

**Penentuan Jumlah Pohon Contoh
untuk Pendugaan Volume Batang Meranti Rawa (*Shorea* spp.)
menggunakan Persamaan Taper**

Oleh :

Muhdin

Sandra Agustin

**DEPARTEMEN MANAJEMEN HUTAN
FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
2024**

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelolaan hutan, termasuk didalamnya pemanenan hasil hutan, harus direncanakan dengan baik agar diperoleh hasil yang maksimal dan lestari, baik kelestarian produksi maupun kelestarian perusahaan. Salah satu tahapan perencanaan dalam pengelolaan hutan adalah perencanaan produksi, yang memerlukan data potensi tegakan yang akurat. Pendugaan potensi tegakan dapat dilakukan dengan menggunakan alat bantu berupa tabel-tabel volume pohon yang disusun dari beberapa pohon contoh (pohon model). Pohon model untuk penyusunan tabel volume biasanya berjumlah 50-100 pohon atau lebih (Loetsch, Zohrer dan Haller 1973).

Dengan anggapan bahwa bentuk batang pohon itu khas untuk setiap jenis pohon, maka penggunaan pohon contoh dapat dikurangi jumlahnya dengan membuat suatu model penduga volume batang yang disusun dengan memperhatikan bentuk batang pohon yang dikenal dengan istilah Integrasi Persamaan Taper. Persamaan taper ini disusun berdasarkan hubungan antara diameter relatif dan tinggi relatif. Bila persamaan taper cukup representatif di dalam menggambarkan bentuk batang pohonnya, maka pendugaan volume batang melalui integrasi persamaan taper ini diharapkan memiliki ketelitian dan akurasi yang lebih baik dari pendugaan volume berdasarkan tabel volume biasa. Dalam penelitian ini ingin dilihat akurasi dugaan volume pohon menggunakan pendekatan integrasi persamaan taper yang menggunakan jumlah pohon jauh lebih sedikit (3-9 pohon contoh) dibandingkan dengan menggunakan tabel volume pohon yang disusun dengan menggunakan 50 pohon contoh.

1.2 Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan model pendugaan volume batang terbaik melalui pendekatan integrasi persamaan taper
2. Menentukan jumlah pohon contoh optimal untuk menyusun model penduga volume batang dengan integrasi persamaan taper.
3. Membandingkan akurasi hasil pendugaan volume batang yang diduga menggunakan model penduga volume batang terbaik hasil integrasi persamaan taper dengan model penduga volume batang standar.

1.3 Asumsi

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Bentuk batang pohon dapat digambarkan dengan persamaan taper yang disusun menggunakan hubungan diameter relatif dan tinggi relatif
2. Volume pohon pada tinggi tertentu dapat diduga menggunakan integrasi persamaan taper
3. Model taper hanya dapat digunakan untuk menduga volume batang pohon dengan satu tipe bentuk batang tertentu yang khas untuk setiap jenis pohon.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pohon Meranti rawa (*Shorea spp.*) dalam keadaan rebah setelah ditebang di sebuah unit manajemen hutan alam di Provinsi Riau dan alat-alat yang digunakan adalah *phi band*, pita ukur, *tally sheet*, golok, alat tulis dan kalkulator. Sedangkan untuk pengolahan dan analisis data menggunakan seperangkat PC (*Personal Computer*) dengan perangkat lunak *Microsoft Excel* dan *Minitab*.

2.2 Metode Penelitian

2.2.1 Pengumpulan Data

Pengambilan pohon contoh dilakukan secara *purposive* dengan memperhatikan sebaran (ada keterwakilan ukuran) diameter dan tinggi pohon. Jumlah pohon yang dipilih dan ditebang kemudian diukur adalah sebanyak 75 pohon. Pengukuran dimensi pohon meliputi diameter setinggi dada (dbh), diameter pangkal dan diameter ujung tiap seksi batang, panjang tiap seksi, tinggi tunggak dan tinggi banir. Panjang tiap seksi ditentukan sebesar 1 m.

2.2.2 Pengolahan Data

Volume aktual batang kayu dihitung dengan menjumlahkan seluruh volume tiap seksi batang pada setiap pohon. Volume seksi batang tersebut dihitung menggunakan rumus Smalian yaitu :

$$V = \left(\frac{g_t + g_s}{2} \right) (L)$$

Keterangan :

V = volume batang g_t = luas bidang dasar pangkal batang
L = panjang batang g_s = luas bidang dasar ujung batang

Untuk persiapan penyusunan model, data diameter dan tinggi diubah ke dalam diameter relatif (d/D) dan tinggi relatif (h/H). Diameter dan tinggi relatif tersebut dihitung dengan cara membagi diameter tiap seksi (d) dengan diameter setinggi dada (dbh) atau (D) untuk diameter relatif dan membagi tinggi seksi dari permukaan tanah (h) dengan tinggi total (H) untuk tinggi relatif.

