

EFISIENSI SELEKSI AWAL PADA KEBUN BENIH SEMAI *Eucalyptus pellita*

Efficiency of Early Selection in Seedling Seed Orchards of Eucalyptus pellita

Budi Leksono

Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan
Jl. Palagan Tentara Pelajar Km. 15, Purwobinangun, Sleman - DIY
Telp. (0274) 894954, Fax. (0274) 896080

Naskah masuk : 3 Juni 2009; Naskah diterima : 23 Desember 2009

ABSTRACT

The time trend of genetic parameters related to diameter and height growth were investigated using data at ages from one to six years to determine the efficiency of early selection in seven seedling seed orchards of Eucalyptus pellita in South Kalimantan, South Sumatra and Riau. The seed orchards at each location consisted of three geographically distinct provenances from Papua New Guinea. The pooled sum of squares and sum of cross products derived from an analysis of variance of growth of the three provenance populations were used to estimate genetic parameters at each location. Since the genetic parameters at rotation age, eight years in this study, were not available, they were estimated using functions derived from their time trends. Phenotypic variances and genetic variances calculated at each age were converted to the corresponding square roots, and then analyzed by the linear regression using means as independent variables. The trend of juvenile-mature correlation was fitted by a modified Richard's function with the ratio of the older growth mean to the juvenile growth as an independent variable. Early selection always resulted in more genetic gain per year than selection at rotation age, and the optimum age for selection, where genetic gain per year was maximized, was found to be 3 to 5 years in the three locations.

Key words: *early selection, genetic gain, juvenile-mature correlation, genetic parameter, time trend*

ABSTRAK

Efisiensi seleksi merupakan saat yang paling kritis dalam program pemuliaan pohon karena akan menentukan waktu yang paling optimal dalam kegiatan seleksi, yaitu pada saat peningkatan genetik (*genetic gains*) per tahun maksimum dalam satu siklus pemuliaan. Efisiensi seleksi dapat diketahui dengan melihat tren waktu dari parameter genetik, yaitu rasio antara korelasi peningkatan genetik per tahun terhadap peningkatan genetik pada umur daur melalui seleksi tidak langsung (*indirect selection*). Tren waktu dari parameter genetik pada pertumbuhan diameter dan tinggi dianalisis dengan menggunakan data umur 1 (satu) sampai dengan 6 (enam) tahun untuk mengetahui efisiensi seleksi awal pada 7 (tujuh) kebun benih semai *Eucalyptus pellita* di Kalimantan Selatan, Sumatera Selatan dan Riau. Kebun benih semai pada setiap lokasi terdiri atas tiga provenan dari Papua Nugini. Penggabungan jumlah kuadrat dan jumlah hasil perkalian, diperoleh dari analisis varian pertumbuhan pada ketiga provenan tersebut dan digunakan untuk menaksir parameter genetik di setiap lokasi. Oleh karena parameter genetik pada akhir daur (8 tahun) dalam studi ini tidak tersedia, maka pada umur tersebut dilakukan ekstrapolasi dengan menggunakan fungsi regresi dari tren parameter genetik pada umur yang lebih muda. Varian fenotipik dan varian genetik dihitung pada setiap umur yang dikonversi setara dengan akar variannya dan kemudian dianalisis dengan regresi linier menggunakan rerata pertumbuhan sebagai variabel bergantung. Tren dari korelasi umur muda-dewasa dihitung dengan menggunakan modifikasi fungsi Richard dengan rasio rerata pertumbuhan pada umur yang lebih tua terhadap rerata pertumbuhan pada umur yang lebih muda sebagai variabel bergantung. Hasil analisis menunjukkan bahwa seleksi lebih awal selalu memberikan peningkatan genetik yang lebih tinggi dibandingkan seleksi pada akhir daur. Efisiensi seleksi awal atau umur optimum untuk melakukan seleksi yaitu pada saat peningkatan genetik per tahun maksimum, ditemukan pada umur 3 - 5 tahun di ketiga lokasi.

Kata kunci: *seleksi awal, parameter genetik, peningkatan genetik, korelasi muda-dewasa, tren waktu*

I. PENDAHULUAN

Efisiensi seleksi dianalisis untuk menentukan waktu yang paling optimal dalam kegiatan seleksi, yaitu pada saat peningkatan genetik (*genetic gains*) per tahun maksimum dalam satu siklus pemuliaan, dan hal tersebut merupakan saat yang paling kritis dalam program pemuliaan pohon (McKeand, 1988). Oleh karena itu, penentuan umur yang optimum untuk seleksi awal (*early indirect selection*) adalah salah satu tujuan utama dari para pemulia pohon. Pendugaan teknik untuk melakukan seleksi pada umur yang lebih muda terhadap daur tanaman akan mengurangi interval waktu dari satu generasi pada program pemuliaan pohon karena akan meningkatkan peningkatan genetik per satuan waktu sehingga akan mengefisienkan program seleksi (Lambeth, 1980).

