

MODEL HUBUNGAN TINGGI TEGAKAN DENGAN PENINGGI PADA HUTAN TANAMAN JATI (*Tectona grandis* L.f)

*Model of Stand Height and Upper Height Relationship for Teak
(Tectona grandis L.f) Plantation Forest*

Harbagung

Pusat Litbang Hutan Tanaman

Kampus Balitbang Kehutanan, Jl. Gunung Batu No. 5, Bogor

Tel. (0251) 631238, Fax. (0251) 7520005

Naskah masuk : 28 April 2008 ; Naskah diterima : 16 Februari 2009

ABSTRACT

*Diameter, height, upper height, and volume of the stand are important information resulted from forest plantation inventories. Among these, tree height, however, is relatively more difficult and time consuming to measure. This research was aimed to develop a model of stand height and upper height relationship for Teak (*Tectona grandis* L.f) plantation forest to make inventory work simpler. Result of homogeneity analysis of the regression equations based on 12 plots aged 7, 18, 25, and 35 years from Sumedang Forest District, 12 plots aged 12, 19, 108, and 117 years from Kendal Forest District, 18 plots aged 7, 17, 60, 66, and 79 years from Bora Forest District, and 24 plots aged 17, 20, 30, 33, 44, 47, 65, and 68 years from Saradan Forest District showed that the equations of stand height (H_s) and upper height (O_h) relationships were not significantly different between sites. Therefore, a single equation was developed which could be applied to all sites, i.e. $H_s = -2.2852 + 1.0572 O_h$, with the value of corrected determination coefficient was 0.998. Chi-square test using independent data suggested that the equation was relatively accurate for application.*

Key words : *forest plantation, model, stand height, teak (*Tectona grandis* L.f), upper height.*

ABSTRAK

Diameter, tinggi, peninggi, dan volume tegakan merupakan informasi penting yang perlu dihasilkan dari kegiatan inventarisasi hutan tanaman. Dalam pengumpulan data semua informasi tersebut, pengukuran tinggi pohon merupakan pekerjaan yang relatif sulit dan membutuhkan banyak waktu. Penelitian ini bertujuan menyusun model hubungan antara tinggi dengan peninggi tegakan hutan tanaman Jati (*Tectona grandis* L.f) agar pekerjaan inventarisasi dapat lebih sederhana. Hasil analisis keseragaman regresi terhadap 12 plot pada umur 7, 18, 25, dan 35 tahun di Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) Sumedang, 12 plot pada umur 12, 19, 108, dan 117 tahun di KPH Kendal, 18 plot pada umur 7, 17, 60, 66, dan 79 tahun di KPH Bora, dan 24 plot pada umur 17, 20, 30, 33, 44, 47, 65, dan 68 tahun di KPH Saradan menunjukkan bahwa persamaan hubungan tinggi tegakan (H_s) dengan peninggi tegakan (O_h) hutan tanaman Jati tidak berbeda nyata antar lokasi, sehingga dapat disusun sebuah persamaan yang berlaku di semua lokasi, yaitu $H_s \leq -2,2852 + 1,0572 O_h$, dengan koefisien determinasi terkoreksi sebesar 0,998. Uji χ^2 dengan menggunakan data *independent* menunjukkan bahwa persamaan tersebut cukup sah untuk penerapannya di lapangan.

Kata kunci : *hutan tanaman, Jati (*Tectona grandis* L.f), model, peninggi, tinggi tegakan.*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Informasi yang akurat mengenai luas, sebaran, dan potensi tegakan sangat diperlukan dalam pengelolaan hutan tanaman. Kondisi tegakan di tiap petak tanaman biasanya digambarkan melalui parameter diameter setinggi dada (*Dbh*) dan tinggi tegakan (*H*) yang merupakan gambaran penampilan individu pohon; peninggi (*Oh*) merupakan indikator kualitas tapak (bonita); jumlah pohon (*N*) dan luas bidang dasar, yang merupakan penjabaran dari diameter ($\sum \frac{1}{4}\pi Dbh^2$), mencerminkan kerapatan tegakan; dan volume tegakan ($V \leq \sum f(Dbh, H)$) mencerminkan massa kayu.

Semua informasi tersebut diperoleh dari kegiatan inventarisasi hutan. Dalam praktek lapangan, biasanya inventarisasi hutan tanaman dilaksanakan dengan membuat plot-plot sampel yang diletakkan tersebar merata pada tiap petak tanaman. Pengukuran diameter semua pohon di dalam tiap plot sampel merupakan pekerjaan sederhana dengan hasil cukup akurat, sedangkan pengukuran tinggi pohon merupakan pekerjaan yang relatif sulit dan membutuhkan banyak tenaga dan biaya karena: ⁽¹⁾membutuhkan waktu relatif lama, ⁽²⁾mudah terjadi kesalahan pengukuran, dan ⁽³⁾hambatan visual akibat rapatnya penutupan tajuk (Colbert *et al.*, 2002). Sehubungan dengan kendala tersebut maka perlu dicari teknik untuk meminimalkan pekerjaan pengukuran tinggi pohon, tanpa mengurangi kelengkapan dan keakuratan data yang harus disajikan.

Penyusunan model hubungan antara tinggi tegakan (*H*) dengan peninggi (*Oh*) merupakan salah satu cara untuk mengurangi pekerjaan pengukuran tinggi pohon. Pekerjaan pengukuran tinggi pohon dapat diperkecil secara signifikan dengan membatasi pengukuran pohon-pohon yang dominan saja (tidak harus mengukur tinggi semua pohon), sedangkan pengukuran peninggi perlu dipertahankan mengingat kegunaannya sebagai indikator atau kunci pembacaan kualitas tempat tumbuh (bonita).

B. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model hubungan tinggi dengan peninggi tegakan hutan tanaman Jati (*Tectona grandis* L.f) yang cukup sahih dengan menggunakan data yang dikumpulkan di Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) Sumedang, KPH Kendal, KPH Bloro, dan KPH Saradan.