2.2.3 Analisis Data

Untuk mengetahui keeratan hubungan antara tinggi dengan diameter digunakan persamaan sebagai berikut :

$$r = \frac{\left(\sum xy - \frac{(\sum x \sum y)}{n} \right)}{\sqrt{\left[\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \right) \left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \right) \right]}}$$

Keterangan :

r = koefisien korelasi; x = tinggi pohon; y = diameter pohon; n = jumlah pohon

2.2.4 Penyusunan Persamaan Taper

Data hasil pengukuran di lapangan selanjutnya diolah untuk mendapatkan persamaan taper yang terdiri dari enam model umum, yaitu sebagai berikut :

$$1. \left(\frac{d}{D}\right) = f\left\{\left(\frac{h}{H}\right)\right\}$$

$$4. \left(\frac{d}{D}\right)^2 = f\left\{\left(\frac{h}{H}\right)\right\}$$

$$2. \left(\frac{d}{D}\right) = f\left\{\left(\frac{h}{H}\right), \left(\frac{h}{H}\right)^2\right\}$$

$$5. \left(\frac{d}{D}\right)^2 = f\left\{\left(\frac{h}{H}\right), \left(\frac{h}{H}\right)^2\right\}$$

$$3. \left(\frac{d}{D}\right) = f\left\{\left(\frac{h}{H}\right), \left(\frac{h}{H}\right)^2, \left(\frac{h}{H}\right)^3\right\}$$

$$6. \left(\frac{d}{D}\right)^2 = f\left\{\left(\frac{h}{H}\right), \left(\frac{h}{H}\right)^2, \left(\frac{h}{H}\right)^3\right\}$$

Keterangan :

$f(h/H)$ = fungsi diameter yang dinyatakan dalam rasio tinggi

(d/D) = rasio antara diameter pada limit tertentu dengan dbh

2.2.5 Pemilihan Persamaan Taper Terbaik

Dalam proses penyusunan model penduga volume pohon, pemilihan model terbaik dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa pertimbangan statistik yaitu uji keberartian model, koefisien determinasi, simpangan baku, nilai PRESS dan analisis sisaan terdiri dari uji visual kenormalan sisaan dan uji keaditifan model.

Penentuan persamaan taper terbaik dari enam persamaan taper yang disusun ditentukan dari nilai koefisien determinasi yang terbesar. Semakin besar nilai koefisien determinasi maka semakin baik persamaan tersebut.

2.2.6 Penyusunan Model Taper Berdasarkan Kelas Tinggi

Pohon contoh yang terpilih sebagai model, dikelompokkan berdasarkan sebaran tinggi dengan lebar tiap kelas sebesar 5. Berdasarkan kelas tinggi tersebut, selanjutnya disusun 6 model taper pada tiap kelas tinggi sesuai dengan jumlah data pada masing-masing kelas tinggi.

Dari enam model taper pada tiap kelas tinggi, kemudian dipilih satu model terbaik, dengan mempertimbangkan kriteria uji statistik.

2.2.7 Penyusunan Model Taper Berdasarkan Jumlah Pohon pada Tiap Kelas Tinggi

Dari persamaan terbaik yang diperoleh pada tiap kelas tinggi, selanjutnya disusun model penduga volume berdasarkan jumlah pohon. Jumlah pohon contoh yang digunakan dalam penyusunan persamaan tersebut yaitu : 3, 6 dan 9 pohon contoh.

Untuk setiap persamaan yang disusun pada setiap jumlah pohon dihitung juga beberapa kriteria statistik yang meliputi nilai s , R^2 , R^2_{adj} dan PRESS. Perhitungan ini untuk mengetahui persamaan terbaik dari penggunaan beberapa jumlah pohon contoh pada masing-masing model kelas tinggi.

2.2.8 Penyusunan Model Penduga Volume dengan Integrasi Model Taper

Dari hasil penyusunan model taper berdasarkan jumlah pohon, selanjutnya dilakukan proses integrasi taper untuk memperoleh model penduga volume dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = 0.25\pi \int_0^h d^2 dh$$

Keterangan :

V = volume batang H = tinggi pohon hingga bebas cabang

D = diameter seksi (f(H))

2.2.9 Penyusunan Model Penduga Volume

Model penduga volume pohon ini disusun menggunakan hubungan antara volume, diameter setinggi dada (dbh) dan tinggi pohon total yaitu :

$$V = a D^b \quad \text{dan} \quad V = a D^b H^c$$

Keterangan :

V = Volume dugaan H = Tinggi pohon

D = Diameter setinggi dada (dbh) a,b,c = konstanta

2.2.10 Validasi Model

Proses validasi model dilakukan dengan menggunakan beberapa ukuran statistik sebagai berikut :

1. Bias

$$e(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{(Vi - Vai)}{Vai} \right]}{n} \times 100\%$$

2. Ketelitian

$$S(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{(Vi - Vai)}{Vai} \right)^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n \frac{(Vi - Vai)}{Vai} \right)^2}{n}}{n - 1}} \times 100\%$$

3. Ketepatan

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\left| \frac{Vi - Vai}{Vai} \right| \right)}{n} \times 100\%$$

Keterangan :

e = rata-rata bias

n = jumlah pohon contoh

S(%) = persentase simpangan baku

Vi = volume dugaan pohon ke-i

Vai = volume aktual pohon ke-i

MAPE = persentase rata-rata error absolut

2.2.11 Penentuan Jumlah Pohon Optimal

Penentuan pohon contoh optimal dilakukan dengan cara memberikan peringkat model penduga volume pohon hasil validasi berdasarkan jumlah pohon contoh yang digunakan pada masing-masing kelas tinggi.

2.2.12 Perbandingan Model Terpilih

Model terpilih tiap kelas tinggi berdasarkan jumlah pohon selanjutnya dibandingkan dengan model penduga volume standar yang telah disusun untuk mengetahui performansi kedua model tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sebaran Pohon Contoh

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan pohon contoh diketahui diameter setinggi dada (Dbh) memiliki sebaran nilai antara 23.6-86.2 cm dan rata-rata Dbh sebesar 54.57cm. Nilai sebaran untuk diameter perseksi yaitu antara 17.6-86.4 cm, sedangkan sebaran nilai untuk tinggi bebas cabang (Tbc) adalah 10.8-26.5 m. Pohon contoh tersebut dikelompokkan berdasarkan kelas tinggi pohon, menjadi tiga kelas tinggi pohon (Tabel 1).