Efisiensi seleksi dalam program pemuliaan pohon telah banyak dipelajari pada beberapa jenis konifer. Hasil studi pada jenis-jenis tersebut melaporkan bahwa pada umumnya umur yang paling efisien untuk melakukan seleksi adalah antara 5-10 tahun terhadap daur tanaman antara 25-50 tahun (Nanson, 1969; Squillace and Gansel, 1974; Lambeth *et al.*, 1983; McKeand, 1988). Namun demikian hasil tersebut sangat bervariasi dan masih diperdebatkan, terutama karena adanya keragaman jenis, ukuran sampel data, interval waktu yang digunakan, kondisi lingkungan, rancangan percobaan dan teknik silvikultur yang diterapkan (Wu, 1999). Adapun studi efisiensi seleksi untuk jenis-jenis cepat tumbuh (*fast growing tree species*) masih sangat sedikit dilaporkan.

Eucalyptus pellita merupakan jenis cepat tumbuh dari genus *Eucalyptus* yang sangat menjanjikan untuk program industri pulp dan kertas serta sangat potensial sebagai jenis alternatif pengganti *Acacia mangium* yang pada saat ini banyak mengalami kematian akibat serangan jamur akar (*root rot disease*) di daerah tropika humida (Bakshi *et al.*, 1976; Barari, 1993; Lee, 1993; Sonia and Tiwari, 1993). Meskipun kecepatan tumbuh jenis ini belum seperti jenis-jenis *Acacia*, namun merupakan jenis yang sangat menjanjikan di antara jenis-jenis *Eucalyptus* yang dikembangkan di Indonesia dan relatif tahan terhadap serangan hama dan penyakit (Harwood, 1998). Oleh karena hal tersebut di atas, *E. pellita* telah dikembangkan dalam pembangunan Hutan Tanaman Industri (HTI) untuk mensuplai bahan baku pulp dan kertas di Indonesia.

Untuk meningkatkan ketersediaan benih unggul dalam program HTI untuk pulp dan kertas, kebun benih semai *E. pellita* generasi pertama telah dibangun di beberapa lokasi. Dengan asumsi bahwa daur yang optimal untuk *E. pellita* adalah 8 tahun, maka pemuliaan *E. pellita* untuk generasi pertama telah selesai dan saat ini telah memasuki siklus pemuliaan pada generasi ke dua. Namun demikian, siklus pemuliaan memerlukan optimasi dalam memaksimalkan peningkatan genetik per tahun. Dalam studi seleksi awal (*early selection*), Lambeth (1980) menggunakan korelasi fenotipik untuk menaksir korelasi genetik, didasarkan pada rasio logaritmik umur (*log age ratio*), yaitu logaritme alami rasio sifat tinggi tanaman pada umur muda dan umur dewasa. Dasar model logaritme ini banyak digunakan oleh pemulia pohon dalam menentukan umur seleksi yang optimum (Gwaze *et al.*, 1997).

Pada studi ini, parameter genetik ditaksir dengan menggunakan analisis data pertumbuhan diameter dan tinggi pada umur 1 - 6 tahun pada tujuh kebun benih semai *E. pellita* di Kalimantan Selatan, Sumatera Selatan dan Riau. Tren waktu dari varian genetik dan fenotipik diekstrapolasi dengan formula regresi menggunakan rerata pertumbuhan diameter dan tinggi sebagai variabel independen; sedangkan tren korelasi umur muda-dewasa (*juvenile-mature correlation*) diekspresikan sebagai rasio antara rerata pertumbuhan pada umur yang lebih tua terhadap umur yang lebih muda, yang biasanya digunakan umur logaritmik dalam studi korelasi umur muda-dewasa (Lambeth, 1980; McKeand, 1988). Kedua tren tersebut digunakan untuk memprediksi korelasi peningkatan genetik pada umur daur melalui seleksi tidak langsung (*indirect selection*) terhadap umur yang lebih muda. Efisiensi seleksi terhadap peningkatan genetik per tahun dihitung berdasarkan rasio antara korelasi peningkatan genetik per tahun terhadap peningkatan genetik pada umur daur melalui seleksi tidak langsung. Hasil ini merupakan dasar untuk menetapkan umur seleksi yang optimum pada kebun benih semai *E. pellita*.

II. BAHAN DAN METODE

A. Kebun Benih Semai

Data yang digunakan dalam studi ini berasal dari tujuh kebun benih semai (KBS) *E. pellita*: satu KBS di Kalimantan Selatan dan tiga

KBS masing-masing di Sumatera Selatan dan di Riau. KBS tersebut dibangun pada Januari 1994, Januari 1995 dan Maret 1996 berturut-turut untuk Kalimantan Selatan, Sumatera Selatan dan Riau. KBS *E. pellita* di ketiga lokasi dibangun dengan menggunakan materi benih dari tiga provenan yang berasal dari Papua Nugini yaitu dari South Kiriwo, North Kiriwo dan Serissa Village. Di Kalimantan Selatan, ketiga provenan dibangun dengan menggunakan sistim populasi tunggal (tergabung dalam 1 populasi), sedangkan di dua lokasi yang lain (Sumatera Selatan dan Riau) dibangun dengan sistim sub galur (terpisah dalam 3 populasi).

KBS di ketiga lokasi dibangun dengan menggunakan rancangan acak lengkap berblok, dimana setiap famili tersebar secara random pada setiap blok. Jumlah famili yang dilibatkan dalam KBS berturut-turut untuk provenan dari South Kiriwo, North Kiriwo dan Serissa Village adalah sebesar 48, 39 dan 34 famili. Setiap famili ditanam dengan menggunakan 5 (lima) pohon per plot dalam bentuk baris dengan 10 blok dan jarak tanam 4 x 1,5 meter. Karakteristik tapak pada ketiga lokasi kebun benih semai, disajikan pada Tabel 1.

