2012)
- $V = a_0 (D^2H)^{a_1}$ (7) (Hosoda & Iehara, 2010; Picard *et al.*, 2012)
- $V = a_0 * (D^{a_1}) * (H^{a_2})$ (8) (Boreel & Siahaya, 2010; Dutcă *et al.*, 2018; Hutapea & Kuswandi, 2019; Kalita *et al.*, 2015; Masota *et al.*, 2014; Qirom, 2018)

Keterangan V: volume (m³); D: diameter setinggi dada (cm); H; tinggi pohon (m); a₀, a₁, a₂, a₃: parameter/kofisien regresi.

Pendugaan parameter model menggunakan metode kuadrat terkecil (*Ordinary Least Square*) dengan bantuan software NCSS 2000 and PASS 2000.

Pemilihan Model

Pemilihan model dilakukan dengan kriteria antara lain: koefisien determinasi (R²), koefisien determinasi terkoreksi (R²_{adj}). Parameter ini menggambarkan sejauhmana keragaman peubah tidak bebas dapat dijelaskan oleh keragaman peubah tidak bebasnya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai koefisien determinasi maka model penduga volume pohon yang disusun semakin baik. Besarnya pengaruh dari penambahan parameter kedalam model diukur dengan mennghitung selisih antara model satu peubah bebas dengan model dua peubah bebas.

Pemilihan model menggunakan kriteria uji-t. Uji ini menentukan signifikansi dari peubah-peubah bebas penyusun model. Model terpilih yakni model yang peubah bebasnya mempunyai t_{hitung} > t_{tabel}. Uji-t

dirumuskan sebagai berikut $t_{hitung} = \frac{b}{Sb}$ dimana b: koefisien regresi, Sb: standar error. Selain uji parsial,

model yang terpilih harus memenuhi uji keberartian model. Uji ini bertujuan mengetahui apakah variabel bebas secara bersama-sama berpengaruh signifikan terhadap variabel tidak bebasnya. Uji ini

menggunakan uji-F yang dirumuskan: $F_{hitung} = \frac{KTr}{KTS}$

dimana KTr: nilai kuadrat tengah regresi/model, KTs: kuadrat tengah sisa/galat. Kriteria pemilihan model yang lain yakni standar error. Kriteria ini mengandung arti bahwa semakin kecil nilai standar errornya maka model volume semakin baik.

Evaluasi Model

Evaluasi model dilakukan pada model-model yang terpilih pada tahap sebelumnya. Pada dasarnya, evaluasi dilakukan dengan membandingkan volume dugaan dengan volume sebenarnya. Model terpilih ditentukan berdasarkan kriteria: simpangan relatif (SR) dan agregatif (SA). Validasi ini menggunakan data yang terpisah dari data yang digunakan pada tahap penyusunan model pada kelompok dan seluruh jenis menggunakan kelompok data yang terpisah pada fase penyusunan model. Menurut Husch *et al.*, (2002) model terpilih jika SA ≤ 1 % dan SR ≤ 8 % yang dirumuskan:

$$SA = \frac{\sum V_{obs} - \sum V_{est}}{\sum V_{est}} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{Husch et al., 2002; Manyanda et al., 2020})$$

$$SR = \frac{\sum \left| \frac{V_{obs-i} - V_{est-i}}{V_{est-i}} \right|}{N} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{Husch et al., 2002; Manyanda et al., 2020})$$

Model terbaik yakni model dengan selisih dugaan yang paling kecil atau mempunyai ketepatan dan keakuratan yang tinggi (Krisnawati, 2016). Evaluasi ini bertujuan mendapatkan besarnya kesalahan sistematis dan pengukuran/tingkat akurasi dari model (Chave et al., 2014), dan mengetahui kualitas relatif dari model model-model yang dibandingkan. Evaluasi model dilakukan dengan beberapa kriteria antara lain bias (Chave et al., 2014;

Manyanda et al., 2020; Mugasha et al., 2013), *Root Square Errors/RSE*, dan AIC (Chave et al., 2014; Dutcã et al., 2018; Guedes et al., 2018; Manyanda et al., 2020; Mugasha et al., 2016). Pengukuran akurasi model menggunakan kriteria *Normalized Root Mean Square Error (NMRSE)* (Taebi & Mansy, 2017; Tang et al., 2015). Kriteria evaluasi dari keempat parameter statistik tersebut yakni bias, RSE, AIC terkecil (Chave et al., 2014) dan NMRSE terkecil (Taebi & Mansy, 2017).

$$Bias = \frac{\sum(V_{obs}) - \sum(V_{est})}{\sum V_{obs}} \dots\dots\dots (\text{Chave et al., 2014; Adekunle et al., 2013})$$

$$RSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [V_{est-i} - V_{obs-i}]^2}{n-1}} \dots\dots\dots (\text{Aigbe et al., 2012; Chave et al., 2014; Manyanda et al., 2020; Mugasha et al., 2016})$$

$$AIC = 2k - 2 \ln(L) \dots\dots\dots (\text{Chave et al., 2014; Dutcã et al., 2018; Guedes et al., 2018; Manyanda et al., 2020; Mugasha et al., 2016; Burnham & Anderson, 2002})$$

$$NMRSE = \frac{RMSE}{V_{obs}} \dots\dots\dots (\text{Taebi & Mansy, 2017; Tang et al., 2015})$$

$$\text{dengan } RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((V_{est-i} - V_{obs-i}) / V_{obs-i})^2}{n}} \dots\dots (\text{Taebi & Mansy, 2017})$$