Tabel 1. Pengelompokan Data Berdasarkan Tiga Kelas Tinggi

kelas	Selang	Batas	Frekuensi
1	10 - 19 m	10.00-19.99	30
2	20 - 24 m	20.00-24.99	40
3	25 - 29 m	25.00-29.99	5

3.2 Analisis Data

Analisis data untuk melihat keeratan hubungan antara diameter dengan tinggi dapat dihitung dari besarnya nilai koefisien korelasi (r). Nilai korelasi untuk diameter relatif (d/D) dan tinggi relatif (h/H) adalah -0.847, sedangkan nilai korelasi antara diameter setinggi dada (Dbh) dan tinggi bebas cabang (Tbc) yaitu sebesar 0.755. Nilai ini menggambarkan keeratan hubungan yang tinggi antara diameter dengan tinggi.

3.3 Penyusunan Persamaan Taper

3.3.1 Persamaan Taper Umum

Persamaan taper umum yang disusun pada penelitian ini ada enam persamaan taper yang menggunakan seluruh data diameter relatif dan tinggi relatif (Tabel 2).

Tabel 2. Persamaan Taper Umum

No	Persamaan	R ²	R ² (adj)	s	Press	F-hitung
1	$(d/D) = 1.01 - 0.295 (h/H)$	71.7	71.7	0.05195	4.07049	3816.75*
2	$(d/D) = 1.02 - 0.371 (h/H) + 0.0692 (h/H)^2$	72	71.9	0.05174	4.04025	1930.52*
3	$(d/D) = 1.04 - 0.541 (h/H) + 0.442 (h/H)^2 - 0.229 (h/H)^3$	72.1	72.1	0.05161	4.02196	1296.63*
4	$(d/D)^2 = 0.996 - 0.497 (h/H)$	72.5	72.5	0.08583	11.1099	3961.88*
5	$(d/D)^2 = 1.04 - 0.732 (h/H) + 0.215 (h/H)^2$	73.3	73.3	0.08453	10.78	2066.65*
6	$(d/D)^2 = 1.08 - 1.05 (h/H) + 0.918 (h/H)^2 - 0.432 (h/H)^3$	73.5	73.5	0.08422	10.7098	1391.52*

F_(0.05)(1.1504) = 3.84F_(0.05)(2.1503) = 3.00F_(0.05)(3.1502) = 2.60F_(0.01)(1.1504) = 6.63F_(0.01)(2.1503) = 4.61F_(0.01)(3.1502) = 3.78

* = sangat nyata

Berdasarkan tabel di atas diketahui bahwa semua persamaan taper umum memiliki nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel. Hal ini berarti tinggi relatif berpengaruh sangat nyata dalam menduga diameter relatif. Kemudian dari tabel di atas, dapat ditentukan persamaan taper terbaik yaitu persamaan ke-6 $((d/D)^2 = 1.08 - 1.05(h/H) + 0.918(h/H)^2 - 0.432(h/H)^3)$. Hal ini dapat dilihat dari nilai statistik, dimana persamaan ke-6 memiliki nilai koefisien determinasi (R² dan R²adj) yang lebih besar jika dibandingkan dengan persamaan yang lainnya.

3.3.2 Persamaan Taper Berdasarkan Kelas Tinggi

1. Kelas Tinggi I (10-19 m)

Pohon contoh pada kelas tinggi I terdiri dari 30 pohon contoh dengan jumlah seksi sebanyak 518 seksi batang. Kelas tinggi I ini akan disusun menjadi 6 persamaan taper untuk menentukan persamaan terbaik (Tabel 3).

Tabel 3. Persamaan Taper Kelas Tinggi 10 – 19 m

No	Persamaan regresi	R ²	R ² (adj)	s	Press	F-hitung
1	$(d/D) = 1.01 - 0.263 (h/H)$	65.9	65.8	0.05408	1.52128	995.57*
2	$(d/D) = 1.02 - 0.336 (h/H) + 0.0677 (h/H)^2$	66.1	66	0.05391	1.51453	503.1*
3	$(d/D) = 1.03 - 0.454 (h/H) + 0.331 (h/H)^2 - 0.163 (h/H)^3$	66.2	66	0.05389	1.51568	336.25*
4	$(d/D)^2 = 1.00 - 0.451 (h/H)$	66.9	66.8	0.09081	4.2877	1040.64*
5	$(d/D)^2 = 1.04 - 0.661 (h/H) + 0.194 (h/H)^2$	67.6	67.5	0.0898	4.20029	538.38*
6	$(d/D)^2 = 1.07 - 0.898 (h/H) + 0.721 (h/H)^2 - 0.326 (h/H)^3$	67.8	67.6	0.08969	4.19752	360.49*

F_(0.05)(1.516) = 3.84F_(0.05)(2.515) = 3.00F_(0.05)(3.514) = 2.60F_(0.01)(1.516) = 6.63F_(0.01)(2.515) = 4.61F_(0.01)(3.514) = 3.78

* = sangat nyata

Berdasarkan tabel di atas diketahui bahwa semua persamaan taper memiliki nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel. Hal ini berarti tinggi relatif berpengaruh sangat nyata dalam menduga diameter relatif. Kemudian dari tabel di atas, dapat ditentukan persamaan taper terbaik yaitu persamaan ke-6 $((d/D)^2 = 1.07 - 0.898(h/H) + 0.721(h/H)^2 - 0.326(h/H)^3)$. Hal ini dapat dilihat dari nilai

statistik, dimana persamaan ke-6 memiliki nilai Koefisien determinasi (R^2 dan R^2_{adj}) yang lebih besar jika dibandingkan dengan persamaan yang lainnya.