Tabel (Table) 1. Karakteristik tapak pada kebun benih semai *E. pellita* di tiga lokasi (*Characteristics of sites in seedling seed orchards of E. pellita in the three locations*)

Informasi (Information)	Kalimantan Selatan (South Kalimantan)	Sumatera Selatan (South Sumatra)	R i a u (Riau)
Tapak	Pelaihari	Pendopo	Lipat Kain
Lintang (Selatan)	3°58'	4°00'	0°00'
Bujur (Timur)	114°38'	104°00'	100°32'
Ketinggian (m dpl.)	30	80	50
Curah hujan (mm/tahun)	2.730	2.781	2.781
Jenis tanah	Feralsol	Acrisol	Podzolik
Temperatur (min.-maks.)	23° - 33° C	24° - 33° C	22° - 32°
Kecepatan angin	Sedang	Rendah	Rendah
Kelerengan	0%	3%	2%
Vegetasi awal	Alang-alang	Alang-alang	Hutan sekunder
Persiapan lahan	Bajak 2 kali	Bajak 2 kali	Tebas-Bakar
Pemupukan	NPK 2 kali/thn	NPK 1 kali/thn	NPK 2 kali/thn

Diameter setinggi dada (dbh) dan tinggi total diukur pada umur 1, 2, 3, 4 dan 6 tahun di ketiga lokasi. Selama periode tersebut, seleksi di dalam plot (*within family-plot selection*) telah dilakukan sebanyak tiga kali: 2 pohon terjelek dari 5 pohon ditebang pada tahap pertama, 1 pohon terjelek dari pohon tersisa ditebang pada tahap ke dua, dan 1 pohon terbaik dari setiap plot dipertahankan pada tahap terakhir. Data dari pohon terbaik dari setiap plot digunakan dalam prosedur analisis.

B. Taksiran Parameter Genetik

Pada setiap KBS, varian dan kovarian dianalisis dengan menggunakan data individu pohon pada setiap pengukuran dengan menggunakan model linier sbb.:

$$Y_{ijk} = +R_i + F_j + \epsilon_{ijk} \dots\dots\dots (1)$$

dimana, Y_{ijk} adalah data individu pohon ke k pada blok ke i dan famili ke j ; adalah rerata

umum; R_i , F_j and ϵ_{ijk} berturut-turut adalah efek blok ke i , efek famili ke j , dan random error pada Y_{ijk} .

Untuk penaksiran heritabilitas, korelasi genetik dan peningkatan genetik yang lebih akurat, komponen varian dan komponen kovarian untuk ketiga populasi KBS di setiap lokasi dianalisis dengan menggabungkan (*pooling system*) jumlah kuadrat (*sum of square*), jumlah hasil perkalian (*sum of cross product*) dan derajat bebas (*degree of freedom*); kemudian membandingkan masing-masing gabungan kuadrat tengah dan rerata hasil perkalian terhadap kuadrat tengah harapannya (*expected mean square*). Nilai taksiran tersebut digunakan untuk estimasi parameter genetik pada setiap lokasi (Woolaston *et al.*, 1990).

Heritabilitas individu (h_i^2) dihitung sebagai rasio dari varian genetik aditif terhadap varian fenotipik pada setiap pengukuran. Varian

genetik aditif diasumsikan sebesar 2,5 kali lipat dari komponen varian famili (Williams and Matheson, 1994), dan varian fenotipik merupakan jumlah dari komponen varian famili dan komponen varian eror, sehingga heritabilitas individu dihitung dengan menggunakan formula sbb.:

$$h_i^2 = 2.5 \frac{\sigma_f^2}{\sigma_f^2 + \sigma_e^2} \dots\dots\dots (2)$$

dimana, σ_f^2 dan σ_e^2 berturut-turut adalah taksiran nilai komponen varian famili dan komponen varian eror. Untuk prediksi korelasi dan peningkatan genetik, varian genetik dan fenotipik dikonversi terhadap akar variannya dan kemudian ditarik mundur terhadap rerata pertumbuhan dengan menggunakan regresi linier.

Korelasi umur muda dan dewasa [$r_{G(J-M)}$] di ketiga lokasi dihitung dengan menggabungkan jumlah hasil perkalian dan kuadrat tengah untuk tiga populasi KBS di setiap lokasi. Korelasi umur tersebut dihitung dengan menggunakan formula:

$$r_{G(J-M)} = \frac{SCP_{(J-M)}}{[SS_J \cdot SS_M]^{1/2}} \dots\dots\dots (3)$$

dimana, $SCP_{(J-M)}$ adalah jumlah hasil perkalian anatra umur muda dan umur dewasa. SS_J and SS_M berturut-turut adalah jumlah kuadrat untuk umur ke J dan umur ke M .

C. Tren Waktu dari Parameter Genetik

Kurva pertumbuhan diameter dan tinggi pada studi ini digambarkan dengan menggunakan fungsi *Chapman-Richards* (Richards, 1959; Pienaar and Turnbull, 1973) untuk menentukan rerata pertumbuhan pada setiap lokasi. Bentuk dari formula yang digunakan adalah sbb.:

$$Y(t_i) = A[1 - \exp(-bt_i)]^c \dots\dots\dots (4)$$

dimana, $Y(t_i)$ adalah rerata pertumbuhan pada umur ke i dalam bulan, A adalah asimtot atas, b adalah kisaran parameter pertumbuhan, c adalah bentuk dari kurva dan t_i adalah umur ke i .