Keterangan: SA: Simpangan agregatif (%); SR: simpangan relatif (%), RSE: *Root Square Errors* (m³); AIC: Akaike's Information criterion; V_{est-i}: hasil dugaan volume pohon ke-i (m³); V_{obs-i}: Volume pohon sebenarnya/aktual (m³); n: jumlah pohon contoh; k; jumlah parameter model; L: perkiraan nilai parameter dengan metode maximum likelihood.

HASIL DAN PEMBAHASAN
Hubungan Diameter, Tinggi dengan Volume Pohon Beberapa Jenis Pohon

Secara keseluruhan hubungan diameter dengan volume pohon untuk setiap jenis, kelompok jenis, dan keseluruh jenis sangat erat. Hal ini ditunjukkan oleh besarnya nilai koefisien korelasi lebih dari 0,9 (Tabel 1, dan Gambar 1). Umumnya, koefisien korelasi tersebut lebih tinggi jika dibandingkan pendugaan volume pohon menggunakan metode

tidak langsung/tidak ditebang yang dilakukan di hutan rawa gambut Kalimantan Tengah (Qirom, 2018; Qirom & Supriyadi, 2012, 2013). Menurut Picard et al. (2012) perbedaan tersebut karena arsitektur setiap jenis pohon berbeda-beda. Penggunaan metode tidak langsung tersebut mempunyai koefisien korelasi 0,8 – 0,9. Besarnya koefisien korelasi tersebut mempunyai nilai yang hampir sama dengan hasil penelitian dari Adekunle et al., (2013); Hutapea & Kuswandi,

(2019); dan Kuswandi, (2016). Koefisien korelasi tersebut menggambarkan bahwa diameter dengan

volume mempunyai hubungan yang sangat erat (Armecin & Coseco, 2012).

Tabel 2. Koefisien korelasi antar variabel pada masing-masing jenis dan kelompok jenis

No	Jenis	Variabel	Koefisien korelasi		
			Diameter (cm)	Tinggi (m)	Volume (m ³)
1.	Nyatoh <i>Palaquium rostratum</i>	Diameter (cm)	-	0,92	0,92
		Tinggi (m)	-	-	0,87
		Volume (m ³)	-	-	-
2.	Alau <i>Dacrydium pectinatum</i>	Diameter (cm)	-	0,53	0,96
		Tinggi (m)	-	-	0,71
		Volume (m ³)	-	-	-
3.	Bintangur <i>Calophyllum soulattri</i>	Diameter (cm)	-	0,54	0,95
		Tinggi (m)	-	-	0,80
		Volume (m ³)	-	-	-
4.	Keruing <i>Dipterocarpus kerii</i>	Diameter (cm)	-	0,71	0,96
		Tinggi (m)	-	-	0,75
		Volume (m ³)	-	-	-
5.	Resak <i>Cotylelobium burckii</i>	Diameter (cm)	-	0,75	0,97
		Tinggi (m)	-	-	0,69
		Volume (m ³)	-	-	-
6.	Meranti Putih <i>Shorea teysmaniana</i>	Diameter (cm)	-	0,82	0,96
		Tinggi (m)	-	-	0,73
		Volume (m ³)	-	-	-
7.	Kelompok non dipterocarpaceae	Diameter (cm)	-	0,84	0,95
		Tinggi (m)	-	-	0,66
		Volume (m ³)	-	-	-
8.	Kelompok dipterocarpaceae	Diameter (cm)	-	0,66	0,95
		Tinggi (m)	-	-	0,63
		Volume (m ³)	-	0,63	-
9.	Keseluruhan jenis	Diameter (cm)	-	0,78	0,95
		Tinggi (m)	-	-	0,75
		Volume (m ³)	-	-	-

Hubungan yang sangat erat tersebut mengindikasikan bahwa model penduga volume dengan diameter sebagai variabel tunggal akan memperoleh dugaan yang mempunyai akurasi yang tinggi. Hal ini karena keragaman dari volume dapat dijelaskan dengan baik oleh keragaman diameter pohon (Tabel 2). Berdasarkan beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan tinggi tidak secara signifikan menaikkan akurasi dari model.