2. Kelas Tinggi II (20-24 m)

Pohon contoh pada kelas tinggi II terdiri dari 40 pohon dengan jumlah seksi sebanyak 866 seksi batang. Data perseksi kelas tinggi II ini akan disusun menjadi 6 persamaan taper untuk menentukan persamaan terbaik (Tabel 4).

Tabel 4. Persamaan Taper Kelas Tinggi 20 – 24 m

No	Persamaan regresi	R^2	R^2_{adj}	s	Press	F-hitung
1	$(d/D) = 1.01 - 0.309 (h/H)$	75.7	75.7	0.04858	2.04878	2694.89*
2	$(d/D) = 1.02 - 0.379 (h/H) + 0.0639 (h/H)^2$	75.9	75.9	0.04841	2.03646	1360.58*
No	Persamaan regresi	R^2	R^2_{adj}	s	Press	F-hitung
3	$(d/D) = 1.05 - 0.594 (h/H) + 0.533 (h/H)^2 - 0.287 (h/H)^3$	76.2	76.1	0.0482	2.02084	917.95*
4	$(d/D)^2 = 0.995 - 0.516 (h/H)$	76.5	76.5	0.07945	5.47863	2817.64*
5	$(d/D)^2 = 1.04 - 0.750 (h/H) + 0.214 (h/H)^2$	77.3	77.3	0.07812	5.30148	1472.49*
6	$(d/D)^2 = 1.09 - 1.14 (h/H) + 1.07 (h/H)^2 - 0.522 (h/H)^3$	77.6	77.5	0.07767	5.24602	996.68*

$$F_{(0.05)(1.864)} = 3.84$$

$$F_{(0.05)(2.863)} = 3.00$$

$$F_{(0.05)(3.862)} = 2.60$$

$$F_{(0.01)(1.864)} = 6.63$$

$$F_{(0.01)(2.863)} = 4.61$$

$$F_{(0.01)(3.862)} = 3.78$$

* = sangat nyata

Berdasarkan tabel di atas diketahui bahwa semua persamaan taper memiliki nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel. Hal ini berarti tinggi relatif berpengaruh sangat nyata dalam menduga diameter relatif. Kemudian dari tabel di atas, dapat ditentukan persamaan taper terbaik yaitu persamaan ke-6 ($(d/D)^2 = 1.09 - 1.14(h/H) + 1.07(h/H)^2 - 0.522(h/H)^3$). Hal ini dapat dilihat dari nilai statistik, dimana persamaan ke-6 memiliki nilai Koefisien determinasi (R^2 dan R^2_{adj}) yang lebih besar jika dibandingkan dengan persamaan yang lainnya.

3. Kelas Tinggi III (25-29 m)

Pohon contoh pada kelas tinggi III terdiri dari 5 pohon contoh dengan jumlah seksi sebanyak 122 seksi batang. Kelas tinggi III ini akan disusun 6 persamaan taper untuk menentukan persamaan terbaik (Tabel 5).

Tabel 5. Persamaan Taper Kelas Tinggi 24 – 29 m

No	Persamaan regresi	R^2	R^2_{adj}	s	Press	F-hitung
1	$(d/D) = 1.00 - 0.346 (h/H)$	92.2	92.1	0.02788	0.096621	1414.47*
2	$(d/D) = 1.01 - 0.391 (h/H) + 0.0409 (h/H)^2$	92.3	92.1	0.02786	0.097108	709.11*
3	$(d/D) = 1.05 - 0.688 (h/H) + 0.692 (h/H)^2 - 0.402 (h/H)^3$	92.7	92.5	0.02713	0.09284	501.06*
4	$(d/D)^2 = 0.984 - 0.567 (h/H)$	91.1	91	0.04909	0.299846	1225.93*
5	$(d/D)^2 = 1.03 - 0.790 (h/H) + 0.205 (h/H)^2$	91.8	91.7	0.04723	0.27921	667.35*
6	$(d/D)^2 = 1.09 - 1.30 (h/H) + 1.32 (h/H)^2 - 0.687 (h/H)^3$	92.3	92.1	0.04597	0.266434	472.25*

$$F_{(0.05)(1.120)} = 3.92$$

$$F_{(0.05)(2.119)} = 3.07$$

$$F_{(0.05)(3.118)} = 2.68$$

$$F_{(0.01)(1.120)} = 6.85$$

$$F_{(0.01)(2.119)} = 4.79$$

$$F_{(0.01)(3.118)} = 3.96$$

* = sangat nyata

Berdasarkan tabel di atas diketahui bahwa semua persamaan taper kelas tinggi III memiliki nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel. Hal ini berarti tinggi relatif berpengaruh sangat nyata dalam menduga diameter relatif. Kemudian dari tabel di atas, dapat ditentukan persamaan taper terbaik yaitu persamaan ke-3 ($(d/D)^2 = 1.09 - 1.30(h/H) + 1.32(h/H)^2 - 0.687(h/H)^3$). Hal ini dapat dilihat dari nilai statistik, dimana persamaan ke-3 memiliki nilai Koefisien determinasi (R^2 dan R^2_{adj}) yang lebih besar jika dibandingkan dengan persamaan yang lainnya.

