**MODEL PENDUGAAN VOLUME BATANG BERDIRI DENGAN INTEGRASI
FUNGSI TAPER JENIS MERANTI (*Shorea spp.*) : STUDI KASUS DI HPH
PT. KIANG NAM DEVELOPMENT INDONESIA SUMATERA UTARA)
(*Estimation Model of Standing Tree Volume Using Integration of Taper Function for
Meranti (Shorea spp.) : Case Study in Forest Concessioner PT. Kiang Nam
Development Indonesia North Sumatra*)**

Oleh/By :

Aswandi, Darmawan Edy, dan/and Dodo A. Suhada

ABSTRACT

Variability of tree stem form limits the use of volume table and form factor in the tree volume estimation to specific species and location. The form factor of 0.7 that generally used in forest inventory today tends to produce a biased volume estimation, especially for non-linear stem form. This study is objected to find a more accurate model on the standing tree volume estimation by integrating taper function. Based on measurement of 424 sections of 89 sample trees, the proposed taper function and standing tree volume estimation models are:

$$\frac{d}{D} = 0,652 + 0,542\left(1 - \frac{h}{H}\right) - 0,21\left(1 - \frac{h}{H}\right)^2, \text{ and}$$

$$V_{bt} = \frac{1}{4}\pi D^2 \left[0,968\left(\frac{h}{H}\right) - 0,120\left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,1328\left(\frac{h}{H}\right)^3 + 0,0127\left(\frac{h}{H}\right)^4 + 0,0088\left(\frac{h}{H}\right)^5 \right] \Bigg|_{h_0}^{h_1}$$

*where d : diameter at height h, D : diameter at breast height, h : measured height at certain point of the tree, and H : total height up to merchantable stem. Estimation of standing tree volume using this integration of taper function for meranti (*Shorea spp.*) produced high accuracy estimation and flexibility.*

Key words : Tree volume, model, taper function, form factor, volume table, meranti

ABSTRAK

Beragamnya bentuk pohon membatasi penggunaan tabel volume dan angka bentuk batang dalam pendugaan volume pohon dengan jenis dan lokasi tertentu. Angka bentuk 0,7 yang umumnya digunakan dalam inventarisasi hutan cenderung menghasilkan pendugaan volume yang bias, khususnya bagi bentuk batang yang tidak *linear*. Studi ini bertujuan untuk menemukan suatu model penduga volume pohon berdiri yang lebih akurat dengan menggunakan pendekatan integrasi fungsi taper. Berdasarkan pengukuran 424 seksi batang dari 89 pohon contoh, diperoleh fungsi taper dan pendugaan volume pohon berdiri sebagai berikut :

$$\frac{d}{D} = 0,652 + 0,542\left(1 - \frac{h}{H}\right) - 0,21\left(1 - \frac{h}{H}\right)^2, \text{ dan}$$

$$V_{bt} = \frac{1}{4}\pi D^2 \left[0,968\left(\frac{h}{H}\right) - 0,120\left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,1328\left(\frac{h}{H}\right)^3 + 0,0127\left(\frac{h}{H}\right)^4 + 0,0088\left(\frac{h}{H}\right)^5 \right] \Bigg|_{h_0}^{h_1}$$

dimana d : diameter pada ketinggian h, D : diameter setinggi dada, h : ukuran tinggi pohon pada titik tertentu, dan H : tinggi total kayu pertukangan. Pendugaan volume pohon berdiri jenis meranti (*Shorea spp.*) menggunakan integrasi fungsi taper menghasilkan pendugaan yang memiliki akurasi tinggi dan fleksibilitas dalam pelaksanaannya.

Kata kunci : Volume pohon, model, fungsi taper, angka bentuk, tabel volume

I. PENDAHULUAN

Inventarisasi hutan merupakan suatu kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui keadaan dan besarnya potensi (volume kayu) yang ada dalam kawasan hutan guna memperoleh dasar-dasar perencanaan pengelolaan selanjutnya. Dugaan besarnya potensi dan dasar-dasar pengelolaan yang mantap perlu didukung oleh data hasil inventarisasi yang akurat. Keakuratan hasil inventarisasi tegakan ini sangat tergantung pada beberapa hal, salah satunya adalah tersedianya model dugaan volume pohon berdiri yang tepat dan teliti.