Tren dari korelasi umur muda-dewasa diekspresikan sebagai rasio rerata pertumbuhan pada umur yang lebih tua (Dy atau Ty) terhadap rerata pertumbuhan pada umur yang lebih muda (Dx atau Tx) bukan pada logaritmik umur yang

banyak digunakan pada studi korelasi umur muda-dewasa (Lambeth, 1980; McKeand, 1988). Bentuk dari fungsi yang digunakan dalam perhitungan ini pada dasarnya sama dengan formula (4), namun dimodifikasi sehingga korelasi tersebut [$r_{C(J-M)}$] adalah setara dengan 1.0 pada saat rasionya adalah 1.0. Modifikasi bentuk formula yang digunakan menjadi:

$$1.0 r_{C(J-M)} = a[1 - \exp\{-b(x-1)\}]^c \dots\dots\dots (4')$$

dimana, a , b dan c adalah parameter yang ditaksir dari data dan x adalah rasio dari rerata pertumbuhan pada umur yang lebih tua terhadap rerata pertumbuhan pada umur yang lebih muda (Dy/Dx atau Ty/Tx).

D. Peningkatan Genetik dan Efisiensi Seleksi

Peningkatan genetik ($Gain_{M-J}$) pada umur daur ($M=8$ tahun) dari seleksi tidak langsung didasarkan pada penampilan tanaman umur muda yang ditaksir dengan menggunakan formula sebagai berikut (Lambeth, 1980; McKeand, 1988):

$$Gain_{M-J} = i_J \cdot h_J \cdot h_M \cdot r_{J-M} \cdot P_M \dots\dots\dots (5)$$

dimana, i adalah intensitas seleksi dan diasumsikan sama dengan 1.0, h_J dan h_M berturut-turut adalah akar dari heritabilitas pada umur muda dan dewasa; r_{J-M} adalah korelasi umur muda-dewasa, dan P_M adalah standar deviasi fenotipik dari rerata famili pada umur dewasa.

Formula peningkatan genetik untuk seleksi langsung (*direct selection*) pada umur daur ($Gain_M$), yang pada dasarnya sama dengan formula (5), dimana $h_J = h_M$ dan r_{J-M} adalah setara dengan 1.0, sehingga formulanya berubah menjadi sbb.:

$$Gain_M = i_M \cdot h_M^2 \cdot P_M \dots\dots\dots (5')$$

dimana, i_M dan h_M^2 berturut-turut adalah intensitas seleksi dan heritabilitas pada umur dewasa.

Efisiensi untuk peningkatan genetik per tahun (E) dihitung sebagai perbandingan antara peningkatan genetik dari seleksi tidak langsung pada umur muda ($Gain_{M-J}$) terhadap peningkatan genetik dari seleksi langsung pada umur daur ($Gain_M$). Untuk melengkapi siklus pemuliaan pohon, ditambah dua tahun untuk setiap generasi sebagai besaran nilai yang diperlukan untuk

kegiatan koleksi benih dan pembangunan kebun benih semai. Formula efisiensi yang digunakan adalah sbb. (Lambeth, 1980; McKeand, 1988):

$$E = [\text{Gain}_{M,J} / \text{Gain}_M] / (T_J / T_M)$$

$$= [(i_J \cdot h_J \cdot h_M \cdot r_{J-M \cdot PM}) / (i_M \cdot h^2_{M \cdot PM})] / (T_J / T_M)$$

$$= [(i_J \cdot h_J \cdot h_M \cdot r_{J-M \cdot PM}) / T_J] / [(i_M \cdot h^2_{M \cdot PM}) / T_M] \dots \dots (6)$$

dimana, T_J dan T_M berturut-turut adalah umur untuk seleksi saat umur muda ($J+2$) dan seleksi pada umur dewasa ($M+2$).

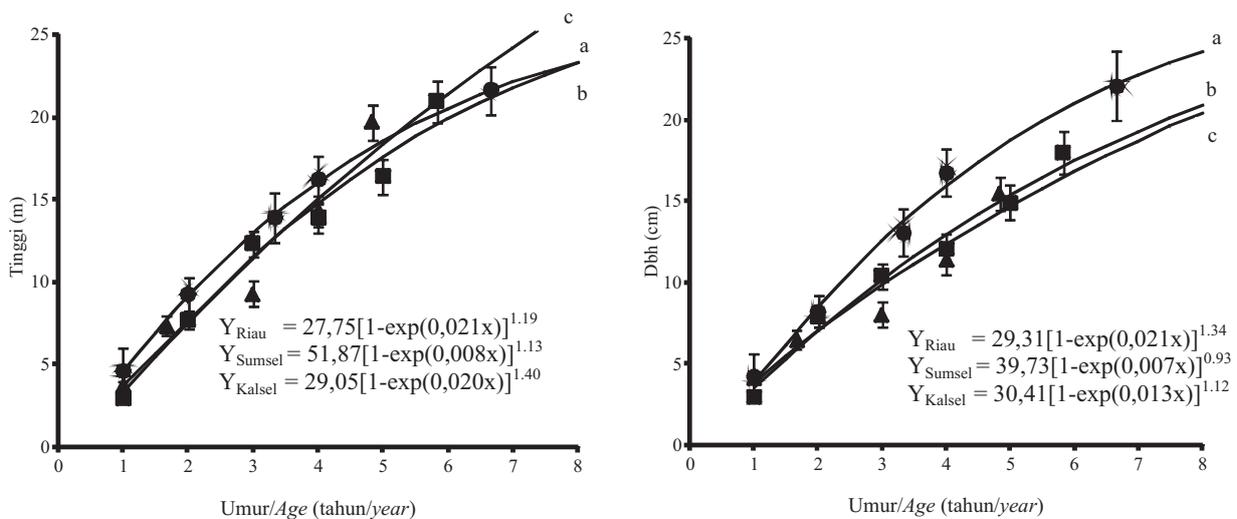
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Tren Pertumbuhan dan Parameter Genetik