3.4 Penyusunan Persamaan Taper Berdasarkan Jumlah Pohon

Persamaan taper terbaik yang terpilih dari penyusunan 6 persamaan taper di atas, selanjutnya akan digunakan untuk menyusun persamaan penduga volume pohon berdasarkan jumlah pohon. Jumlah pohon contoh yang digunakan adalah 3, 6 dan 9 pohon contoh pada setiap kelas tinggi pohon.

3.4.1 Persamaan Taper Tanpa Pengkelasan (Umum)

Persamaan ini disusun dengan menggunakan seluruh data tanpa adanya pengkelasan (Tabel 6). Pengambilan data dilakukan secara acak dan menyebar merata pada seluruh sebaran data yang sesuai dengan jumlah pohon yang digunakan untuk menyusun persamaan taper umum.

Tabel 6. Persamaan Taper Tanpa Pengkelasan dengan 3, 6 dan 9 Pohon Contoh

No.	n	Persamaan regresi	R^2	R^2_{adj}	s	Press	F hitung
1	3	$(d/D)^2 = 1.13 - 0.925 (h/H) + 0.360 (h/H)^2 - 0.065 (h/H)^3$	95	94.7	0.03983	0.089741	305.8*
2	6	$(d/D)^2 = 1.11 - 1.25 (h/H) + 1.08 (h/H)^2 - 0.465 (h/H)^3$	89.7	89.5	0.05477	0.351975	320.97*
3	9	$(d/D)^2 = 1.09 - 1.25 (h/H) + 1.48 (h/H)^2 - 0.857 (h/H)^3$	84	83.7	0.06324	0.725022	304.88*

$F_{(0.05)(3,48)} = 2.81$

$F_{(0.01)(3,48)} = 4.23$

* = sangat nyata

$F_{(0.05)(3,110)} = 2.69$

$F_{(0.01)(3,110)} = 3.98$

$F_{(0.05)(3,174)} = 2.60$

$F_{(0.01)(3,174)} = 3.78$

Berdasarkan tabel di atas diketahui bahwa semua persamaan taper umum memiliki nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel. Hal ini berarti tinggi relatif berpengaruh sangat nyata dalam menduga diameter relatif. Dari nilai Koefisien determinasi yang mengalami perubahan nilai sesuai dengan jumlah pohon yang digunakan, dapat ditentukan persamaan terbaik yaitu persamaan ke-1 yang menggunakan 3 pohon contoh. Persamaan ini akan digunakan untuk melakukan analisis selanjutnya.

3.4.2 Persamaan Taper Kelas Tinggi I (10–19 m)

Persamaan ini disusun dengan menggunakan data yang memiliki tinggi bebas cabang antara 10-19 m (Tabel 7). Pengambilan data dilakukan secara acak dan menyebar merata pada seluruh sebaran data yang sesuai dengan jumlah pohon yang digunakan untuk menyusun persamaan kelas tinggi I.

Tabel 7. Persamaan Taper Kelas Tinggi I dengan 3, 6 dan 9 Pohon Contoh

No.	N	Persamaan regresi	R ²	R ² (adj)	s	Press	F _{hitung}
1	3	$(d/D)^2 = 1.11 - 1.08 (h/H) + 1.24 (h/H)^2 - 0.667 (h/H)^3$	94.1	93.7	0.03303	0.059355	225.14*
2	6	$(d/D)^2 = 1.07 - 0.957 (h/H) + 0.491 (h/H)^2 - 0.128 (h/H)^3$	90.8	90.5	0.05193	0.283716	321.66*
3	9	$(d/D)^2 = 1.07 - 0.899 (h/H) + 0.512 (h/H)^2 - 0.184 (h/H)^3$	83.7	83.4	0.06719	0.700283	253.95*

$$F_{(0.05)(3.42)} = 2.83$$

$$F_{(0.05)(3.98)} = 2.71$$

$$F_{(0.05)(3.148)} = 2.60$$

$$F_{(0.01)(3.42)} = 4.29$$

$$F_{(0.01)(3.98)} = 4.02$$

$$F_{(0.01)(3.148)} = 3.78$$

* = sangat nyata

Berdasarkan tabel di atas diketahui bahwa semua persamaan taper kelas tinggi I memiliki nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel. Hal ini berarti tinggi relatif berpengaruh sangat nyata dalam menduga diameter relatif. Dari nilai Koefisien determinasi yang mengalami perubahan nilai sesuai dengan jumlah pohon yang digunakan, dapat ditentukan persamaan terbaik yaitu persamaan ke-1 yang menggunakan 3 pohon contoh. Persamaan ini akan digunakan untuk melakukan analisis selanjutnya.

3.4.3 Persamaan Taper Kelas Tinggi II (20-24 m)

Persamaan disusun dengan menggunakan data yang memiliki tinggi bebas cabang antara 20–24 m (Tabel 8). Pengambilan data dilakukan secara acak dan menyebar merata pada seluruh sebaran data yang sesuai dengan jumlah pohon contoh yang digunakan untuk menyusun persamaan kelas tinggi II.