Penambahan tinggi kedalam model penduga volume pohon meningkatkan nilai koefisien determinasi untuk kelompok jenis atau jenis (Manuri *et al.*, 2014). Namun demikian, besarnya kenaikan koefisien determinasi rata-rata sangat kecil, model penduga volume Jenis Balangeran dengan penambahan peubah tinggi meningkatkan R² sebesar

6,54 % (Qirom, 2018). Penelitian lain juga memperoleh hasil yang hampir sama. Manuri *et al.* (2016) menyusun model penduga biomasa untuk jenis dipterocarpaceae di Kalimantan Timur. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan tinggi ke dalam model penduga volume meningkatkan koefisien determinasi < 1 %. Penelitian lain juga menunjukkan hasil yang sama, koefisien determinasi mengalami peningkatan hanya sebesar 0,7 % untuk model penduga biomasa pada hutan rawa gambut (Manuri *et al.*, 2014). Hasil penelitian Adekunle *et al.* (2013) memperoleh peningkatan R² hanya sebesar 1,5 % terhadap model dengan peubah diameter di *District Bahraich*, India. Hal ini sesuai dengan pendapat Abbot *et al.* (1997) yang menyatakan bahwa hasil dugaan volume berdasarkan tinggi sebagai peubah bebas mempunyai

akurasi yang lebih rendah dibandingkan dengan peubah diameter.

Namun demikian, penentuan penggunaan parameter regresi (model) juga memperhatikan korelasi antar peubah bebas yang lain. Koefisien korelasi antara diameter dengan tinggi mempunyai korelasi yang rendah dengan $r < 0,707$ pada kelompok jenis dipterocarpaceae sehingga penyusunan model volume menggunakan tinggi sebagai peubah bebasnya. Selain pertimbangan besarnya koefisien korelasi, penentuan parameter/peubah tersebut berdasarkan uji parsial dari masing-masing peubah bebas terhadap peubah tidak bebasnya (Tabel 3).

Model Penduga Volume Pohon

Secara umum, model penduga volume yang disusun mempunyai koefisien determinasi dan koefisien determinasi terkoreksi $>90\%$ (Tabel 3) kecuali pada model 4. Koefisien determinasi terkoreksi tersebut digunakan dalam membandingkan model dengan peubah bebas yang berbeda. Besarnya koefisien determinasi tersebut menunjukkan bahwa peubah bebasnya mampu menjelaskan keragaman peubah tidak bebasnya baik diameter sebagai peubah tunggal atau kombinasi diameter dengan tinggi pohon. Hal ini sangat logis karena koefisien korelasi antara diameter dengan volume pohon sangat erat (Tabel 3).

Tabel 3. Model volume kelompok jenis pohon rawa gambut

Kelompok jenis	Model	Koefisien regresi				R ² (%)	R ² adj (%)	F _{hit}	Se m ³
		a ₀	a ₁	a ₂	a ₃				
Diptero- carpaceae	1.	-8,398596 (-50,78)	2,468800 (37,74)			97,3	97,2	1424,86	0,01898
	2.	-11,004870 (-1,98)	4,871866 (0,74)	-0,6492 (-0,25)	0,0442 (0,13)	97,6	97,4	511,92	0,01678
	3.	0,000444 (0,18)	2,220425 (51,47)			98,1	98,0	2039,02	0,00035
	4.	0,03088649 (12,40)	0,1131538 (31,97)			94,2	94,0	684,74	0,00106
	5.	-10,026950 (-63,61)	1,015965 (49,86)			98,4	98,4	2486,06	0,01101
	6.	-9,583997 (-43,78)	2,175863 (33,45)	0,7161 (6,40)		98,7	98,6	1445,68	0,00925
	7.	0,000074 (0,16)	0,954143 (70,65)			98,9	98,9	3774,28	0,00019
	8.	0,00013 (5,07)	2,01074 (51,56)	0,64883 (7,21)		99,2	99,1	4723,06	0,01898
Non- diptero carpaceae	1.	-8,398596 (-43,93)	2,4688 (32,7)			97,3	97,2	1070,72	0,04305
	2.	-11,00487 (-2,14)	4,871866 (1,11)	-0,649199 (-0,72)	0,044246 (0,64)	97,6	97,4	368,09	0,03977
	3.	0,00035169 (2,75)	2,27381 (19,58)			94,2	94,1	695,24	0,00163
	4.	0,000450 (1,03)	0,276112 (5,19)			40,4	38,93	67,13	0,01683
	5.	-10,02695 (-54,10)	1,015965 (41,75)			98,4	98,4	1742,77	0,02682
	6.	-9,583997 (-39,73)	2,175863 (17,5)	0,7161338 (4,99)		98,7	98,6	868,26	0,02626
	7.	0,00015770 (2,40)	0,8530715 (18,99)			93,6	93,4	620,68	0,00182
	8.	0,000240 (2,40)	2,075640 (13,70)	0,333443 (1,81)		94,7	94,5	741,59	0,00149
Seluruh kelompok	1.	-8,40163 (-63,20)	2,44716 (46,96)			96,4	96,4	2205,66	0,03359
	2.	-13,90550 (-3,20)	8,25997 (1,57)	-1,95691 (-0,94)	0,20871 (0,77)	96,9	96,7	819,36	0,02954
	3.	0,00042 (5,63)	2,22540 (38,8)			95,5	95,5	1840,45	0,00104