Pendugaan potensi tegakan hutan pada kegiatan inventarisasi hutan biasanya dilakukan dengan bantuan tabel volume. Tabel-tabel volume ini umumnya disusun berdasarkan metode regresi dengan menggunakan hubungan antara volume tegakan dengan diameter dan tinggi pohon atau dengan menggunakan angka bentuk batang. Nilai angka bentuk batang yang sampai sekarang masih sering digunakan untuk jenis kayu rimba sampai pangkal tajuk (*merchantable stem*) adalah 0,7. Akan tetapi dalam prakteknya pemakaian angka bentuk ini pada jenis meranti cenderung menghasilkan dugaan volume yang bias (Siswanto *et al.*, 1996). Cara perhitungan semacam ini juga diduga merupakan salah satu sumber kesalahan pendugaan volume pohon berdiri karena besarnya angka bentuk batang dari setiap jenis pohon tidaklah sama, karena dalam kenyataannya bentuk batang dari pohon hutan sangat bervariasi mulai dari bentuk neiloid sampai silinder sehingga dapat mengakibatkan terjadinya bias dalam penaksiran volume tegakan. Berdasarkan hal di atas, maka dipandang perlu untuk menyusun suatu model pendugaan volume batang yang lebih spesifik menurut jenis yang mempunyai ketelitian tinggi dan dapat digunakan untuk menduga volume batang pada diameter atau ketinggian batang tertentu.

Salah satu metode pendugaan volume batang yang kemudian dikembangkan untuk mengatasi hal ini adalah model dugaan yang disusun berdasarkan karakteristik bentuk batang yang disebut fungsi bentuk batang

(taper). Fungsi taper yang disusun didasarkan pada penurunan diameter pohon pada setiap kenaikan pengukuran tinggi (Kozak *et al.*, 1969; Goulding dan Murray, 1976; Wiant *et al.*, 1992; Laasasenaho, 1993). Dengan mengetahui fungsi taper tersebut maka bentuk ril pohon dapat digambarkan dan diameter seksi sepanjang pohon dapat diketahui sehingga perhitungan volume dapat dilakukan dengan lebih akurat dan praktis karena pengukuran diameter dapat dilakukan di sepanjang batang pohon tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk membangun model pendugaan volume batang berdiri tegakan hutan alam produksi dengan menggunakan pendekatan fungsi taper untuk jenis meranti (*Shorea* spp.).

II. METODE PENELITIAN

A. Bahan dan Alat

Bahan penelitian adalah tegakan berdiri jenis meranti yang terdapat di kawasan hutan produksi bekas tebangan HPH PT. Kiang Nam Development Indonesia Kecamatan Muara Batang Gadis, Kabupaten Mandailing Natal, Provinsi Sumatera Utara. Peralatan yang digunakan adalah SRB, *phiband*, perangkat komputer, dan alat tulis.

Tegakan meranti tersebut tumbuh pada hutan hujan dataran rendah tanah kering dengan topografi datar sampai bergelombang dengan ketinggian tempat 150 hingga 450 m dpl. Menurut klasifikasi Schmidt dan Fergusson kelompok hutan Batang Gadis bertipe iklim A dengan curah hujan 2.961,25 mm per tahun. Tegakan tinggal didominasi oleh jenis-jenis dari famili Dipterocarpaceae seperti meranti (*Shorea* spp.), merawan (*Hopea* spp.), keruing (*Dipterocarpus* sp.), kapur (*Dryobalanops* spp.), serta jenis lain seperti medang (*Litsea* sp.) dan jelutung (*Dyera* sp.).

B. Pengumpulan Data

Pohon contoh dipilih secara *purposive* dengan mempertimbangkan keterwakilan sebaran kelas diameter. Parameter tegakan yang diukur adalah diameter pohon setinggi dada, diameter pada setiap ketinggian dengan panjang seksi 2-3 meter tergantung kondisi batang yang diukur mulai dari permukaan tanah, tinggi pangkal tajuk, dan tinggi total.