Kurva pertumbuhan pohon *E. pellita* dibuat dengan menerapkan model *Richard-Chapman* ke hasil pengukuran periodik di tiap lokasi dan disajikan pada Gambar 1. Kurva pertumbuhan tinggi di ketiga lokasi menun-

unjukkan pertumbuhan yang hampir sama, kecuali di Kalimantan Selatan setelah umur 5 (lima) tahun dimana laju pertumbuhan nampak sedikit lebih tinggi dibandingkan di kedua lokasi lainnya. Sedangkan kurva pertumbuhan diameter menunjukkan bahwa di Sumatera Selatan dan Kalimantan Selatan mempunyai laju pertumbuhan yang hampir sama sedangkan di Riau sedikit lebih baik dibandingkan di kedua lokasi lainnya. Perbedaan pertumbuhan diameter tersebut kemungkinan karena tapak di Riau lebih subur (vegetasi awal dari hutan sekunder) dibandingkan kedua lokasi lainnya yang merupakan areal yang telah terdegradasi dengan vegetasi awal berupa alang-alang (*Imperata cylindrica*) (Tabel 1). Hal ini dikarenakan diameter pada umumnya dipengaruhi oleh perubahan kondisi lingkungan dibandingkan tinggi yang lebih kuat dikendalikan oleh faktor genetik.

Rerata pertumbuhan tinggi di ketiga lokasi dapat mencapai 15 m pada umur 4 tahun dan 20 m



Gambar (Figure) 1. Kurva pertumbuhan tinggi dan diameter (dbh) *E. pellita*, diperoleh dari pencocokan data pengukuran periodik di setiap lokasi. Simbul (bulat, segitiga dan segiempat) dengan garis berturut-turut adalah rerata pengamatan dan kurva pertumbuhan pohon untuk Riau (a), Sumatera Selatan (b) dan Kalimantan Selatan (c) (*Height and diameter (dbh) growth curves of E. pellita, obtained by fitting data from periodical measurements at each location. Symbol (circle, triangle and square) are observed means and the growth curves for Riau (a), South Sumatra (b) and South Kalimantan (c), respectively.*

Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan *E. pellita* di ketiga lokasi tersebut lebih baik dibandingkan hasil penelitian *E. pellita* di Australia, Brazil, Filipina, Vietnam dan Negara-negara tropis serta sub tropis lainnya yang pada umur 4 tahun hanya mencapai 6-10 m dan umur 5 tahun sekitar 6-13 m (Craciun, 1978; Ferreira and

Couto, 1981; Glori, 1993; Dickinson and Sun, 1995; Le Dinh Kha, 1996; Harwood *et al.*, 1997). Penampilan yang baik ini kemungkinan karena Indonesia merupakan salah satu habitat alami dari *E. pellita* (Papua) dan kondisi lingkungan dari lokasi penelitian (Tabel 1) hampir sama dengan karakteristik tapak di Papua. Hal ini

berarti, jenis tersebut sangat potensial dikembangkan di Indonesia, khususnya untuk program hutan tanaman. Sedangkan dari kurva pertumbuhan diameter di ketiga lokasi menunjukkan bahwa diameter pohon akan melebihi 20 cm (sebagai ukuran minimum untuk penggunaan kayu pertukangan) pada umur 8 tahun, dengan kerapatan tegakan yang lebih lebar oleh karena tegakan ini akan digunakan sebagai sumber benih. Di Queensland (Australia) kayu dari jenis ini sangat mudah dikerjakan untuk tiang, bantalan kereta api, *flooring*, panel dan konstruksi bangunan (Bootle, 1983). Pada saat ini, *E. pellita* pada program hutan tanaman industri (HTI) di Indonesia hanya digunakan untuk mensuplai bahan baku pulp dan kertas dengan diameter kecil pada daur yang pendek (di bawah 10 tahun). Berdasarkan penggunaan kayu untuk tujuan produksi kayu bulat dengan diameter pohon di atas 20 cm, maka *E. pellita* juga potensial untuk tujuan produksi yang berbeda dengan diameter pohon yang lebih besar seperti kayu pertukangan, kayu lapis, konstruksi bangunan, dll.