II. BAHAN DAN METODE

A. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada beberapa lokasi tegakan hutan tanaman Jati (*T. grandis* L.f) yang dikelola oleh Perum Perhutani, yaitu di Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) Sumedang, KPH Kendal, KPH Bloro, dan KPH Saradan. Rincian risalah lokasi penelitian baik secara administrasi pengelolaan kawasan hutan maupun administrasi pemerintahan dapat dilihat pada Lampiran 1, dan deskripsi keadaan lingkungan masing-masing lokasi penelitian tertera pada Lampiran 2.

B. Bahan Penelitian

Deskripsi sebaran umur tegakan hutan tanaman Jati (*T. grandis* L.f) yang dijadikan bahan penelitian di masing-masing lokasi dengan keterangan sistem penanaman dan jarak tanamnya dapat dilihat pada Tabel 1. Semua tegakan tersebut mendapat perlakuan penjarangan sesuai dengan Pedoman Penjarangan Hutan Industri (Anonim, 1986).

C. Pengumpulan Data

Petak-petak tanaman sebagai obyek penelitian dipilih secara sengaja (*purposif*) untuk memperoleh sebaran kelas umur selebar mungkin dengan mempertimbangkan ketersediaan tegakan di lapangan.

Tabel (Table) 1: Deskripsi tegakan hutan tanaman Jati yang dijadikan bahan penelitian (*Description of teak stands used for study*)

KPH (Forest District)	RPH (Forest Resort)	Petak tanaman (Compartment)	Umur tegakan (Stand age) (tahun/years)	Sistem tanam (Planting system) ^{*)}	Jarak tanam (Spacing) (m)
Sumedang	Cipelang Suka Denda Ujung Jaya Semptora	43	7	tumpang Sari	3 x 1
		6a	18	tumpang Sari	3 x 1
		30a	25	tumpang Sari	3 x 1
		3	35	tumpang Sari	3 x 1
Kendal	Subah	25a	12	tumpang Sari	3 x 1
		26a	19	tumpang Sari	3 x 1
		35a	108	komplangan	2 x 1
		36a	117	komplangan	2 x 1
Blora	Sumberejo	108a	7	tumpang Sari	3 x 1
		109c	17	tumpang Sari	3 x 1
		107b	59	tumpang Sari	3 x 1
		107a	66	tumpang Sari	3 x 1
		106a	79	tumpang Sari	3 x 1
Saradan	Sugiharas	5b	17	tumpang Sari	2 x 1
		1a	30	tumpang Sari	3 x 1
		5c	44	tumpang Sari	3 x 1
		10	65	tumpang Sari	3 x 1

^{*)}Keterangan (Notes) : tumpang Sari (*taungya system*), buah Jati ditanam langsung di lapangan yang sudah dipersiapkan untuk penanaman palawija dan anakan Jati tumbuh bersama tanaman palawija sampai umur 2 tahun (*mixed cultivation (taungya system), the teak seeds planted directly on land prepared for planting food crops, the crops are allowed to grow between teak seedlings up to 2 years after planting*)
komplangan: buah Jati ditanam langsung di petak bekas tebangan dengan penyiapan lahan hanya berupa pembabatan belukar (*komplangan, teak seeds planted directly on the logged-over land prepared with shrub clearing only*)

Pengumpulan data dilakukan dengan membuat petak-petak ukur temporer (*temporary sample plots - TSP*) berbentuk bujur sangkar ukuran 40 m x 40 m yang merupakan rangkaian 16 buah plot ukuran 10 m x 10 m. Dalam 1 petak tanaman, jarak antar *TSP* ditentukan 100 m, sedangkan jumlahnya tidak ditentukan tetapi tergantung pada luas dan bentuk areal petak tanaman.

Semua pohon di dalam *TSP* dipetakan letaknya (peta letak pohon), serta diukur diameter batang setinggi dada (1,30 m di atas tanah) dan tingginya. Alat yang dipergunakan untuk mengukur diameter batang adalah *phi-band* (pita-phi), sedangkan pengukuran tinggi pohon dilakukan dengan *hagameter*.

D. Analisis Data

1. Pemilahan data

Himpunan data *TSP* di masing-masing lokasi penelitian dipilih secara random menjadi 2 kelompok, yaitu 70% digunakan untuk menyusun persamaan regresi dan 30% ditempatkan sebagai data independen untuk validasi persamaan. Hasil pengelompokan data *TSP* tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel (Table) 2: Pengelompokan data *TSP* (Grouping of *TSP* data)

KPH (Forest District)	RPH (Forest Resort)	Petak tanaman (Compartment)	Jumlah data <i>TSP</i> (Number of <i>TSP</i> data)		
			Untuk persamaan regresi (for regression equation)	Data independen (Independent data)	
Sumedang	Cipelang	43	3	1	
		6a	3	1	
		Ujung Jaya	30a	3	1
		Sempora	3	3	1
Kendal	Subah	25a	1	1	
		26a	2	-	
		35a	6	2	
		36a	3	1	
Blora	Sumberejo	108a	3	2	
		109c	4	1	
		107b	4	1	
		107a	3	2	
		106a	4	1	
Saradan	Sugiharwas	5b	3	1	
		1a	3	1	
		5c	2	2	
		10	4	-	

2. Tinggi tegakan

Mengingat pengertian bahwa tinggi pohon adalah nilai rata-rata dari tinggi pohon-pohon penyusun tegakan (Avery dan Burkhart, 2002; serta Husch *et al.*, 2003), maka tinggi tegakan masing-masing *TSP* dihitung dengan rumus:

$$Hs_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} Ht_{ij}}{n_i} \dots \dots \dots 1$$

dimana:

- Hs_i : tinggi tegakan pada *TSP* ke-*i*,
- Ht_{ij} : tinggi pohon ke-*j* pada *TSP* ke-*i*,
- n_i : jumlah pohon dalam *TSP* ke-*i*,
- $j \leq 1,2,3, \dots, n_i$.