Jumlah pohon contoh diukur berjumlah 89 pohon dengan jumlah seksi 424 buah. Jumlah ini telah memenuhi kecukupan pohon contoh sebanyak 50-100 pohon yang ditetapkan oleh Loetsch *et al.* (1973).

B. Pengolahan Data

1. Penentuan Volume Tiap Pohon Contoh

Volume pohon contoh diperoleh dengan menjumlahkan volume dari seluruh seksi yang menyusunnya. Volume setiap seksi dihitung dengan menggunakan rumus Smallian. Perhitungan volume dugaan untuk masing-masing rumus tersebut adalah sebagai berikut :

$$V_s = \frac{A_p + A_u}{2} \times L \dots\dots\dots (1)$$

dimana (where):

- V_s = Volume seksi batang (*Stem section volume*) (m^3)
 A_p = Luas bidang dasar pangkal seksi batang (*Basal area at start point of stem section*) (m^2)
 A_u = Luas bidang dasar ujung seksi batang (*Basal area at end point of stem section*) (m^2)
 L = Panjang seksi batang (*Length of stem section*) (m)

2. Penyusunan Fungsi Taper

Beberapa model fungsi taper yang diuji untuk memperoleh model yang terbaik antara lain adalah :

- a. $(d/D) = f\{1-(h/H)\}$ (2)
 b. $(d/D) = f\{[1-(h/H)], [1-(h/H)]^2\}$ (3)
 c. $(d/D) = f\{[1-(h/H)], [1-(h/H)]^2, [1-(h/H)]^3\}$ (4)
 d. $(d/D)^2 = f\{[1-(h/H)], [1-(h/H)]^2\}$ (5)
 e. $(d/D)^2 = f\{[1-(h/H)], [1-(h/H)]^2, [1-(h/H)]^3\}$... (6)

dimana (where):

- D = Diameter setinggi dada (*Diameter at breast height*) (cm)
 d = Diameter pada ketinggian tertentu (*Diameter at height h*) (cm)
 H = Tinggi bebas cabang (*Total height up to merchantable stem*) (m)
 h = Ketinggian tertentu (*Measured height at certain point of the tree*) (m)

Besarnya nilai masing-masing konstanta dihitung dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square method*). Selain itu juga dilakukan perhitungan angka bentuk yang diperoleh dari perbandingan antara volume kerucut pohon dengan volume

silindernya pada tinggi dan luas bidang dasar yang sama.

Pendugaan volume pohon berdiri berdasarkan fungsi taper dihitung dengan cara mengintegralkan persamaan taper yang telah terbentuk.

$$V_{bt} = \pi \int_{h_1}^{h_2} (\frac{1}{2}d)^2 dh \dots\dots\dots (7)$$

dimana (where):

- V_{bt} = Volume pohon berdiri (*Standing tree volume*)
 D = Persamaan taper (*Taper equation*)
 $h_{1,2}$ = Tinggi pangkal dan ujung pohon (*Height at start and end point of the tree*)

3. Pengujian Model

Dalam menentukan bentuk persamaan terbaik, maka dilakukan perhitungan nilai besarnya persen simpangan agregatif (AgD) dan rata-rata persen simpangan volume taksiran dengan volume sebenarnya (AvD). Besarnya nilai-nilai tersebut dirumuskan sebagai berikut (Prodan, 1965).

$$AgD = \frac{\sum V_a - \sum V_t}{\sum V_t} \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

$$AvD = \frac{\sum \left| \frac{V_a - V_t}{V_t} \right|}{N} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

dimana (where):

- V_a = Volume pohon aktual (*Actual volume of tree*)
 V_t = Volume pohon taksiran (*Estimated volume of tree*)
 N = Jumlah pohon contoh (*Number of sample trees*)

Di samping pengujian terhadap keakuratan model-model fungsi taper untuk menentukan model fungsi taper terbaik juga dilakukan pengujian terhadap penggunaan angka bentuk batang meranti hingga pangkal tajuk (*merchantable stem*) sebesar 0,7 serta angka bentuk pohon yang diperoleh dari pengukuran lapangan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sebaran Pohon Contoh