Kurva pertumbuhan tinggi dan diameter pada umumnya menunjukkan kesesuaian dengan rerata pertumbuhan hasil pengukuran di ketiga lokasi (Gambar 1). Hal ini merupakan indikasi bahwa pertumbuhan tinggi dan diameter pada *E. pellita* dapat digambarkan dengan menggunakan fungsi *Chapman-Richards* (formula 4) dan dapat digunakan untuk menaksir heritabilitas, korelasi genetik dan peningkatan genetik pada umur daur yang lebih tua dari data yang tersedia pada penelitian ini. Dengan demikian, formula regresi dari masing-masing sifat yang diukur di setiap lokasi dapat diimplementasikan untuk menaksir korelasi pada umur muda dan dewasa (*juvenile-mature correlations*) dan mengestimasi peningkatan genetik serta efisiensi seleksi.

Hasil analisis varian pada ketiga lokasi kebun benih disajikan pada Tabel 2. Hasil analisis menunjukkan bahwa semua variasi famili dari kedua sifat yang diukur di ketiga lokasi berbeda nyata kecuali di Riau pada umur yang lebih muda. Taksiran nilai heritabilitas individu pada setiap lokasi disajikan pada Tabel 3.

Tabel (Table) 2. Analisis varian terhadap tinggi dan diameter (dbh) hasil penggabungan dari tiga populasi di tiga lokasi (*Analysis of variance of height and diameter (dbh) pooled for three populations at the three locations*)

Lokasi/ Sumber variasi <i>Locations/Source of variation</i>	db <i>df</i>	Kuadrat Tengah (tahun)/ <i>Mean Squares (year)</i>				
		1	2	3	4	6
Tinggi:						
<i>Kalimantan Selatan:</i>						
Famili	118	0.754*	2.824**	3.501**	4.066**	11.679**
Eror	963	0.571	1.616	1.946	2.526	5.952
<i>Sumatera Selatan:</i>						
Famili	118	1.764**	2.746**	3.499*	4.715*	7.807**
Eror	873	1.080	1.660	2.608	3.801	4.735
<i>Riau:</i>						
Famili	117	1.306 ^{ns}	3.638**	4.133 ^{ns}	5.348 ^{ns}	14.165**
Eror	672	1.254	2.652	3.461	4.327	9.750
Dbh:						
<i>Kalimantan Selatan:</i>						
Famili	118	0.524**	2.899**	5.409**	7.859**	14.661**
Eror	963	0.314	1.845	2.854	3.966	7.323
<i>Sumatera Selatan:</i>						
Famili	118	1.208**	3.290**	3.757 ^{ns}	5.474*	11.185**
Eror	873	0.761	2.345	3.172	4.306	6.492
<i>Riau:</i>						
Famili	117	2.937 ^{ns}	3.674 ^{ns}	7.267*	9.690*	20.896**
Eror	672	2.377	3.595	5.707	7.458	12.749

Keterangan (Remark): ** = berbeda nyata pada taraf uji 1% (*significant at 1% level*); * = berbeda nyata pada taraf uji 5% (*significant at 5% level*); *ns* = tidak berbeda nyata (*not significant different*)

Nilai heritabilitas tersebut bervariasi dari rendah sampai sedang (0,015-0,284) dan sedikit berbeda antar sifat, lokasi dan umur. Nilai heritabilitas di Kalimantan Selatan secara umum lebih tinggi dibandingkan dengan kedua lokasi

lainnya dan heritabilitas di ketiga lokasi tersebut cenderung meningkat dengan penambahan umur. Heritabilitas individu untuk diameter pada umur 6 tahun sekitar 0,2 dan umumnya lebih tinggi dibandingkan sifat tinggi pada lokasi yang sama.