3. Peninggi tegakan

Mengacu pada kata peninggi adalah nilai rata-rata tinggi sejumlah pohon berdiameter terbesar atau pohon-pohon dominan dan ko-dominan yang letaknya tersebar merata di suatu areal (Alder, 1980; Avery dan Burkhart, 2002; serta Husch *et al.*, 2003), dan istilah peninggi di Indonesia dimaknai sebagai rata-rata tinggi dari pohon-pohon tertinggi yang letaknya tersebar merata dalam 1 hektar areal, maka pada masing-masing plot 10 m x 10 m di tiap TSP dipilih pohon tertinggi sebagai pohon peninggi, dan peninggi tiap TSP dihitung dengan rumus:

$$Oh_i = \frac{\sum_{k=1}^{m_i} Hd_{ik}}{m_i} \dots\dots\dots 2$$

dimana :

- Oh_i : peninggi tegakan pada TSP ke- i ,
- m_i : jumlah plot (10 m x 10 m) dalam TSP ke- i yang berisi pohon peninggi,
- Hd_{ik} : tinggi pohon peninggi plot (10 m x 10 m) ke- k dalam TSP ke- i ,
- $k \leq 1,2,3, \dots\dots\dots, m_i$.

4. Model hubungan tinggi tegakan dengan peninggi

Model hubungan tinggi tegakan dengan peninggi di masing-masing lokasi penelitian disusun dengan menggunakan data yang dicadangkan untuk menyusun persamaan regresi. Dalam penelitian ini model disusun dalam bentuk persamaan regresi linier sederhana, yaitu:

$$Hs \leq b_0 + b_1 Oh \dots\dots\dots 3$$

dimana :

- Hs : tinggi tegakan (m),
- Oh : peninggi (m),
- b_1 : koefisien regresi,
- b_0 : intersep.

5. Uji keseragaman persamaan regresi

Uji keseragaman (*homogeneity-test*) koefisien regresi dari model hubungan $Hs-Oh$ antar lokasi penelitian dilakukan dengan cara sidik ragam seperti ditunjukkan oleh Steel dan Torrie (1980) serta Kutner *et al.* (2005). Apabila nilai F -hitung dari sidik ragam berbeda nyata, maka terindikasi bahwa faktor lokasi mempengaruhi *slope* (sudut) grafik hubungan $Hs-Oh$; dan sebaliknya apabila tidak berbeda nyata maka koefisien-koefisien regresi dapat dinilai seragam.

Uji keseragaman intersep dilakukan dengan menempatkan lokasi penelitian sebagai peubah boneka (*dummy variables*) seperti dicontohkan oleh Alder (1980).

$$Hs \leq b_0 + b_1 Smd + b_2 Kdl + b_3 Bla + b_4 Srd + b_5 Oh \dots\dots\dots 4$$

dimana:

- Hs : tinggi tegakan (m),

$$\begin{aligned} \text{Smd:} \{ & \leq 1 \text{ untuk lokasi Sumedang,} \\ & \leq 0 \text{ untuk lokasi lainnya,} \\ \text{Kdl:} \{ & \leq 1 \text{ untuk lokasi Kendal,} \\ & \leq 0 \text{ untuk lokasi lainnya,} \\ \text{Bla:} \{ & \leq 1 \text{ untuk lokasi Blora,} \\ & \leq 0 \text{ untuk lokasi lainnya,} \\ \text{Srd:} \{ & \leq 1 \text{ untuk lokasi Saradan,} \\ & \leq 0 \text{ untuk lokasi lainnya,} \end{aligned}$$

Oh : peninggi (m),
 b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 : koefisien regresi,
 b_0 : intersep.

Apabila salah satu atau lebih peubah boneka *Smd*, *Kdl*, *Bla* dan *Srd* berperan nyata di dalam persamaan, maka hal itu mengindikasikan bahwa faktor lokasi berpengaruh terhadap persamaan. Akan tetapi apabila tidak berperan nyata maka faktor lokasi berkategori seragam, dan perlu dilakukan penyusunan sebuah persamaan dengan data gabungan semua lokasi agar lebih praktis penerapannya di lapangan (penggunaan model *Hs-Oh* tidak perlu memperhatikan lokasi).

6. Uji keabsahan persamaan

Suatu persamaan regresi dinilai sah apabila ¹⁾peubah tidak bergantung (*independent variables*) berperan signifikan di dalam persamaan (Ryan, 1997; Burnham dan Enderson, 1998; Draپر dan Smith, 1998; Montgomery *et al.*, 2001; Belsley *et al.*, 2005; dan Kutner *et al.*, 2005), ²⁾sisaan menyebar normal (Ryan, 1997; dan Montgomery *et al.*, 2001), dan ³⁾sebaran sisaan tidak cenderung membentuk *trend* tertentu (Ryan, 1997; Draپر dan Smith, 1998; Montgomery *et al.*, 2001; dan Kutner *et al.*, 2005).

Dalam penelitian ini perhitungan intersep dan koefisien regresi, nilai-*t* (sebagai indikator berperan-tidaknya peubah tidak bergantung di dalam persamaan), penggambaran grafik kenormalan sisaan, dan penggambaran grafik sebaran sisaan versus dugaan peubah bergantung dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab Release 14.

7. Uji kesahihan persamaan

Merupakan kaidah umum bahwa tingkat kesahihan (*validity*) suatu persamaan regresi didasarkan pada besarnya koefisien determinasi terkoreksi (*adjusted coefficient of determination - R²adj*) dan kecilnya akar rata-rata kuadrat sisaan (*root mean square error - RMSE*) (Ryan, 1997; Burnham dan Enderson, 1998; Draپر dan Smith 1998; Montgomery *et al.*, 2001; Belsley *et al.*, 2005; Kutner *et al.*, 2005). Selain itu, Shao (1993), Myers (2000), serta Kozak dan Kozak (2003) menyarankan uji silang (*cross validation*) dengan cara *plotting* sisaan versus nilai dugaan peubah bergantung didasarkan data independen.