Sebaran pohon contoh yang diukur secara rinci dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa pohon contoh yang diukur menyebar cukup normal dari diameter 20 cm hingga lebih besar dari 60 cm dengan jumlah pohon contoh terbanyak terdapat pada kelas diameter 40-49 cm sebanyak 46 batang atau 52 % dari populasi contoh. Sebaran yang hampir sama juga ditunjukkan oleh tinggi hingga pangkal tajuk pohon contoh dengan pohon contoh terbanyak terdapat pada tinggi 14 meter dan 16 meter sebanyak 23 dan 24 batang berturut-turut.

B. Plotting Data

Berdasarkan *plotting* data nilai diameter relatif (d/D) terhadap tinggi pohon relatif ($1-h/H$) dihasilkan bentuk kurva lengkung (*taper*) pohon kelompok jenis meranti di lokasi penelitian seperti dapat dilihat pada Gambar 1. Dari pengujian korelasi terhadap kelima bentuk persamaan yang diujikan, diperoleh bahwa persamaan (2) dan persamaan (3) memiliki korelasi yang cukup tinggi (Lampiran 2).

C. Model Penduga Volume

Berdasarkan teori bahwa pohon merupakan benda putar yang berjari-jari tegak lurus sumbu X dan panjang batang tegak lurus sumbu Y , maka volume batang dapat dihitung dengan cara mengintegrasikan persamaan *taper* yang telah tersusun (Purcell dan Valberg, 1990). Persamaan *taper* yang terbentuk serta besarnya nilai konstanta, koefisien regresi, simpangan agregatif dan simpangan rata-rata dapat dilihat pada Lampiran 1 dan Lampiran 2.

Untuk mencari model penduga volume pohon terbaik maka dilakukan pembatasan nilai simpangan agregatif (AgD) dan nilai simpangan rata-rata (AvD) menurut kriteria yang ditetapkan oleh Bruce dan Schumacher (1950) serta Spurr (1952), yakni model penduga yang terpilih harus memiliki nilai AgD tidak lebih besar dari 1 % atau tidak lebih kecil dari -1 % serta nilai AvD tidak melebihi 10 %. Berdasarkan batasan ini maka persamaan yang memenuhi syarat adalah

Tabel (Table) 1. Sebaran pohon contoh (*Distribution of sample trees*)

Kelas diameter (Class of diameter)	Tinggi pangkal tajuk (<i>Merchantable stem</i>) (m)							Jumlah (Total) (n)
	10	12	14	16	18	20	>20	
20 - 29	2	2	4	1	0	0	0	9
30 - 39	1	4	3	4	0	0	0	12
40 - 49	3	7	12	13	9	2	0	46
50 - 59	0	1	3	4	4	2	1	15
60 up	0	0	1	2	2	1	1	7
Jumlah (Total) (n)	6	14	23	24	15	5	2	89

Gambar (Figure) 1. Sebaran data hubungan nilai d/D dengan $1-h/H$ pohon contoh
(Data distribution of correlation d/D and $1-h/H$ for sample trees)

persamaan (2) dan (3). Selanjutnya, berdasarkan pertimbangan kesederhanaan persamaan, di antara kedua persamaan tersebut dipilih persamaan (2) dengan nilai AgD sebesar 0,73 % dan nilai AvR sebesar 9,17 % (Lampiran 2), yang dianggap cukup baik digunakan sebagai model penduga volume pohon berdiri. Secara rinci bentuk persamaan taper yang terpilih tersebut adalah sebagai berikut :

$$\frac{d}{D} = 0,652 + 0,542 \left(1 - \frac{h}{H}\right) - 0,21 \left(1 - \frac{h}{H}\right)^2 \dots (10)$$

atau

$$d = \left[0,984 - 0,122 \left(\frac{h}{H}\right) - 0,21 \left(\frac{h}{H}\right)^2 \right] * D \dots (11)$$

dimana (where):

D = Diameter setinggi dada (*Diameter at breast height*) (cm)

d = Diameter pada ketinggian tertentu (*Diameter at height h*) (cm)