Kelompok jenis	Model	Koefisien regresi				R ² (%)	R ² adj (%)	F _{hit}	Se m ³
		a ₀	a ₁	a ₂	a ₃				
	4.	0,000371 (-1,51)	0,269690 (6,00)			7,2	6,03	88,41	0,02161
	5.	-9,65471 (-78,66)	0,96250 (60,98)			97,8	97,8	3719,05	0,02022
	6.	-9,42538 (-56,68)	2,04094 (31,07)	0,76711 (7,76)		97,9	97,9	1929,72	0,01926
	7.	0,00013 (4,28)	0,87686 (34,43)			94,3	94,3	1448,06	0,00132
	8.	0,000278 (4,10)	2,087648 (28,33)	0,2843216 (2,59)		95,9	95,8	1958,70	0,00096

Keterangan a_{0,1,2,3}: koefisien regresi, angka dalam kurung adalah nilai t_{hitung}; t_{tabel}: 1,99 (seluruh jenis) ; 2,02 (dipterocarpaceae dan non-dipterocarpaceae), R²; R²adj : koefisien determinasi dan determinasi terkoreksi, F_{tabel}: 3,96 (seluruh jenis) ; 4,08 (dipterocarpaceae dan non-dipterocarpaceae), Se: standar error.

Pada tahap pemilihan model, model yang disusun memenuhi kriteria keberartian model, namun model 2 tidak memenuhi kriteria uji-t (Tabel 3) sehingga model ini dihilangkan dari proses evaluasi model terbaik. Model yang disusun mempunyai akurasi dugaan yang tinggi. Hal ini karena seluruh model volume mempunyai standar error yang kecil (Tabel 3).

Pada tahap evaluasi model, model yang dievaluasi sebagai model terbaik sebanyak 7 model (Tabel 4). Berdasarkan Tabel 4 sebagian besar model

tidak memenuhi kriteria simpangan agregatif (SA) sehingga model tersebut tidak dipilih sebagai calon model terbaik. Pada masing-masing kelompok jenis, calon model terbaik berbeda-beda. Pada kelompok jenis non-dipterocarpaceae dan keseluruhan jenis menggunakan peubah diameter sedangkan pada kelompok jenis dipterocarpaceae menggunakan peubah diameter dan tinggi. Hal ini karena diameter dan tinggi dari kelompok jenis tersebut mempunyai koefisien korelasi yang rendah (Tabel 2).

Tabel 4. Evaluasi model volume terpilih kelompok jenis pohon hutan rawa gambut

Kelompok jenis	Model	Koefisien regresi			SA (%)	SR (%)	RSE m ³	NRMSE	AIC	Bias (m ³)
		a ₀	a ₁	a ₂						
Diptero- carpaceae	1.	-8,398596	2,468800		3,73	2,06	0,17	0,65	-163,50	4,01
	3.	0,000444	2,220425		1,33	1,70	0,19	0,73	-486,35	4,75
	4.	0,03088649	0,1131538		13,72	2,06	0,85	3,28	-439,70	26,20
	5.	-10,026950	1,015965		-1,23	1,62	0,18	0,68	-186,38	-0,43
	6.	-9,583997	2,175863	0,7161	0,38	1,48	0,15	0,58	-346,55	0,85
	7.	0,000074	0,954143		-0,26	1,60	0,14	0,55	-511,39	0,31
	8.	0,00013	2,01074	0,64883	9,18	1,12	0,26	1,01	-520,81	6,87
	Non- diptero carpaceae	1.	-8,398596	2,4688		-0,12	1,00	0,18	1,04	-129,09
3.		0,0003517	2,27381		-0,3	0,93	0,23	1,30	-421,67	3,89
4.		0,00045	0,276112		14,2	10,14	0,98	5,64	-323,49	-32,69
5.		-10,02695	1,015965		-1,67	1,19	0,22	1,24	-148,97	-0,94
6.		-9,583997	2,175863	0,7161338	-2,57	1,1	0,20	1,16	-302,73	-2,03
7.		0,0001577	0,8530715		-2,1	1,36	0,26	1,48	-416,9	4,75
8.		0,00024	2,07564	0,333443	-1,09	1,04	0,22	1,25	-424,38	3,66
Seluruh kelompok jenis		1.	-8,40163	2,44716		1,22	2,83	0,17	0,80	343,5
	3.	0,00042	2,2254		-0,36	2,47	0,22	1,04	109,6	9,46
	4.	0,000371	0,26969		-81,3	15,8	0,86	4,00	-343,1	-76
	5.	-9,65471	0,9625		-1,76	2,98	0,19	0,91	418,9	-1,98
	6.	-9,42538	2,04094	0,76711	-1,12	2,54	0,18	0,83	233,3	-0,93