Tabel 8. Persamaan Taper Kelas Tinggi II dengan 3, 6 dan 9 Pohon Contoh

No	n	Persamaan regresi	R ²	R ² (adj)	s	Press	F _{hitung}
1	3	$(d/D)^2 = 1.09 - 1.44 (h/H) + 1.82 (h/H)^2 - 0.958 (h/H)^3$	96.5	96.3	0.02507	0.043764	570.46*
2	6	$(d/D)^2 = 1.11 - 1.15 (h/H) + 1.02 (h/H)^2 - 0.512 (h/H)^3$	86.8	86.4	0.06099	0.484887	268.95*
3	9	$(d/D)^2 = 1.10 - 1.34 (h/H) + 1.54 (h/H)^2 - 0.842 (h/H)^3$	85.8	85.6	0.06055	0.725478	384.84*

$$F_{(0.05)(3.62)} = 2.75$$

$$F_{(0.05)(3.123)} = 2.68$$

$$F_{(0.05)(3.191)} = 2.60$$

$$F_{(0.01)(3.62)} = 4.11$$

$$F_{(0.01)(3.123)} = 3.95$$

$$F_{(0.01)(3.191)} = 3.78$$

* = sangat nyata

Berdasarkan tabel di atas diketahui bahwa semua persamaan taper kelas tinggi II memiliki nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel. Hal ini berarti tinggi relatif berpengaruh sangat nyata dalam menduga diameter relatif. Dari nilai Koefisien determinasi yang mengalami perubahan nilai sesuai dengan jumlah pohon yang digunakan, dapat ditentukan persamaan terbaik yaitu persamaan ke-1 yang menggunakan 3 pohon contoh. Persamaan ini akan digunakan untuk melakukan analisis selanjutnya.

3.5 Penyusunan Persamaan Penduga Volume Pohon dengan Integrasi Persamaan Taper

Dari hasil penyusunan persamaan taper dengan menggunakan beberapa pohon contoh pada tiap kelas tinggi dan tanpa pengkelasan maka dapat ditentukan

persamaan terbaik pada tiap kelas tinggi. Selanjutnya dilakukan proses integrasi persamaan taper terbaik untuk mendapatkan persamaan penduga volume pohon.

3.5.1 Persamaan Penduga Volume Pohon Tanpa Pengkelasan

$$(d/D)^2 = 1.13 - 0.925(h/H) + 0.630(h/H)^2 - 0.065(h/H)^3$$

$$V = \frac{1}{4} \pi \int_0^h D^2 (d/D)^2 dh$$

$$V = \frac{1}{4} \pi \int_0^h D^2 [1.13 - 0.925(h/H) + 0.630(h/H)^2 - 0.065(h/H)^3] dh$$

$$V = \frac{1}{4} \pi D^2 H [1.13(h/H) - 0.4625(h/H)^2 + 0.12(h/H)^3 - 0.01625(h/H)^4]_0^h$$

$$\text{Pada saat } h = H \text{ maka : } V = 0.25 \pi D^2 H (0.77125)$$

3.5.2 Persamaan Penduga Volume Pohon Kelas Tinggi I (10 – 19 m)

$$(d/D)^2 = 1.11 - 1.08(h/H) + 1.24(h/H)^2 - 0.667(h/H)^3$$

$$V = \frac{1}{4} \pi \int_0^h D^2 [1.11 - 1.08(h/H) + 1.24(h/H)^2 - 0.667(h/H)^3] dh$$

$$V = \frac{1}{4} \pi D^2 H [1.11(h/H) - 0.54(h/H)^2 + 0.41333(h/H)^3 - 0.16675(h/H)^4]_0^h$$

$$\text{Pada saat } h = H \text{ maka : } V = 0.25 \pi D^2 H (0.81658)$$

3.5.3 Persamaan Penduga Volume Pohon Kelas Tinggi II (20 – 24 m)

$$(d/D)^2 = 1.09 - 1.44(h/H) + 1.82(h/H)^2 - 0.958(h/H)^3$$

$$V = \frac{1}{4} \pi \int_0^h D^2 [1.09 - 1.44(h/H) + 1.82(h/H)^2 - 0.958(h/H)^3] dh$$

$$V = \frac{1}{4} \pi D^2 H [1.09(h/H) - 0.72(h/H)^2 + 0.606667(h/H)^3 - 0.2395(h/H)^4]_0^h$$

$$\text{Pada saat } h = H \text{ maka : } V = 0.25 \pi D^2 H (0.737167)$$

3.6 Penyusunan Persamaan Tabel Volume

Penyusunan persamaan tabel volume dilakukan sebagai pembandingan terhadap persamaan penduga volume yang disusun melalui integrasi persamaan taper. Persamaan tabel volume disusun menggunakan hubungan Volume aktual, Dbh dan Tbc yaitu : $V = a D^b$ dan $V = a D^b H^c$ (Tabel 9).

Tabel 9. Persamaan Penduga Volume Standar

No.	Persamaan volume	R ²	R ² (adj)	S	PRESS	F-hitung
1	$V = 0.0002512D^{2.36}$	95.7	95.6	0.05334	0.220011	1612.74*
2	$V = 0.0001318D^{1.94}H^{0.763}$	97.4	97.3	0.04156	0.134825	1352.07*

$$F_{(0.05)(1.73)} = 3.95$$

$$F_{(0.05)(2.72)} = 3.13$$

$$F_{(0.01)(1.73)} = 7.03$$

$$F_{(0.01)(2.72)} = 4.94$$

* = sangat nyata

Berdasarkan tabel di atas diketahui bahwa persamaan penduga volume standar memiliki nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel. Hal ini berarti Tbc berpengaruh sangat nyata dalam menduga Dbh. Dari tabel di atas diketahui, nilai Koefisien determinasi persamaan ke-2 lebih baik dari persamaan ke-1, hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan peubah bebas yaitu tinggi dapat menjelaskan keragaman peubah tak bebas menjadi lebih baik. Selain nilai

koefisien determinasi, nilai simpangan baku dan nilai PRESS untuk persamaan ke-2 juga lebih baik dari pada persamaan ke-1.