Selain cara uji kesahihan di muka, dalam penelitian ini juga dilakukan uji silang dengan menghitung nilai khi-kuadrat (*chi-square*) antara nilai *Hs* dugaan versus *Hs* aktual berdasar data independen. Penghitungan nilai khi-kuadrat mengikuti rumus yang disarankan Steel dan Torrie (1980), Sokal dan Rohlf (1995), serta Kutner *et al.*, (2005).

$$\chi^2 = \sum_{l=1}^n \frac{(Hs - Hs_{est})^2}{Hs_{est}} \dots \dots \dots 5$$

dimana :

- χ^2 : khi-kuadrat,
- Hs : tinggi tegakan aktual pada data independen,
- Hs_{est} : dugaan tinggi tegakan, dihitung dengan model $Hs-Oh$ berdasar data Oh pada data independen,
- n : jumlah TSP data independen.
- $l \leq 1, 2, 3, \dots, n$.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Model $Hs - Oh$ di Tiap Lokasi

Hasil analisis regresi hubungan $Hs-Oh$ di masing-masing lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel (Table) 3. Persamaan hubungan $Hs-Oh$ hutan tanaman Jati di masing-masing lokasi penelitian (*Equations of stand height and upper height relationship for teak plantation forest in each study site*)

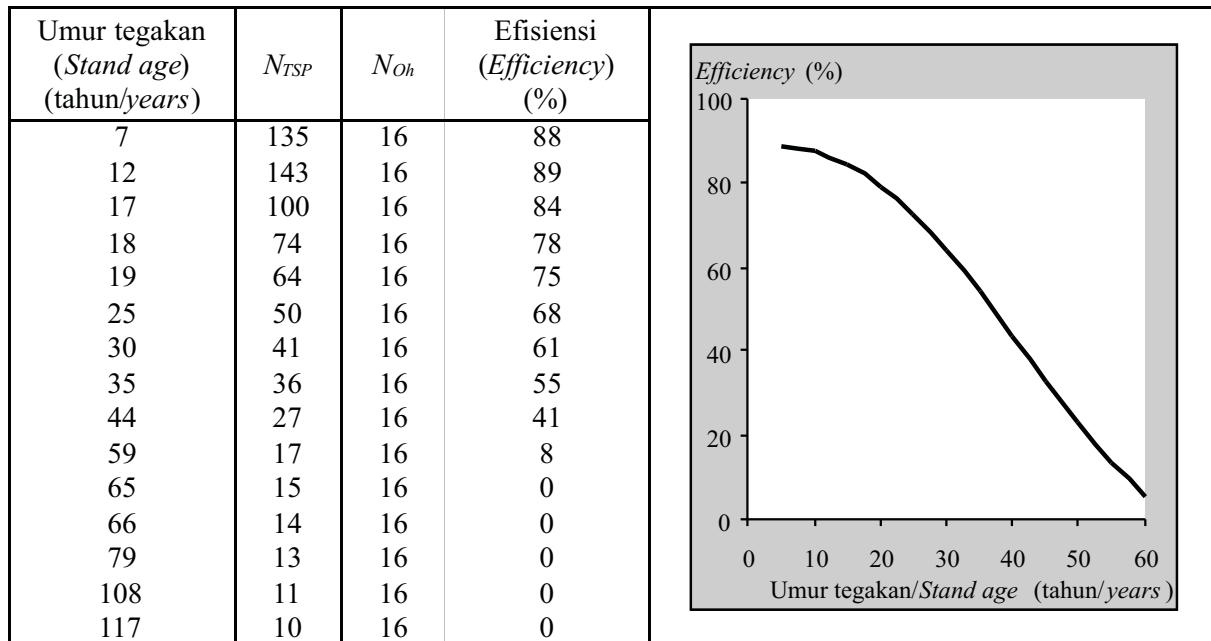
Lokasi penelitian (<i>Study site</i>)	Persamaan hubungan $Hs-Oh$ (<i>Hs-Oh relationship</i>)	$t_{intercept}$	t_{Oh}	t_{table}	R^2_{adj}
Sumedang	$Hs \leq -2,3463 + 1,0608 Oh$	-13,90	110,91	2,23	0,996
Kendal	$Hs \leq -2,3033 + 1,0584 Oh$	-12,64	141,92	2,23	0,997
Blora	$Hs \leq -2,2565 + 1,0562 Oh$	-25,70	342,23	2,12	0,998
Saradan	$Hs \leq -2,2975 + 1,0574 Oh$	-26,07	280,38	2,07	0,997

Dalam Tabel 3 terlihat bahwa pada hutan tanaman Jati (*T. grandis* L.f) terdapat hubungan yang sangat nyata antara tinggi tegakan dengan peningginya. Persamaan hubungan $Hs-Oh$ di semua lokasi penelitian mempunyai koefisien determinasi (R^2_{adj}) yang sangat tinggi (lebih dari 99%). Hal ini mengindikasikan bahwa di setiap unit hutan tanaman Jati (*T. grandis* L.f), secara hampir sempurna, keragaman tinggi tegakan dapat diterangkan oleh keragaman peninggi.

Dengan adanya hubungan yang sangat erat antara tinggi tegakan dengan peninggi, maka dalam kegiatan inventarisasi hutan tanaman Jati (*T. grandis* L.f) pekerjaan pengukuran tinggi pohon dapat dieliminir dengan hanya mengukur tinggi pohon-pohon peninggi. Informasi tinggi tegakan dalam laporan hasil kegiatan inventarisasi secara lebih mudah dapat disajikan dari hasil nilai dugaan dengan menggunakan model hubungan $Hs-Oh$, sehingga terjadi efisiensi pekerjaan pada saat pengukuran $TSP-TSP$.

Besarnya efisiensi pekerjaan pengukuran tinggi pohon pada kegiatan inventarisasi dengan bantuan penggunaan model hubungan $Hs-Oh$ sangat dipengaruhi kerapatan tegakan, yaitu semakin banyak pohon dalam tegakan maka efisiensi yang terjadi akan semakin besar. Sehubungan dengan itu, efisiensi yang terbesar terjadi pada kegiatan inventarisasi tegakan umur muda. Seperti diketahui, pada awal pembangunan hutan tanaman, bibit ditanam dengan jarak tanam relatif rapat kemudian jumlah pohon semakin berkurang seiring dengan pertambahan umur akibat adanya kematian (*mortality*) maupun tindakan penjarangan.