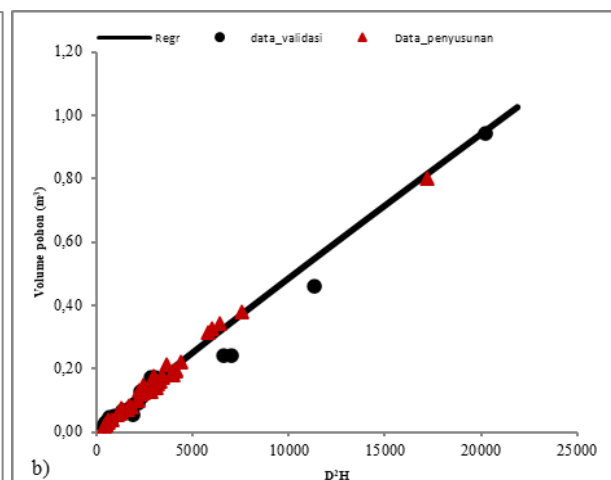
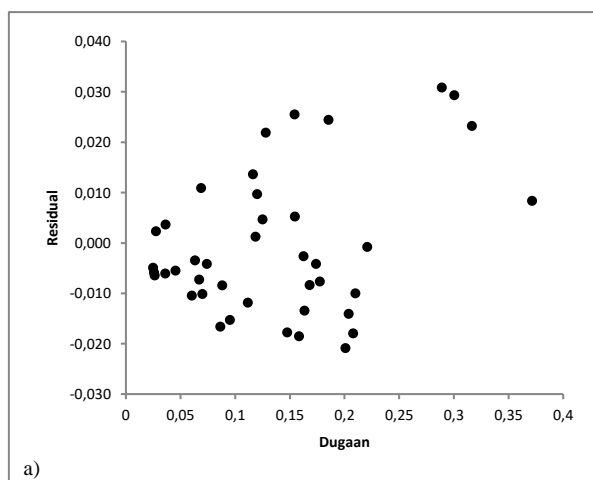
Kelompok jenis	Model	Koefisien regresi			SA (%)	SR (%)	RSE m ³	NRMSE	AIC	Bias (m ³)
		a ₀	a ₁	a ₂						
	7.	0,00013	0,87686		-4,8	3,21	0,21	0,97	119,7	4,42
	8.	0,000278	2,087648	0,2843216	2,88	1,00	0,20	0,92	-473,26	6,25

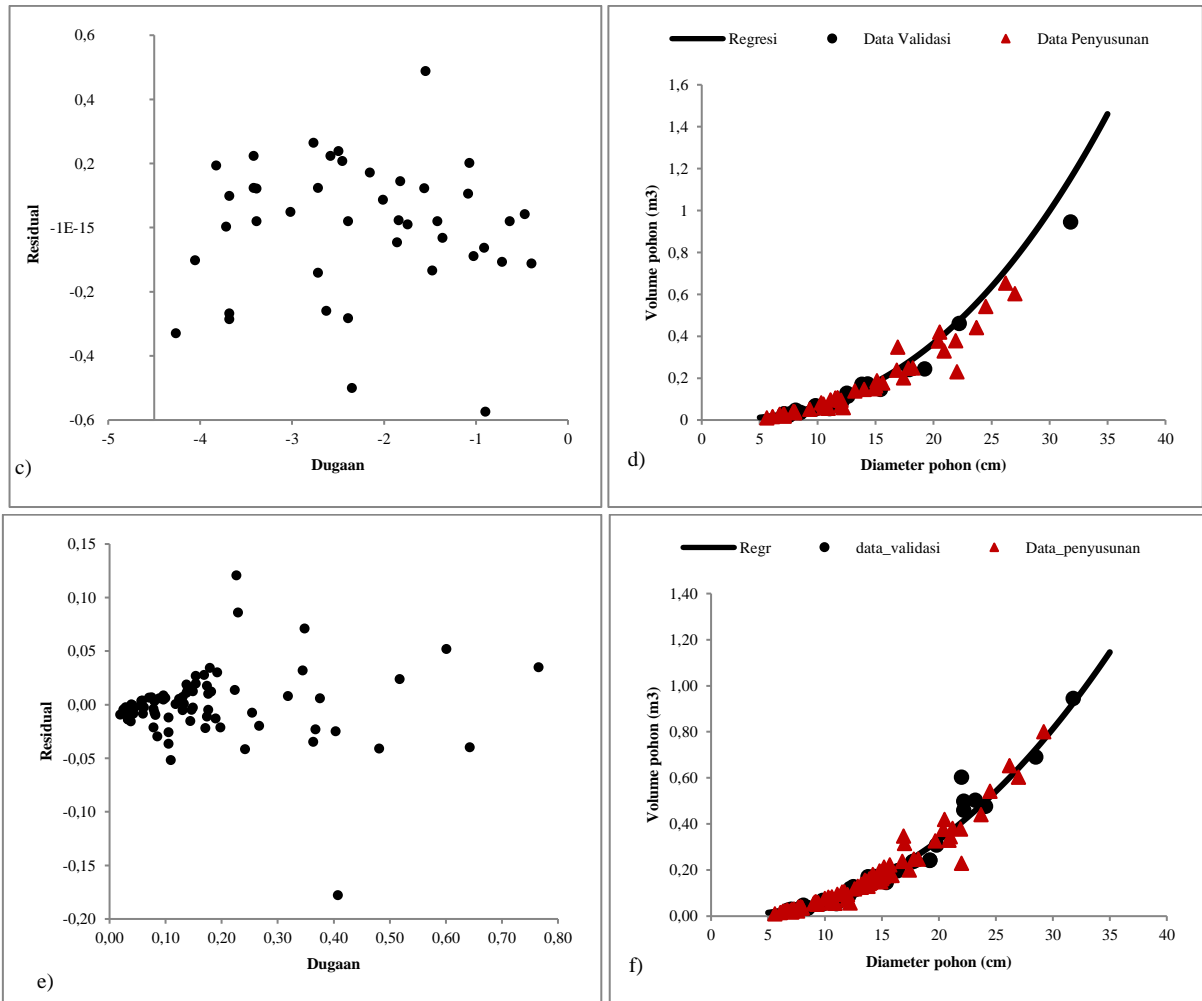
Keterangan: SA dan SR: simpangan agregatif dan relatif (%), RSE: *Root Square Error*, NRSME: *Normalized Root Mean Square Error*; AIC: *Akaike's Information Criteriation*; cetak tebal sebagai calon model terbaik.