3.7 Validasi Persamaan Penduga Volume Pohon

1. Perbandingan Persamaan Penduga Volume

Perbandingan persamaan penduga volume dilakukan antara persamaan penduga volume hasil integrasi persamaan taper dengan persamaan penduga volume standar. Validasi persamaan volume dilakukan dengan menggunakan seluruh data yang ada dan uji validasi meliputi perhitungan nilai bias (MPE), simpangan (S) dan kesalahan absolut (MAPE) (Tabel 10).

Tabel 10. Validasi Persamaan Penduga Volume Pohon

No	Persamaan volume	MPE (%)	S (%)	MAPE (%)	Keterangan
1	$V = 0.25\pi D^2 H(0.77125)$	17.26216	12.68929	17.783389	Model umum
2	$V = 0.25\pi D^2 H(0.81658)$	24.15421	13.4351	24.216177	Kelas 1
3	$V = 0.25\pi D^2 H(0.737167)$	12.08012	12.12853	13.771886	Kelas 2
4	$V = 0.0002512 D^{2.36}$	-0.202754	12.30831	10.043222	Tabel volume (D)
5	$V = 0.0001318 D^{1.94} H^{0.763}$	-1.690912	9.337087	7.9650597	Tabel volume (D;H)

Berdasarkan tabel di atas diketahui nilai bias terkecil dimiliki oleh persamaan ke-4, dimana semakin kecil nilai bias atau mendekati nol maka persamaan tersebut paling baik. Sedangkan nilai simpangan baku dan MAPE terkecil dimiliki oleh persamaan ke-5. Nilai simpangan menunjukkan tingkat ketelitian sedangkan nilai MAPE menunjukkan besarnya persentase kesalahan absolut.

Untuk menentukan persamaan terbaik maka dilakukan peringkat dari hasil uji validasi yang terdiri dari nilai bias (MPE), nilai simpangan dan nilai MAPE. Dari hasil peringkat diketahui persamaan terbaik yaitu persamaan ke-5 ($V = 0.0001318 D^{1.94} H^{0.763}$). Persamaan ini merupakan persamaan penduga volume standar yang menggunakan seluruh data.

2. Perbandingan Persamaan Penduga Volume Hasil Integrasi Persamaan Taper

Perbandingan persamaan dilakukan antara persamaan penduga volume hasil integrasi persamaan taper menggunakan variabel volume, diameter setinggi dada (Dbh) dan tinggi bebas cabang (Tbc) dengan persamaan penduga volume hasil integrasi persamaan taper menggunakan variabel volume dan Dbh. Persamaan yang menggunakan variabel volume dan Dbh tersebut didapat dengan asumsi fungsi Tbc sama dengan Dbh. Ada dua persamaan fungsi Tbc yang disusun untuk menggantikan fungsi Tbc pada persamaan pendugaan volume hasil integrasi persamaan taper yaitu $H = a D^b$ dan $H = a + bD$. Dari hasil perhitungan kedua persamaan tersebut dapat ditentukan persamaan terbaik adalah $H = a D^b$ untuk tiap persamaan pada setiap kelas tinggi (Tabel 11).

Tabel 11. Validasi Persamaan Penduga Volume Hasil Integrasi Persamaan Taper

No	Persamaan volume	MPE (%)	S (%)	MAPE (%)	Keterangan
1.a	$V = 0.25\pi D^2 H(0.77125)$	17.26216	12.68929	17.78339	Model Umum
1.b	$V = 17.4608D^{2.552}$	17.1534	15.58629	18.23583	Model Umum
2.a	$V = 0.25\pi D^2 H(0.81658)$	24.15421	13.4351	24.21618	Kelas 1
2.b	$V = 17.2531D^{2.531}$	17.28515	15.37713	18.42832	Kelas 1
3.a	$V = 0.25\pi D^2 H(0.737167)$	12.08012	12.12853	13.77189	Kelas 2
3.b	$V = 13.8815D^{2.141}$	20.92105	16.46334	21.27334	Kelas 2

Untuk menentukan persamaan terbaik maka dilakukan peringkat dari hasil uji validasi yang terdiri dari nilai bias (MPE), nilai simpangan dan nilai MAPE. Dari hasil peringkat diketahui persamaan terbaik yaitu persamaan ke-3.a ($V = 0.25\pi D^2 H(0.737167)$). Persamaan ini merupakan persamaan penduga volume hasil integrasi persamaan taper yang menggunakan tiga pohon contoh dan persamaan yang memiliki variabel bebas yaitu Dbh dan Tbc. Berdasarkan hasil peringkat dapat diketahui penggunaan variabel bebas yaitu Dbh ternyata tidak dapat meningkatkan nilai validitas.

3. Perbandingan Persamaan Penduga Volume dengan Peubah bebas Diameter Setinggi Dada

Perbandingan antara persamaan penduga volume hasil integrasi persamaan taper yang menggunakan variabel volume dan Dbh dengan persamaan penduga volume standar yang menggunakan variabel volume dan Dbh dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Validasi Persamaan Penduga Volume dengan Peubah Bebas Diameter Setinggi Dada

No	Persamaan volume	MPE (%)	S (%)	MAPE (%)	Keterangan
1	$V = 17.4608D^{2.552}$	17.1534	15.58629	18.23583	Model Umum
2	$V = 17.2531D^{2.531}$	17.28515	15.37713	18.42832	Kelas 1
3	$V = 13.8815D^{2.141}$	20.92105	16.46334	21.27334	Kelas 2
4	$V = 0.0002512 D^{2.36}$	-0.202754	12.30831	10.043222	Tabel volume (D)

Penentuan persamaan terbaik dapat dilakukan dengan memberi peringkat pada hasil uji validasi yang terdiri dari nilai bias (MPE), nilai simpangan dan nilai MAPE. Dari hasil peringkat diketahui persamaan terbaik yaitu persamaan ke-4 ($V = 0.0002512 D^{2.36}$). Persamaan ini merupakan persamaan penduga volume standar yang menggunakan variabel yaitu volume aktual dan Dbh.