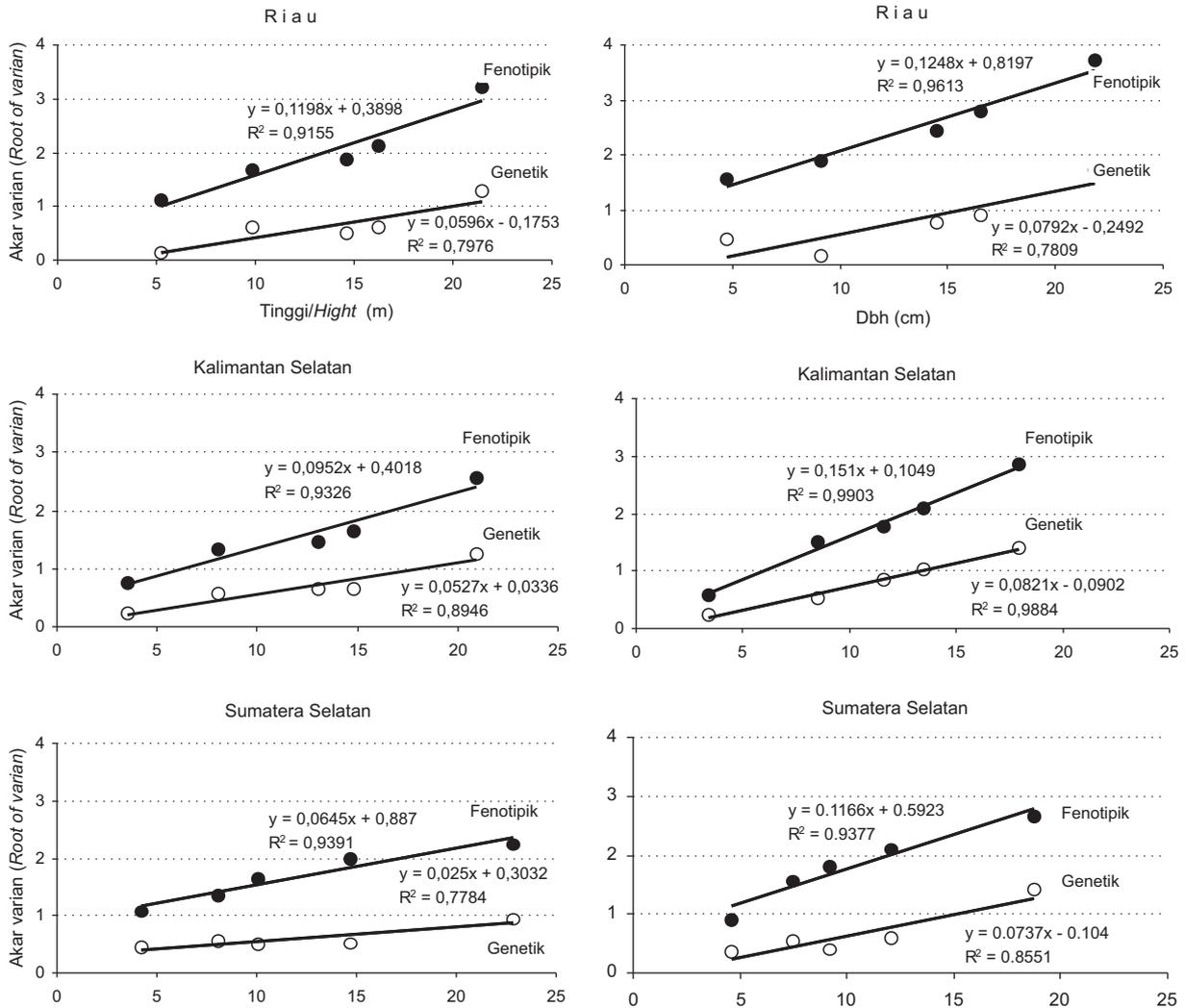
Tabel (Table) 3. Taksiran komponen varian dan heritabilitas untuk tinggi dan diameter (dbh) di tiga lokasi (*Estimate of variance component and heritability for height and diameter (dbh) at the three locations*)

Lokasi/ Parameter <i>Locations/Parameters</i>	Tinggi (tahun)/ <i>Height (years)</i>					Dbh (tahun)/ <i>Dbh (years)</i>				
	1	2	3	4	6	1	2	3	4	6
Kalimantan Selatan:										
σ_f^2	0.020	0.132	0.170	0.168	0.625	0.023	0.115	0.279	0.425	0.801
σ_e^2	0.571	1.616	1.946	2.526	5.952	0.314	1.845	2.854	3.966	7.323
h_i^2	0.085	0.189	0.201	0.156	0.238	0.169	0.126	0.223	0.242	0.247
Sumatera Selatan:										
σ_f^2	0.082	0.129	0.106	0.109	0.366	0.053	0.113	0.070	0.139	0.559
σ_e^2	1.080	1.660	2.608	3.801	4.735	0.761	2.345	3.172	4.306	6.492
h_i^2	0.176	0.181	0.098	0.070	0.179	0.163	0.115	0.054	0.078	0.284
Riau:										
σ_f^2	0.008	0.147	0.100	0.152	0.656	0.083	0.012	0.232	0.332	1.210
σ_e^2	1.254	2.652	3.461	4.327	9.750	2.377	3.595	5.707	7.458	12.749
h_i^2	0.015	0.131	0.070	0.085	0.158	0.085	0.008	0.098	0.106	0.217

Keterangan (*Remark*): σ_f^2 , σ_e^2 , dan h_i^2 berturut-turut adalah komponen varian famili, komponen varian di dalam plot dan heritabilitas individu (σ_f^2 , σ_e^2 , and h_i^2 are family variance component, within plot variance component and individual heritability, respectively)

Untuk mengetahui umur optimum untuk seleksi, tren waktu dari varian dan korelasi diekspresikan dalam bentuk regresi linier untuk menaksir peningkatan genetik terhadap perubahan umur pada setiap lokasi. Perubahan simpangan baku dari varian genetik dan fenotipik pada ketiga lokasi disajikan pada Gambar 2. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa akar varian genetik dan fenotipik meningkat dengan peningkatan proporsi tinggi dan diameter, dengan koefisien determinasi di atas 0,7. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh waktu dari kedua varian tersebut