Pada kelompok jenis yang mempunyai calon model terbaik lebih dari satu maka pemilihan model terbaik berdasarkan nilai simpangan dari dugaan baik rata-rata maupun agregatif yang kecil, bias dugaan yang kecil, kemampuan menerangkan peubah tidak bebasnya yang besar (R^2 dan R^2_{adj}) dan keterandalan model (AIC). Berdasarkan pertimbangan tersebut, model terbaik adalah 1) kelompok jenis dipterocarpaceae yakni model 7: $V = 0,000074(D^2H)^{0,954143}$ $R^2 = 98,9 \%$, 2) model 1: $\ln(V) = -8.398596 + 2.4688 \ln(D)$ dengan $R^2 97,3 \%$ sebagai model terbaik untuk kelompok jenis non-dipterocarpaceae, dan 3) model terbaik keseluruhan jenis yakni $V = 0.00042 D^{2.22540}$ dengan $R^2 95,5 \%$. Berdasarkan nilai AIC ini terlihat bahwa model penduga setiap kelompok jenis lebih handal dibandingkan dengan model keseluruhan jenis. Secara umum, model kelompok jenis mempunyai nilai AIC yang lebih kecil dibandingkan dengan model keseluruhan jenis. Nilai AIC yang kecil tersebut menunjukkan bahwa model per kelompok jenis lebih baik dibandingkan dengan model seluruh jenis (Chave *et al.*, 2014). Keseluruhan model terpilih tersebut memenuhi asumsi *homocedasticity*.

Hal ini terlihat dari grafik hubungan antara nilai sisaan dan dugaan yang tidak mengikuti pola tertentu (Gambar 2).

Penelitian lain menggunakan diameter tunggak sebagai peubah bebas (Aigbe *et al.*, 2012). Akurasi dari penggunaan peubah bebas tersebut ($R^2 = 69 \%$) lebih rendah dibandingkan model yang disusun. Menurut Aigbe *et al.* (2012) bahwa penggunaan diameter tunggak masih sesuai digunakan dalam pendugaan volume jenis *Terminalia ivorensis* di Nigeria. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan diameter cukup handal dalam menduga volume/biomasa pohon pada beberapa tipe hutan dan kelompok jenis selain jenis Alau, Bintangur, dan kelompok dipterocarpaceae (Tabel 3). Penggunaan diameter sebagai peubah tunggal ini juga dilakukan oleh Sahuri, (2017). Sahuri, (2017) menyusun model penduga volume pohon jenis karet dari beberapa klon. Hasil penelitian ini memperoleh koefisien determinasi antara 93,8 – 98,6 %. Namun demikian, penggunaan model tersebut harus melihat karakteristik tegakan/pohon yang akan diduga, tempat tumbuh, jenis, dan jangkaun (selang) data pada tahap penyusunan model (Ubuy *et al.*, 2018).





Gambar 2. 2a, 2c, dan 2d: hubungan dugaan dengan sisaan dari model volume terbaik kelompok jenis dipterocarpaceae, non-dipterocarpaceae, dan seluruh jenis. 2b, 2d, dan 2f: pendugaan volume menggunakan model terbaik dibandingkan dengan volume aktual jenis kelompok jenis dipterocarpaceae, non-dipterocarpaceae, dan seluruh jenis.

Kelompok dipterocarpaceae menggunakan diameter dan tinggi sebagai peubah bebasnya (Tabel 4). Model dengan penambahan tinggi pada jenis tersebut cukup handal karena memenuhi kriteria validasi model (SA dan SR). Namun demikian, koefisien determinasi yang dihasilkan tidak jauh berbeda dengan model keseluruhan jenis. Menurut Adekunle *et al.* (2013) pengukuran tinggi pohon di hutan tropis sangat sulit dilakukan dan memerlukan biaya yang besar sehingga pengukuran tinggi harus memperhatikan tingkat akurasi yang diinginkan dan biaya yang tersedia (Magnussen *et al.*, 2020).