4. Perbandingan Persamaan Penduga Volume dengan Peubah bebas Dbh dan Tbc

Perbandingan antara persamaan penduga volume hasil integrasi persamaan taper yang menggunakan variabel volume, Dbh dan Tbc dengan persamaan penduga volume standar yang menggunakan variabel volume, Dbh dan Tbc dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Validasi Persamaan Penduga Volume dengan Peubah Bebas Dbh dan Tbc

No	Persamaan volume	MPE (%)	S (%)	MAPE (%)	Keterangan
1	$V = 0.25\pi D^2 H(0.77125)$	17.26216	12.68929	17.78339	Model Umum
2	$V = 0.25\pi D^2 H(0.81658)$	24.15421	13.4351	24.21618	Kelas 1
3	$V = 0.25\pi D^2 H(0.737167)$	12.08012	12.12853	13.77189	Kelas 2
4	$V = 0.0001318 D^{1.94} H^{0.763}$	-1.690912	9.337087	7.9650597	Tabel volume (D,H)

Penentuan persamaan terbaik dapat dilakukan dengan memberi peringkat pada hasil uji validasi yang terdiri dari nilai bias (MPE), nilai simpangan dan nilai MAPE. Dari hasil pemeringkatan diketahui persamaan terbaik yaitu persamaan ke-4 ($V = 0.0001318 D^{1.94} H^{0.763}$). Persamaan ini merupakan persamaan penduga volume standar yang menggunakan seluruh data dan merupakan persamaan yang memiliki variabel bebas yaitu Dbh dan Tbc. Penggunaan seluruh data (75 pohon contoh) ini memiliki persamaan penduga volume yang lebih baik jika dibandingkan dengan jumlah pohon contoh lainnya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Persamaan taper terbaik yang dihasilkan secara konsisten pada kelas tinggi I, kelas tinggi II dan tanpa pengkelasan adalah persamaan taper $[(d/D)^2 = f\{(h/H), (h/H)^2, (h/H)^3\}]$, sedangkan untuk kelas tinggi III persamaan taper terbaiknya adalah model polinomial orde ketiga $[(d/D) = f\{(h/H), (h/H)^2, (h/H)^3\}]$.
2. Persamaan penduga volume terbaik dari 5 persamaan yang diuji adalah persamaan penduga volume standar ($V = 0.0001318 D^{1.94} H^{0.763}$). Sedangkan persamaan penduga volume hasil integrasi persamaan taper yang terbaik dari 6 persamaan yang diuji adalah persamaan penduga volume kelas tinggi II ($V = 0.25 \pi D^2 H (0.737167)$).
3. Persamaan volume : $V = 0.0002512 D^{2.36}$ merupakan persamaan terbaik dari pengujian persamaan penduga volume dengan peubah bebas Dbh. Sedangkan persamaan terbaik untuk pengujian persamaan penduga Volume dengan peubah bebas Dbh dan Tbc adalah $V = 0.0001318 D^{1.94} H^{0.763}$.
4. Persamaan volume dengan menggunakan 3 pohon contoh yang disusun dengan integrasi persamaan taper lebih baik jika dibandingkan dengan 6 dan 9 pohon contoh tetapi akurasi lebih rendah dari persamaan penduga volume standar.

4.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui sejauh mana akurasi persamaan penduga volume hasil integrasi persamaan taper dalam menduga volume pohon meranti lainnya yang memiliki pola bentuk batang berbeda dengan pohon model
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk jenis pohon lain terutama untuk jenis Dipterocarpaceae lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bruce, D. dan F. X. Schumacher. 1950. *Forest Mensuration*. New York : McGraw-Hill Book Company Inc.
- Djamhuri, E., I. Hilwan, Istomo dan I. Soerianegara. 2002. *Dendrologi*. Laboratorium Ekologi Hutan. Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Draper, N. R. dan H. Smith. 1992. *Analisis Regresi Terapan*. Edisi 2 (terjemahan). Jakarta : Gramedia.
- Husch, B. 1963. *Forest Mensuration and Statistic*. New York : The Ronald Press Company.
- Loetsch, F., F. Zohrer and K. E. Haller. 1973. *Forest Inventory*. Volume II (Translated by K. F. Panzer). Germany : Blv Verlagsgesellschaft, Muncen.
- Spurr, S. H. 1952. *Forest Inventory*. New York : The Ronald Press Company Inc.
- Suharlan, A. dan Y. Sudiono. 1973. *Ilmu Ukur Kayu*. Lembaga Penelitian Hutan. Bogor.
- Tantra, I.G.M., U. Sutisna dan Utja. 1977. Laporan Hasil Penelitian Jenis-jenis Meranti Rawa (*Shorea spp.*) di Riau dan Kalimantan Barat. Lembaga Penelitian Hutan. Bogor
- Tiryana, T. 2003. *Analisis Regresi Linier dengan Program Minitab For Windows*. Jurusan Manajemen Hutan. Fakultas Kahutanan, IPB.
- Wahjono, D. 1989. *Penyusunan Persamaan Taper dan Pendugaan Volume Batang Pinus merkusii Jungh. et de Vriese di KPH Bandung Utara Perum Perhutani Unit III Jawa Barat*. Thesis. Fakultas Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Walpole, E.R. 1993. *Pengantar Statistik*. Edisi 3 (Terjemahan). Jakarta : gramedia.