H = Tinggi hingga pangkal tajuk (*Total height up to merchantable stem*) (m)

h = Ketinggian tertentu (*Measured height at certain point of the tree*) (m)

Selanjutnya berdasarkan integrasi terhadap persamaan taper tersebut maka persamaan pendugaan volume pohon berdiri dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{bt} = \pi \int_{h_1}^{h_2} \left(\frac{1}{2}d\right)^2 dh \dots (12)$$

$$= \pi \int_{h_1}^{h_2} \left(\frac{1}{4}d^2\right) dh \dots (13)$$

$$= \frac{1}{4} \pi \int_{h_1}^{h_2} \left[0,984 - 0,122 \left(\frac{h}{H}\right) - 0,21 \left(\frac{h}{H}\right)^2 \right]^2 D^2 dh \quad (14)$$

$$= \frac{1}{4} \pi \int_{h_1}^{h_2} \left[0,968 - 0,2401 \left(\frac{h}{H}\right) - 0,3984 \left(\frac{h}{H}\right)^2 + 0,051 \left(\frac{h}{H}\right)^3 + 0,044 \left(\frac{h}{H}\right)^4 \right] D^2 dh \quad (15)$$

$$= \frac{1}{4} D^2 \left[0,968 \left(\frac{h}{H}\right) - 0,120 \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,1328 \left(\frac{h}{H}\right)^3 + 0,0127 \left(\frac{h}{H}\right)^4 + 0,0088 \left(\frac{h}{H}\right)^5 \right]_{h_0}^{h_1} \quad (16)$$

dimana (where):

D = Diameter setinggi dada (*Diameter at breast height*) (cm)

d = Diameter pada ketinggian tertentu (*Diameter at height h*) (cm)

H = Tinggi hingga pangkal tajuk (*Total height up to merchantable stem*) (m)

h = Ketinggian tertentu (*Measured height at certain point of the tree*) (m)

Apabila disederhanakan maka persamaan tersebut dapat menjadi

$$V_{bt} = \frac{1}{4} \pi D^2 H f' \dots (17)$$

dimana f' merupakan faktor kelengkungan bentuk batang yang besarnya merupakan hasil pengintegrasian terhadap persamaan taper yang tersusun. Berdasarkan persamaan (17) tersebut, maka besarnya nilai f' bertindak hampir serupa dengan nilai angka bentuk, akan tetapi dalam hal ini besarnya nilai f' tersebut akan berubah-ubah menurut ketinggian relatifnya.

Selain pengujian terhadap keakuratan model dari berbagai model fungsi taper juga dilakukan pengujian terhadap penggunaan angka bentuk batang meranti yang umum digunakan yakni sebesar 0,7 serta angka bentuk batang pohon hingga tinggi sampai pangkal tajuk yang diperoleh dari hasil perhitungan terhadap pohon contoh yakni sebesar 0,75.

Berdasarkan kriteria model penduga terbaik dengan memperhatikan besarnya nilai AgD dan AvD menurut Bruce dan Schumacher (1950) serta Spurr (1952), pendugaan volume pohon berdiri dengan menggunakan angka bentuk 0,7 cenderung memberikan volume dugaan yang bias dengan nilai AgD berturut-turut 14,52 dan -6,67 untuk angka bentuk 0,7 dan 0,75 serta nilai AvD berturut-turut 24,18 dan 17,39 untuk angka bentuk 0,7 dan 0,75. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa besarnya volume dugaan yang dihasilkan oleh angka bentuk 0,7 akan cenderung *under estimate* sedangkan angka bentuk 0,75 sebaliknya akan menghasilkan nilai volume dugaan yang *over estimate*. Hasil yang hampir sama juga diperoleh oleh Siswanto *et al.* (1996) untuk jenis kapur (*Dryobalanops lanceolata* Burck) di Kalimantan Barat.