Implikasinya yakni kriteria kemudahan aplikasi model dan pengukuran peubah, serta kepraktisan model sebagai pertimbangan dalam pemilihan yang akan digunakan (Susanty & Abdurachman, 2016). Kondisi ini memberikan kemungkinan bahwa volume pohon setiap jenis dapat diduga dari model volume dari kelompok jenis atau keseluruhan jenis. Model

penduga volume/biomasa berdasarkan pengelompokan jenis ini juga dilakukan oleh Manuri *et al.* (2014) dalam penyusunan model penduga biomasa di hutan rawa gambut. Manuri *et al.* (2014) mengelompokkan jenis pohon pada beberapa kelompok yakni dipterocarpaceae, Non dipterocarpaceae: kayu keras dan ringan; dan seluruh jenis. Penyusunan model berdasarkan kelompok jenis juga dilakukan oleh Basuki *et al.* (2009). Pengelompokan tersebut berdasarkan nilai komersialisasi suatu jenis pohon sehingga pohon tersebut dikelompokkan menjadi komersial, non komersial, dan campuran jenis (Basuki *et al.*, 2009).

KESIMPULAN

Model penduga volume pohon dengan diameter sebagai peubah bebas dapat digunakan untuk seluruh jenis dan kelompok jenis pohon non dipterocarpaceae. Pada kelompok jenis

dipterocarpaceae, model terbaik menggunakan diameter dan tinggi sebagai peubah bebas sehingga model ini tidak praktis penggunaannya di lapangan. Model tersebut mempunyai R^2 yang besar yakni 94 % - 95,5 %. Koefisien determinasi tersebut hampir sama antar kelompok jenis, dan keseluruhan jenis sehingga model penduga berbasis seluruh jenis dapat digunakan dalam aplikasi di lapangan. Model terpilih tersebut mempunyai bias dugaan yang kecil dibandingkan dengan data volume untuk validasi. Model pada tingkat kelompok jenis menghasilkan bias dugaan yang relatif lebih kecil dibandingkan keseluruhan jenis. Namun pada kelompok jenis dipterocarpaceae, model memerlukan parameter tinggi sehingga pendugaan volume dari kelompok ini dapat menggunakan model keseluruhan jenis.

SARAN

Penggunaan model tersebut di lapangan harus memperhatikan kisaran dimensi pada tahap penyusunan model. Model tersebut akan mempunyai akurasi yang tinggi dan bias yang kecil jika model ini digunakan pada kisaran diameter antara 5 cm - 35 cm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai dari DIPA Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Banjarbaru. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Manajemen PT. Tingang Karya Mandiri Kalimantan Tengah atas fasilitasi dalam pengambilan data di lapangan. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Susy Andriani, S.Hut, M.Sc. atas bantuan dalam penyusunan abstrak. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Dewi Alimah, S.Hut, Eko Priyanto, S.Hut., dan Leo Jati Eriyanto atas bantuan dalam pengambilan data.

KONTRIBUSI

Muhammad Abdul Qirom berperan sebagai kontributor utama dan Acep Akbar berperan sebagai kontributor anggota dalam artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

Abbot, P., Lowore, J., & Werren, M. (1997). Models for the estimation of single tree volume in four Miombo woodland types. *Forest Ecology and Management*, 97(1), 25–37. [http://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00036-4](http://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00036-4)

Adekunle, V. A. J., Nair, K. N., Srivastava, A. K., & Singh, N. K. (2013). Models and form factors for stand volume estimation in natural forest ecosystems: A case study of Katarniaghat Wildlife Sanctuary (KGWS), Bahraich District, India. *Journal of Forestry Research*, 24(2), 217–226.

<http://doi.org/10.1007/s11676-013-0347-8>

Aigbe, H. I., Modugu, W. W., & Oyeade, B. A. (2012). Modeling Volume From Stump Diameter of Terminalia Ivoensis (A. Chev) in Sokponba Forest Reserve, Edo State, Nigeria. *ARNP Journal of Agricultural and Biological Science*, 7(3), 146–151.

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>

Astiani, D. (2016). Tropical peatland tree-species diversity altered by forest degradation. *Biodiversitas*, 17(1), 102–109. <http://doi.org/10.13057/biodiv/d170115>

Badan Restorasi Gambut (BRG). (2016). *Rencana Strategis Badan Restorasi Gambut 2016-2020*. Jakarta.

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>

Boreel, A., & Siahaya, T. E. (2010). Model pendugaan isi pohon jenis torem (*Manilkara kanosensis*, H.J. Lam & B.J.D. Meeuse) di Pulau Yamdena Kabupaten Maluku Tenggara Barat. *Jurnal Agroforestri*, V(4), 279–286.

Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2002). *Model selection and multi-model inference. A Practical Information-Theoretic Approach* (II). New York: Springer-Verlag New York. <http://doi.org/10.1017/CBO9780511802461.005>

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., ... Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87–99. <http://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>

Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., ... Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177–3190. <http://doi.org/10.1111/gcb.12629>

Dutcă, I., Mather, R., Blujdea, V. N. B., Ioraş, F., Olari, M., & Abrudan, I. V. (2018). Site-effects on biomass allometric models for early growth plantations of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Biomass and Bioenergy*, 19 (2018), 2384–2392. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.05.013>

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 (2018), 1–15. <http://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00374>

Hosoda, K., & Iehara, T. (2010). Aboveground biomass equations for individual trees of *Cryptomeria japonica*, *Chamaecyparis obtusa* and *Larix kaempferi* in Japan. *Journal of Forest Research*, 15(5), 299–306. <http://doi.org/10.1007/s10310-010-0192-y>