Didasarkan data jumlah pohon pada TSP-TSP yang dijadikan bahan penelitian ini, efisiensi pekerjaan pengukuran tinggi pohon dengan bantuan model hubungan *Hs-Oh* bisa mencapai ±88% pada tegakan umur 7 tahun, tetapi hanya ±5% pada tegakan umur 60 tahun, kemudian pada umur-umur selanjutnya tidak terjadi efisiensi. Secara rata-rata total semua umur, efisiensi mencapai ±55%. Grafik besarnya efisiensi menurut umur tegakan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar (Figure) 1. Tabel dan grafik besarnya efisiensi pencurahan tenaga dengan penggunaan model hubungan *Hs-Oh* dibandingkan pengukuran tinggi semua pohon pada inventarisasi hutan tanaman Jati menurut umur tegakan (Table and graph of the manpower efficiency of using the stand height-upper height relationship model compared to the heights of all trees measured in teak plantation inventory against stand age)

Pada Gambar 1, rata-rata jumlah pohon tegakan umur 7 tahun dalam TSP ukuran 40 m x 40 m adalah 135 pohon. Dengan menggunakan model hubungan *Hs-Oh* maka tinggi tegakan dapat diduga dengan mengukur 16 pohon peninggi, sehingga dibandingkan dengan pengukuran 135 pohon maka terjadi efisiensi $(135-16)/135 * 100\% \leq 88\%$.

B. Analisis Keseragaman Regresi

Dalam penelitian ini, analisis keseragaman regresi hubungan *Hs-Oh* antar lokasi dimaksudkan untuk mengkaji peluang penyusunan sebuah persamaan hubungan *Hs-Oh* hutan tanaman Jati (*T. grandis* L.f) yang dapat diberlakukan di semua lokasi sehingga diperoleh kepraktisan karena model tidak perlu disusun pada setiap unit pengelolaan.

Setelah melalui tahap perhitungan *sum-product*, dan *cross-product*, analisis keseragaman koefisien regresi hubungan *Hs-Oh* antar lokasi penelitian disajikan dalam Tabel 4.

Tabel (Table) 4. Analisis keseragaman koefisien regresi persamaan hubungan *Hs-Oh* hutan tanaman Jati antar lokasi penelitian (*Homogeneity analysis of the regression coefficients of Hs-Oh relationship for teak plantation forest between study sites*)

Perlakuan (Treatment)	db (df)	$\sum x^2$	$\sum xy$	$\sum y^2$	db (df)	JK tereduksi (Reduced sum square)	
Sumedang	11	214,86	227,94	242,02	10	0,197	
Kendal	11	182,03	192,67	204,03	10	0,101	
Blora	17	1321,56	1395,82	1474,46	16	0,201	
Saradan	23	820,56	867,69	917,79	22	0,257	
Total sisaan regresi 4 lokasi (Residual from individual regressions)					58	0,756	
Regresi gabungan (Total for single regression)		62	2539,02	2684,13	2838,29	61	0,761
Beda keseragaman koefisien regresi (Difference for homogeneity of regressions)					3	0,005	

Keterangan (Notes) : F hitung (*calc*) $\leq (0,005/3)/(0,756/58) \leq 0,12$, tidak berbeda nyata pada taraf 5% (*not significantly different at 5% level*)

Hasil perhitungan nilai-*F* sebesar 0,12 ternyata jauh lebih kecil dibandingkan nilai F_{tabel} pada taraf 5% dengan derajat bebas (3;58) yaitu sebesar 2,76. Hal ini menunjukkan bahwa koefisien regresi hubungan *Hs-Oh* antar lokasi penelitian adalah seragam (tidak saling berbeda).

Selain keseragaman koefisien regresi, untuk lebih meyakinkan dapat-tidaknya seluruh data dari semua lokasi penelitian digabungkan untuk disusun dalam sebuah persamaan regresi, dalam penelitian ini dikaji berperan-tidaknya faktor lokasi terhadap intersep persamaan. Kajian dilakukan dengan menempatkan lokasi penelitian sebagai peubah boneka (*dummy variables*) sebagaimana telah disebut dalam Persamaan 4. Hasil perhitungan koefisien regresi serta nilai-*t* masing-masing peubah dalam bentuk Persamaan 4 dapat dilihat dalam Tabel 5.

Tabel (Table) 5. Koefisien regresi, nilai-*t*, dan peluang masing-masing peubah dari bentuk Persamaan 4 (*Regression coefficient, t-value, and probability of each variable of 4th equation*)

Peubah (Variable)	Koefisien (Coefficient)	<i>t</i>	<i>P</i>
Intersep (<i>Intercept</i>)	-2,2910	-41,60	0,000
<i>Smd</i>	0,0087	0,21	0,833
<i>Kdl</i>	0,0186	0,47	0,640
<i>Bla</i>	0,0085	0,24	0,814
<i>Srd</i>	-	-	-
<i>Oh</i>	1,0571	477,05	0,000

Dalam Tabel 5 terlihat bahwa nilai peluang (*probability-P*) Peubah-Peubah *Smd*, *Kdl*, dan *Bla* melebihi 0,05. Hal tersebut menunjukkan bahwa faktor lokasi Sumedang, Kendal, dan Blora tidak nyata di dalam persamaan sampai taraf nyata 5%; bahkan Peubah-*Srd* (lokasi Saradan) tidak dapat masuk di dalam persamaan karena adanya korelasi sangat tinggi dengan peubah tidak bergantung lainnya. Dengan kata lain, nilai intersep pada semua persamaan yang tercantum dalam Tabel 3 adalah seragam.

Dengan adanya keseragaman koefisien regresi dan intersep persamaan-persamaan yang tercantum dalam Tabel 3 maka pasangan data *Hs* dan *Oh* di masing-masing lokasi penelitian dapat digabungkan untuk menyusun sebuah persamaan yang berlaku di semua lokasi.