Di samping mempunyai keakuratan yang tinggi, pendugaan volume batang

berdasarkan persamaan taper juga mempunyai keluwesan yang tinggi dalam hal kemampuannya untuk menduga volume batang pada setiap ketinggian relatif pohon yang diinginkan, termasuk kemampuannya dalam menghitung besarnya diameter ujung dari batang yang akan diduga (Goulding dan Murray, 1976; Wiant *et al.*, 1992). Dalam bentuk tabel volume yang lebih lengkap, model pendugaan volume berdasarkan fungsi taper ini akan sangat membantu di lapangan terutama dalam menduga potensi tegakan terutama berkaitan dengan batas limit diameter ujung bagi penghara industri.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan simpangan agregatif dan simpangan rata-rata, persamaan bentuk lengkung (taper) kelompok meranti yang terpilih adalah :

$$\frac{d}{D} = 0,652 + 0,542 \left(1 - \frac{h}{H}\right) - 0,21 \left(1 - \frac{h}{H}\right)^2$$

dengan simpangan agregatif (AgD) dan simpangan rata-rata (AvD) sebesar 0,73 % dan 9,17 %, berturut-turut. Dengan teori bahwa pohon merupakan benda putar, maka berdasarkan integrasi fungsi taper tersebut diperoleh model penduga volume sebagai berikut :

$$V_{bt} = \frac{1}{4} D^2 \left[0,968 \left(\frac{h}{H}\right) - 0,120 \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,1328 \left(\frac{h}{H}\right)^3 + 0,0127 \left(\frac{h}{H}\right)^4 + 0,0088 \left(\frac{h}{H}\right)^5 \right]_{h_0}^{h_1}$$

Dibandingkan dengan menggunakan angka bentuk 0,7 yang umum digunakan dan 0,75 yang diperoleh dari hasil perhitungan pohon contoh, pendugaan volume dengan menggunakan integrasi fungsi taper memiliki keakuratan yang relatif tinggi serta memiliki keluwesan dalam hal kemampuannya menduga diameter pada suatu ketinggian tertentu.

B. Saran

Agar diperoleh hasil inventarisasi potensi yang lebih akurat dan komprehensif yang mencakup semua jenis dalam suatu kawasan hutan, maka model penduga pohon berdiri berdasarkan fungsi taper perlu disusun untuk setiap jenis atau kelompok jenis. Agar diperoleh model penduga volume pohon berdiri dengan validasi yang tinggi, maka setelah dilakukan pengukuran diameter pohon berdiri selanjutnya diikuti dengan pengukuran diameter batang setelah ditebang.

DAFTAR PUSTAKA

- Bruce, H.C. and F.X. Schumacher. 1950. Forest mensuration. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.
- Goulding, C.J dan C.J. Murray. 1976. Polynomial taper equation that are compatible with tree volume equation. N.Z.J. Forest Sci. 5:313-322.
- Kozak, A., D.D. Munro and J.H.G. Smith. 1969. Taper function and their application in forest inventory. The Forestry Chronicle : 278-283.
- Laasasenaho, J. 1993. Modelling taper curves and stem increment. Proceeding of the IUFRO Conference on "Modern Methods of Estimating Tree and Log Volume". June 1993, West Virginia University Publication Service.
- Loetsch, F., F. Zohrer, K.E. Haller. 1973. Forest inventory. Vol II. Blv Verlagsgesellschaft. Munchen.
- Prodan, M. 1968. Forest biometric. Pergamon Press. Oxford.
- Purcell, E.J and D. Valberg, 1990. Kalkulus dan geometri analitis. Jilid I. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Siswanto, B.E., S. Bustomi dan E. Sulaeman. 1996. Tabel isi pokok untuk jenis kapur (*Dryobalanops lanceolata* Burck) di Kesatuan Pemangkuan Hutan Sanggau, Kalimantan Barat. Buletin Penelitian Hutan 601:15-40. Pusat Penelitian dan

- Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam. Bogor.
- Spurr, S.H. 1952. Forest inventory. The Ronald Press Company. New York
- Wiant, H.V., G.B. Wood, and T.G. Gregoire. 1992. Practical guide for estimating the volume of a standing sample tree using either importance on centroid sampling. For. Ec. and Man. 49:333-339.