Husch, B., Beers, T. W., & Kershaw, J. (2002). *Forest*

- Mensuration* (Fourth). New Jersey: Jhon Wiley and Sons, Inc. Hoboken.
- Hutapea, F., & Kuswandi, R. (2019). Model Penduga Volume Pohon Kelompok Jenis Komersial pada Areal IUPHHK PT. Tunas Timber Lestari di Kabupaten Boven Digul, Papua. *Jurnal Wasian*, 6(1), 27–36. <http://doi.org/10.20886/jwas.v6i1.4714>
- Kalima, T., & Denny. (2019). Komposisi Jenis dan Struktur Hutan Rawa Gambut Taman Nasional Sebangau, Kalimantan Tengah. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 16(1), 51–72.
- Kalita, R. M., Das, A. K., & Nath, A. J. (2015). Allometric equations for estimating above- and belowground biomass in Tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) agroforestry system of Barak Valley, Assam, northeast India. *Biomass and Bioenergy*, 83, 42–49. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.08.017>
- 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. *Jurnal Wasian*, 3(2), 91–96.
- Magnussen, S., Kleinn, C., & Fehrmann, L. (2020). Wood volume errors from measured and predicted heights. *European Journal of Forest Research*, 139 (2020), 169–178. <http://doi.org/10.1007/s10342-020-01257-9>
- Manuri, S., Brack, C., Noor'an, F., Rusolono, T., Anggraini, S. M., Dotzauer, H., & Kumara, I. (2016). Improved allometric equations for tree aboveground biomass estimation in tropical dipterocarp forests of Kalimantan, Indonesia. *Forest Ecosystems*, 3(28). <http://doi.org/10.1186/s40663-016-0087-2>
- Manuri, S., Brack, C., Nugroho, N. P., Hergouale'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>
- Manyanda, B. J., Mugasha, W. A., Nzunda, E. F., & Malimbwi, R. E. (2020). Biomass and volume models based on stump diameter for assessing degradation of miombo woodlands in Tanzania. *International Journal of Forestry Research*, 2020. <http://doi.org/10.1155/2019/1876329>
- Masota, A. M., Zahabu, E., Malimbwi, R. E., Bollandas, O. M., & Eid, T. H. (2014). Volume Models for Single Trees in Tropical Rainforests in Tanzania. *Journal of Energy and Natural Resources*, 3(5), 66–76. <http://doi.org/10.11648/j.jenr.20140305.12>
- Mirmanto, E. (2010). Vegetation analyses of Sebangau peat swamp forest, Central Kalimantan. *Biodiversitas*, 11(2), 82–88. <http://doi.org/10.13057/biodiv/d110206>
- 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>
- 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 Aboveground Biomass in Lowland Forests of Tanzania. *International Journal of Forestry Research*, 2016. <http://doi.org/10.1155/2016/8076271>
- Osaki, M., Nursyamsi, D., Noor, M., Wahyunto, and Segah, H. (2016). *Peatland in Indonesia*. In Mitsuru Osaki and Nobuyuki Tsuji (Ed.), *Tropical Peatland Ecosystems* (pp. 49–58). Tokyo: Springer Japan. http://doi.org/10.1007/978-4-431-55681-7_3
- Page, S. E., Rieley, J. O., Shoty, W., & Weiss, D. (1999). Interdependence of peat and vegetation in a tropical peat swamp forest. *Biological Sciences*, 354(1391), 1885–1897. <http://doi.org/10.1098/rstb.1999.0529>
- Picard, N., Saint-André, L., & Henry, M. (2012). *Manual for building tree volume and biomass allometric equations: From field measurement to prediction*. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, and Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. Roma: Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, and Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Montpellier.
- 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.
- Qirom, M. A., & Supriyadi. (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.
- Rieley, J., & Page, S. (2016). *Tropical Peatland of the World*. (M. Osaki & N. Tsuji, Eds.), *Tropical Peatland Ecosystems* (pp. 3 - 32). Tokyo: Springer Japan. http://doi.org/10.1007/978-4-431-55681-7_1
- Sahuri. (2017). Model Pendugaan Volume Pohon Karet Saat Peremajaan di Sembawa, Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 14(2), 129–143.
- 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(2012), 722–730. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.06.021>
- Susanty, F. H., & Abdurachman. (2016). Analisis penyusunan model pendugaan volume pohon 3 jenis Shorea di Tarakan, Kalimantan Utara. *Jurnal*

- Penelitian Dipterokarpa, 2(1), 29–44.
- Taebi, A., & Mansy, H. A. (2017). Time-frequency distribution of seismocardiographic signals: A comparative study. *Bioengineering*, 4(32). <http://doi.org/10.3390/bioengineering4020032>
- Tang, J., Riley, W. J., & Niu, J. (2015). Incorporating root hydraulic redistribution in CLM4.5: Effects on predicted site and global evapotranspiration, soil moisture, and water storage. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 7(4), 1828–1848. <http://doi.org/10.1002/2015MS000484>
- 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>
- Ubuy, M. H., Eid, T., Bollandsås, O. M., & Birhane, E. (2018). Aboveground 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>