C. Persamaan Tunggal

Persamaan regresi yang berhasil disusun dengan menggunakan gabungan data dari semua lokasi penelitian adalah Persamaan 6, yaitu:

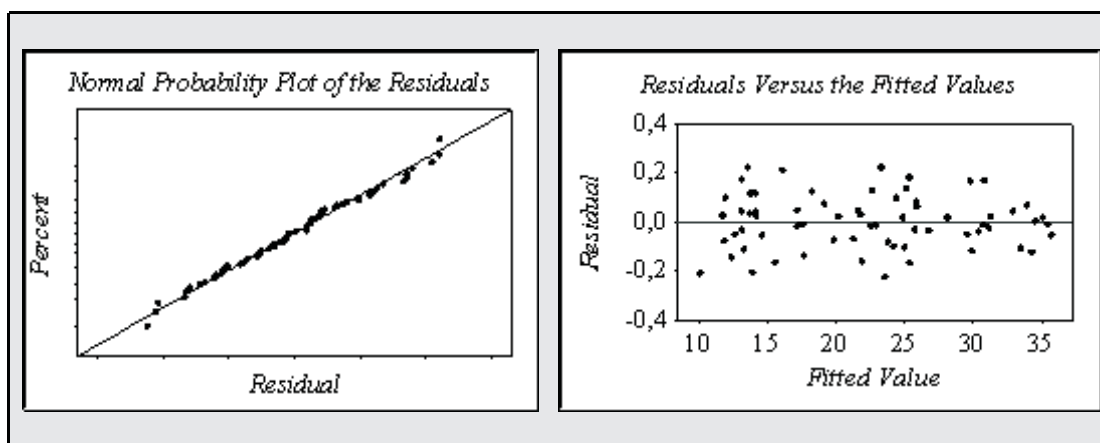
$$Hs \leq -2,2852 + 1,0572 Oh \quad \dots\dots\dots 6$$

1. Keabsahan Persamaan 6

Nilai $t_{intersep}$ dan t_{Oh} dari Persamaan 6 adalah -49,53 dan 553,99; sedangkan t -tabel ($t_{0,01(64)}$) adalah 2,65. Perbandingan t_{Oh} dengan t -tabel tersebut mengandung arti bahwa Peubah-*Oh* sangat nyata berperan dalam persamaan sampai taraf nyata 1%, sehingga Persamaan 6 memenuhi persyaratan pertama dari kriteria keabsahan persamaan regresi sebagaimana diuraikan dalam Bab II.D.6.

Hasil uji kenormalan dan keaditifan sisaan Persamaan 6 dirangkum pada Gambar 2. Pada bagian kiri Gambar 2, grafik plot hubungan antara sisaan dengan peluang normal cenderung membentuk garis linear dan berada pada diagonal (melewati titik pusat (0;0)), sehingga dapat disimpulkan bahwa Persamaan 6 memiliki sisaan yang cukup menyebar normal dan memenuhi salah satu kriteria keabsahan persamaan regresi sebagaimana dipersyaratkan oleh Ryan (1997), dan Montgomery *et al.* (2001).

Pada bagian kanan Gambar 2, grafik plot hubungan sisaan dengan nilai dugaan *Hs* berdasar Persamaan 6 menunjukkan bahwa nilai sisaan menyebar acak dengan pola pita mendatar simetris sepanjang sumbu-*x*. Hal ini menunjukkan bahwa sifat keaditifan terpenuhi karena sisaannya menyebar acak dan memiliki ragam yang homogen, sehingga memenuhi salah satu kriteria keabsahan persamaan regresi sebagaimana dipersyaratkan oleh Ryan (1997), Draper dan Smith, (1998), Montgomery *et al.* (2001), dan Kutner *et al.* (2005).



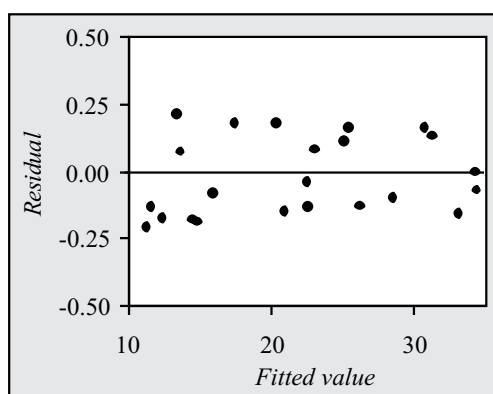
Gambar (Figure) 2. Hasil uji kenormalan dan keaditifan sisaan Persamaan-6 (Results of normality and additive tests of the residuals for Equation-6)

Dengan terpenuhinya 3 persyaratan, yaitu ¹⁾peubah tidak bergantung berperan nyata di dalam model, ²⁾sisaan menyebar normal, dan ³⁾bersifat aditif, maka seluruh persyaratan keabsahan persamaan regresi dipenuhi oleh Persamaan 6.

2. Kesahihan Persamaan 6

Persamaan 6 mempunyai koefisien determinasi (R^2_{adj}) yang sangat tinggi yaitu sebesar 0,998; sedangkan nilai $RMSE$ (nilai akar dari rata-rata kuadrat sisaan) sebesar 0,11. Dibandingkan dengan nilai rata-rata Hs sebesar 22,16 maka nilai $RMSE$ tersebut tergolong sangat kecil (hanya 0,5%). Tingginya R^2_{adj} dan kecilnya nilai $RMSE$ merupakan dasar penilaian bahwa Persamaan 6 dapat dikategorikan sebagai persamaan yang sah menurut kriteria yang disyaratkan oleh Ryan (1997); Burnham dan Anderson (1998); Draper dan Smith (1998); Montgomery *et al.* (2001); Belsley *et al.* (2005); serta Kutner *et al.* (2005).

Nilai sisaan terbesar dari penerapan Persamaan 6 pada data independen adalah sebesar 0,22 meter pada nilai dugaan 13,32 meter; suatu nilai simpangan yang amat kecil untuk parameter tinggi tegakan. Nilai-nilai sisaan lainnya menyebar dalam bidang berbentuk pita simetris sepanjang sumbu- x dengan amplitudo antara -0,22 sampai +0,22. Grafik plot hubungan antara sisaan dengan nilai dugaan tinggi tegakan tersebut dapat dilihat dalam Gambar 3. Pola sebaran nilai sisaan dalam Gambar 3 memberikan pengertian bahwa Persamaan 6 memenuhi kriteria kesahihan persamaan regresi yang dijukan oleh Shao (1993); Myers (2000); serta Kozak dan Kozak (2003).