Lampiran (Appendix) 1. Bentuk-bentuk persamaan taper tersusun jenis meranti di HPH PT. Kiang Nam Development Indonesia Sumatera Utara (*Taper function for standing stem volume estimation model for meranti in forest concession PT. Kiang Nam Development Indonesia North Sumatra*)

Persamaan (Equation) 1
$$\frac{d}{D} = 0,665 + 0,379 \left(1 - \frac{h}{H}\right)$$
$$d = \left[1,044 - 0,379 \left(\frac{h}{H}\right)\right] * D$$

Persamaan (Equation) 2
$$\frac{d}{D} = 0,652 + 0,542 \left(1 - \frac{h}{H}\right) - 0,21 \left(1 - \frac{h}{H}\right)^2$$
$$d = \left[0,984 - 0,122 \left(\frac{h}{H}\right) - 0,21 \left(\frac{h}{H}\right)^2\right] * D$$

Persamaan (Equation) 3
$$\frac{d}{D} = 0,649 + 0,633 \left(1 - \frac{h}{H}\right) - 0,520 \left(1 - \frac{h}{H}\right)^2 + 0,254 \left(1 - \frac{h}{H}\right)^3$$
$$d = \left[1,016 - 0,355 \left(\frac{h}{H}\right) + 0,242 \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,254 \left(\frac{h}{H}\right)^3\right] * D$$

Persamaan (Equation) 4
$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = 0,423 + 0,924 \left(1 - \frac{h}{H}\right) - 0,462 \left(1 - \frac{h}{H}\right)^2$$
$$d = \left[\left\{0,885 - 0,462 \left(1 - \frac{h}{H}\right)^2\right\} * D^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

Persamaan (Equation) 5
$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = 0,445 - 0,201 \left(1 - \frac{h}{H}\right) + 1,93 \left(1 - \frac{h}{H}\right)^2 - 1,90 \left(1 - \frac{h}{H}\right)^3$$
$$d = \left[\left\{0,676 + 1,639 \left(\frac{h}{H}\right) - 3,77 \left(\frac{h}{H}\right)^2 + 1,90 \left(\frac{h}{H}\right)^3\right\} * D^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

Lampiran (Appendix) 2. Koefisien regresi, simpangan agregatif (AgD), simpangan rata-rata (AvD), koefisien korelasi dan MSE dari persamaan-persamaan dalam Lampiran 1 untuk model penduga volume batang berdiri jenis meranti di HPH PT. Kiang Nam Development Indonesia (*Regression coefficient, aggregate difference (AgD), average of percentage deviation (AvR), correlation coefficient and MSE of predicted models in Appendix 1*)

Persamaan (Equations)	Koefisien regresi (Regression coefficient)				AgD (%)	AvR (%)	R ² (%)	MSE
	β_1	β_2	β_3	β_4				
1	0,665	0,379			-16,36	9,25	69,2	0,0054
2	0,652	0,542	-0,210		0,73	9,17	70,3	0,0053
3	0,649	0,633	-0,520	0,254	-0,41	9,22	70,4	0,0054
4	0,423	0,924	-4,62		26,18	18,07	65,3	0,0151
5	0,445	-0,201	1,93	-1,90	-7,41	12,98	67,5	0,0142
Angka bentuk (form factor)								
0,7					14,52	24,18		
0,75					-6,67	17,39		

Lampiran (Appendix) 3. Contoh dugaan volume batang berdiri jenis meranti berdasarkan integrasi fungsi taper di HPH PT. Kiang Nam Development Indonesia Sumatera Utara
(*Examples of standing stem volume estimation for meranti base on integration of taper function*)

Diameter (m)	Panjang Seksi (m)	Tinggi Bebas Cabang (m)											
		10		12		14		16		18		20	
		du	dv	du	dv	du	dv	du	dv	du	dv	du	dv
20	2	19.02	0.059	19.16	0.059	19.25	0.060	19.31	0.060	19.36	0.060	19.39	0.060
	4	18.03	0.113	18.40	0.115	18.64	0.116	18.81	0.117	18.93	0.117	19.02	0.118
	6	16.70	0.161	17.41	0.165	17.86	0.168	18.17	0.171	18.40	0.172	18.57	0.173
	8	15.04	0.200	16.19	0.210	16.91	0.216	17.41	0.220	17.77	0.224	18.03	0.226
	10	13.04	0.231	14.73	0.247	15.79	0.258	16.51	0.266	17.03	0.271	17.41	0.275
	12			13.04	0.278	14.50	0.294	15.49	0.306	16.19	0.314	16.70	0.321
	14					13.04	0.324	14.33	0.341	15.24	0.353	15.91	0.363
	16							13.04	0.370	14.19	0.387	15.04	0.400
35	2	33.29	0.181	33.52	0.182	33.68	0.182	33.79	0.183	33.87	0.183	33.94	0.184
	4	31.56	0.346	32.20	0.352	32.62	0.355	32.91	0.358	33.13	0.360	33.29	0.361
	6	29.23	0.492	30.47	0.506	31.26	0.516	31.81	0.522	32.20	0.527	32.50	0.531
	8	26.32	0.613	28.33	0.642	29.60	0.661	30.47	0.675	31.09	0.685	31.56	0.692
	10	22.82	0.708	25.78	0.757	27.64	0.790	28.90	0.813	29.80	0.830	30.47	0.843
	12			22.82	0.850	25.38	0.900	27.10	0.936	28.33	0.963	29.23	0.983
	14					22.82	0.992	25.08	1.043	26.67	1.082	27.85	1.111
	16							22.82	1.133	24.84	1.186	26.32	1.226
50	2	47.56	0.368	47.89	0.371	48.11	0.372	48.27	0.373	48.39	0.374	48.49	0.375
	4	45.08	0.706	46.00	0.717	46.60	0.725	47.02	0.730	47.33	0.734	47.56	0.737
	6	41.76	1.003	43.53	1.033	44.66	1.052	45.44	1.066	46.00	1.076	46.43	1.084
	8	37.60	1.251	40.47	1.310	42.29	1.349	43.53	1.377	44.41	1.397	45.08	1.413
	10	32.60	1.446	36.83	1.545	39.49	1.612	41.29	1.659	42.57	1.694	43.53	1.721
	12			32.60	1.735	36.26	1.838	38.72	1.911	40.47	1.965	41.76	2.007
	14					32.60	2.024	35.82	2.129	38.10	2.208	39.79	2.268
	16							32.60	2.313	35.48	2.420	37.60	2.503
	18									32.60	2.602	35.21	2.711
	20											32.60	2.892
	22												
	24												
	2	19.45	0.060	19.42	0.060	19.42	0.060	19.42	0.060	19.42	0.060	19.42	0.060
	4	19.16	0.118	19.10	0.118	19.10	0.118	19.10	0.118	19.10	0.118	19.10	0.118
	6	18.81	0.175	18.70	0.174	18.70	0.174	18.70	0.174	18.70	0.174	18.70	0.174
	8	18.40	0.230	18.24	0.228	18.24	0.228	18.24	0.228	18.24	0.228	18.24	0.228
	10	17.93	0.281	17.70	0.279	17.70	0.279	17.70	0.279	17.70	0.279	17.70	0.279
	12	17.41	0.330	17.10	0.326	17.10	0.326	17.10	0.326	17.10	0.326	17.10	0.326
	14	16.83	0.376	16.43	0.370	16.43	0.370	16.43	0.370	16.43	0.370	16.43	0.370
	16	16.19	0.419	15.68	0.411	15.68	0.411	15.68	0.411	15.68	0.411	15.68	0.411
	18	15.49	0.459	14.87	0.448	14.87	0.448	14.87	0.448	14.87	0.448	14.87	0.448
	20	14.73	0.494	13.99	0.480	13.99	0.480	13.99	0.480	13.99	0.480	13.99	0.480
	22	13.91	0.527	13.04	0.509	13.04	0.509	13.04	0.509	13.04	0.509	13.04	0.509
	24	13.04	0.555	13.04	0.555	13.04	0.555	13.04	0.555	13.04	0.555	13.04	0.555

Keterangan : du = diameter ujung (cm), dv = volume seksi (m³)