Gambar (Figure) 3. Grafik plot sisaan hubungan antara sisaan dengan nilai dugaan dari penerapan Persamaan 6 pada data independen (*Plot of residuals against estimated values for applying Equation 6 using the independent data*)

Penerapan Persamaan 6 pada data independen menghasilkan nilai χ^2 (khi-kuadrat) sebesar 0,03. Dibandingkan dengan χ^2 -tabel pada taraf kepercayaan 99% sebesar 9,54 (derajat bebas ≤ 22), maka terbukti bahwa Persamaan 6 layak dipergunakan untuk praktek lapangan. Dengan kata lain, penggunaan Persamaan 6 untuk menduga tinggi tegakan Jati (*T. grandis* L.f) dalam praktek inventarisasi hutan mengandung resiko kesalahan dugaan yang kecil.

Tingginya nilai R^2_{adj} , kecilnya nilai $RMSE$, sebaran sisaan yang aditif dalam validasi silang (*cross validation*), dan tidak nyatanya perbedaan nilai dugaan dengan nilai aktual pada uji χ^2 dalam *cross validation*, dapat dijadikan dasar untuk mengkatégorikan Persamaan 6 sebagai model yang sah.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Model hubungan antara tinggi tegakan (H_s) dengan π eninggi (Oh) pada hutan tanaman Jati (*Tectona grandis* L.f) sangat signifikan.
2. Bentuk hubungan H_s - Oh pada hutan tanaman Jati (*T. grandis* L.f) tidak berbeda antara unit pengelolaan yang satu dengan unit pengelolaan lainnya.
3. Model matematik hubungan H_s - Oh hutan tanaman Jati (*T. grandis* L.f) adalah $H_s \leq -2,2852 + 1,0572 Oh$ dengan koefisien determinasi terkoreksi (R^2_{adj}) sebesar 0,998.
4. Penggunaan model H_s - Oh tersebut pada Butir 3 dalam inventarisasi hutan tanaman Jati (*T. grandis* L.f) dapat memberikan efisiensi π encurahan tenaga kerja untuk pengukuran tinggi π ohon sebesar $\pm 55\%$; dengan efisiensi terbesar pada tegakan umur muda (di bawah 10 tahun), yaitu mencapai $\pm 88\%$.

B. Saran

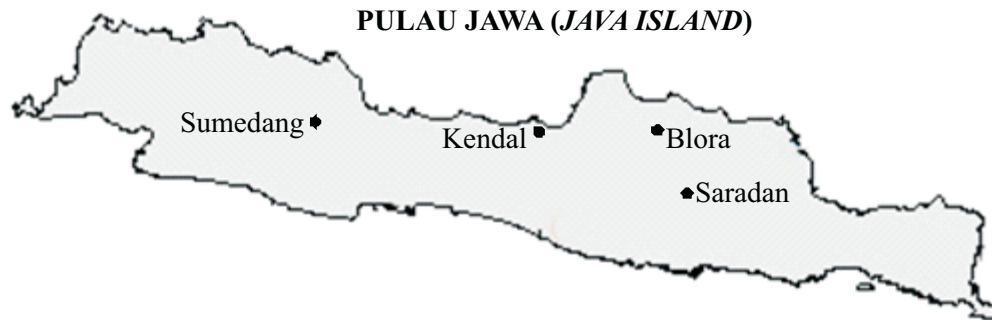
Efisiensi π encurahan tenaga kerja untuk pengukuran tinggi π ohon dalam kegiatan inventarisasi hutan tanaman jenis lain kemungkinan berbeda, sehingga disarankan π enelitian semacam ini dilakukan pada hutan tanaman jenis lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alder, D. 1980. *Forest Volume Estimation and Yield Prediction*, FAO, Rome.
- Anonim. 1986. Pedoman Penjarangan Hutan Industri. Surat Keputusan Nomor 289/KPTS/DIR/1986. Perum Perhutani, Jakarta.
- Anonim. 1997. Rencana Pengaturan Kelestarian Hutan (RPKH) Kelas Perusahaan Jati Kesatuan Pemangkuan Hutan Kendal, Jangka Perusahaan 1 Januari 1998 s/d 31 Desember 2007. Lampiran I, Lembar: 1. Seksi Perencanaan Hutan I Pekalongan, Perum Perhutani Unit I Jawa Tengah, Pekalongan.
- Anonim. 2000. Rencana Pengaturan Kelestarian Hutan (RPKH) Kelas Perusahaan Jati Kesatuan Pemangkuan Hutan Sumedang, Jangka Perusahaan 1 Januari 2001 s/d 31 Desember 2010. Lampiran I, Lembar: 1. Seksi Perencanaan Hutan III Cirebon, Perum Perhutani Unit III Jawa Barat, Cirebon.
- Anonim. 2003. Rencana Pengaturan Kelestarian Hutan (RPKH) Kelas Perusahaan Jati Kesatuan Pemangkuan Hutan Saradan, Jangka Perusahaan 1 Januari 2004 s/d 31 Desember 2013. Lampiran I, Lembar: 1. Seksi Perencanaan Hutan IV Madiun, Perum Perhutani Unit II Jawa Timur, Madiun.
- Anonim. 2004. Rencana Pengaturan Kelestarian Hutan (RPKH) Kelas Perusahaan Jati Kesatuan Pemangkuan Hutan Blora, Jangka Perusahaan 1 Januari 2005 s/d 31 Desember 2014. Lampiran I, Lembar: 1. Seksi Perencanaan Hutan IV Rembang Perum Perhutani Unit I Jawa Tengah, Rembang.
- Avery, T. E. and H. E. Burkhart. 2002. *Forest Measurements*. McGraw-Hill, New York.
- Belsley, D. A., E. Kuh and R. E. Welsch. 2005. *Regression Diagnostics: Identifying Influential Data and Sources of Collinearity*. Wiley-Interscience, Hoboken.

- Burnham, K. P. and D. J. Anderson. 1998. *Model Selection and Inference: a Practical Information-Theoretic Approach*. Springer, Berlin.
- Colbert, K. C., D. R. Larsen and J. R. Lootens. 2002. *Height-Diameter Equations for Thirteen Midwestern Bottomland Hardwood Species*. Northern Journal of Applied Forestry 19, 171-176.
- Draayer, N. R. and H. Smith. 1998. *Applied Regression Analysis*. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc, Sydney.
- Husch, B., T. W. Beers and J. A. Kershaw. 2003. *Forest Mensuration*. Fourth Edition. John Wiley and Sons, Inc, New York.
- Kozak, A. and R. Kozak. 2003. *Does Cross Validation Provide Additional Information in the Evaluation of Regression Models?* Canadian Journal of Forest Research 33: 976-987.
- Kutner, M. H., C. J. Nachtsheim, J. Neter and W. Li. 2005. *Applied Linear Statistical Models*. McGraw-Hill Irwin, Boston.
- Montgomery, D. C., E. A. Peck and G. G. Vining. 2001. *Introduction to Linear Regression Analysis*. Wiley, New York.
- Myers, R. H. 2000. *Classical and Modern Regression with Applications*. Duxbury Press, Belmont.
- Ryan, T. P. 1997. *Modern Regression Method*. Wiley, New York.
- Shao, J. 1993. *Linear Model Selection by Cross-Validation*. Journal of American Statistical Association 88: 486-494.
- Sokal, R. R. and F. J. Rohlf. 1995. *Biometry: the Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. W.H. Freeman, New York.
- Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1980. *Principles and Procedures of Statistics*. Second Edition. McGraw-Hill Book Company, Inc, New York.

Lampiran (*Appendix*) 1. Letak areal penelitian (*Research areas location*)



Uraian (<i>Descriptions</i>)	Sumedang	Kendal	Blora	Saradan
Kesatuan Pemangkuan Hutan (<i>Forest District</i>)	Sumedang	Kendal	Blora	Saradan
Bagian Kesatuan Pemangkuan Hutan & Resort Polisi Hutan (<i>Sub Forest District & Forest Resort</i>)	Conggeang: - Cipelang - Samtora Buahdua - Sukadenda Ujungjaya - Ujungjaya	Subah: - Subah	Nglawungan: - Sumberejo	Wilangan Utara: - Sugihwaras
Provinsi (<i>Province</i>)	Jawa Barat (<i>West Java</i>)	Jawa Tengah (<i>Central Java</i>)	Jawa Tengah (<i>Central Java</i>)	Jawa Timur (<i>East Java</i>)
Kabupaten (<i>District</i>)	Sumedang	Batang	Blora	Madiun
Kecamatan & Desa (<i>Sub District & Village</i>)	Conggeang: - Babakan Asem Buahdua - Gendereh Ujungjaya - Sakurjaya	Subah: - Subah - Adisono	Jatih: - Sumberejo - Ngiyono	Saradan: - Sidorejo

Lampiran (*Appendix*) 2. Deskripsi keadaan lingkungan areal penelitian (*Environment descriptions of research area*)

KPH Sumedang (Perum Perhutani Unit III Jawa Barat dan Banten)

- Geografis
Tinggi tempat (*altitude*) antara 25-80 meter di atas permukaan laut (m dpl) dengan topografi pada umumnya datar (lereng $\leq 8\%$) hanya sedikit (di Ujungjaya) bergelombang dengan lereng $\leq 30\%$.
- Kondisi tanah
Jenis tanah di BKPH Conggeang adalah asosiasi latosol coklat dan regosol kelabu; di BKPH Buahdua asosiasi latosol merah, latosol coklat kemerahan dan laterit air tanah; dan di BKPH Ujungjaya grumusol kelabu (Anonim, 2000).
- Kondisi iklim
Curah hujan rata-rata sebesar 2.598 mm/tahun dengan hari hujan sebanyak 158 hari termasuk tipe C dengan nilai Q sebesar 57,89%. Suhu harian antara 26°C - 37°C (Anonim, 2000).

KPH Kendal (Perum Perhutani Unit I Jawa Tengah)

- Geografis
Petak-petak tanaman yang dijadikan lokasi penelitian berada pada ketinggian 200-250 m dpl, dengan topografi bergelombang (lereng bervariasi 0-30%).
- Kondisi tanah
Tanah di wilayah BKPH Subah termasuk jenis latosol, pada umumnya bertekstur sedang hingga liat dengan struktur remah hingga bergumpal (Anonim, 1997).
- Kondisi iklim
Rata-rata curah hujan tahunan 1.942 mm termasuk tipe C dengan nilai $Q \leq 46,3\%$. Suhu rata-rata harian 26°C (Anonim, 1997).

KPH Blora (Perum Perhutani Unit I Jawa Tengah)

- Geografis
Tinggi tempat berkisar antara 100-190 m dpl dengan konfigurasi lapangan bervariasi dari datar (lereng $\leq 8\%$) sampai bergelombang (lereng $\leq 30\%$).
- Kondisi tanah
Jenis tanah asosiasi mediteran merah kekuningan dan mediteran coklat kekuningan (Anonim, 2004).
- Kondisi iklim
Curah hujan termasuk tipe C, dengan rata-rata tahunan 1.060 mm - 1.644 mm. Kelembaban nisbi 80%, dengan amplitudo suhu harian 26°C - 37°C (Anonim, 2004).

KPH Saradan (Perum Perhutani Unit II Jawa Timur)

- Geografis
Ketinggian lokasi penelitian ± 150 m dpl, dengan topografi datar (lereng $\leq 8\%$).
- Kondisi tanah
Jenis tanah di BKPH Wilangan Utara adalah grumusol kelabu tua dengan bahan induk tuf vulkan intermedier (Anonim, 2003).
- Kondisi iklim
Kondisi curah hujan termasuk tipe D dengan nilai Q sebesar 94% (Anonim, 2003).