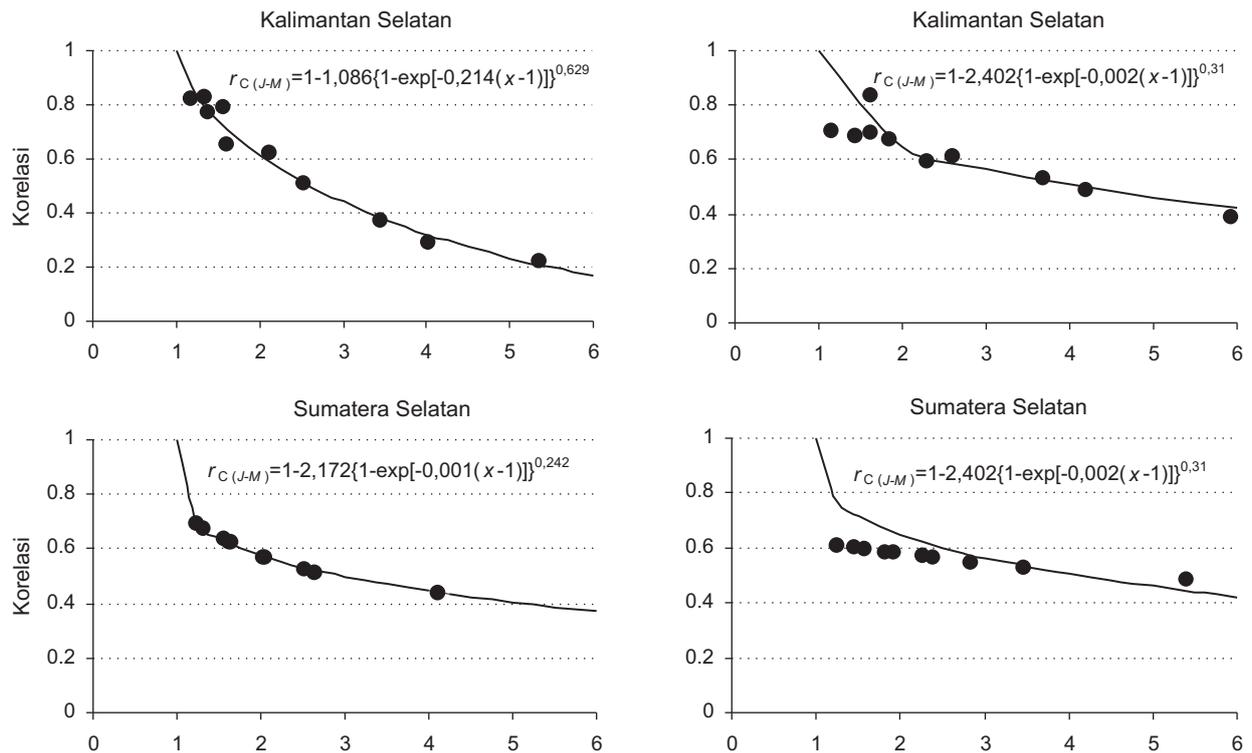
dapat diekspresikan dengan baik menggunakan regresi linier dengan rerata pertumbuhan sebagai variabel independen. Hal ini sebagaimana halnya dengan korelasi yang secara umum ditemukan dalam skala pengukuran suatu sifat seperti halnya ukuran tubuh manusia (Falconer and Mackay, 1996). Dengan demikian formula regresi pada setiap lokasi dapat digunakan untuk menaksir varian genetik dan fenotipik, dan nilai heritabilitas dapat dihitung sebagai rasio antara varian genetik dan varian fenotipik.



Gambar (Figure) 2. Perubahan simpangan baku dari varian genetik dan fenotipik dengan waktu yang digambarkan dengan regresi linier di tiga lokasi (*Deviation changing of genetic and phenotypic variance with time by linier regression in the three locations*)

Korelasi antara pengukuran pertumbuhan tinggi dan diameter di dua umur yang berbeda (umur 1-6 tahun) ditempatkan berlawanan

dengan rasio rerata pertumbuhan pada umur yang lebih tua terhadap rerata pertumbuhan pada umur yang lebih muda (Gambar 3).



Gambar (Figure) 3. Tren korelasi antar umur dengan rerata rasio diameter dan tinggi pada setiap lokasi. Bulatan hitam adalah korelasi antara dua umur. Garis merupakan regresi yang telah dicocokkan dengan formula (4'). Rasio pertumbuhan diameter dan tinggi (x) adalah (Dy/Dx) dan (Ty/Tx) dimana Dy dan Ty adalah rerata diameter dan tinggi pada umur yang lebih tua, Dx dan Tx adalah rerata diameter dan tinggi pada umur yang lebih muda ($Dy > Dx$; $Ty > Tx$) (*Trend of age-age correlation with mean diameter and height ratio at each location. Closed circles are age-age correlation between two ages. Lines were regression equation fitted with Eq. (4'). Diameter and height growth rates (x) are (Dy/Dx) and (Ty/Tx) where Dy and Ty are older diameter and height mean, Dx and Tx are younger diameter and height mean ($Dy > Dx$; $Ty > Tx$)*)

Dari gambar tersebut nampak bahwa korelasi akan tinggi (>0.8) ketika rasio rerata pertumbuhan mendekati 1 (satu) dan menurun hingga mendekati 0,2 ketika rasio meningkat. Penurunan dari tren korelasi ini diekspresikan sangat baik dengan menggunakan modifikasi fungsi Richards (Formula 4') dengan rasio sebagai variabel bergantung. Tren dari korelasi antar umur hampir sama untuk kedua sifat yang diukur dan di ketiga lokasi sebagaimana dindikasikan oleh parameter pada formula di setiap sifat dan lokasi (Gambar 3). Meskipun demikian, tren dari pertumbuhan diameter nampak lebih jelas dibandingkan dengan tinggi. Hal ini kemungkinan karena diameter merupakan prioritas utama dalam seleksi pohon pada kebun benih *E. pellita* dibandingkan dengan tinggi yang menduduki prioritas kedua pada semua tingkatan seleksi (Leksono and Kurinobu, 2005). Formula tersebut selanjutnya digunakan untuk menaksir

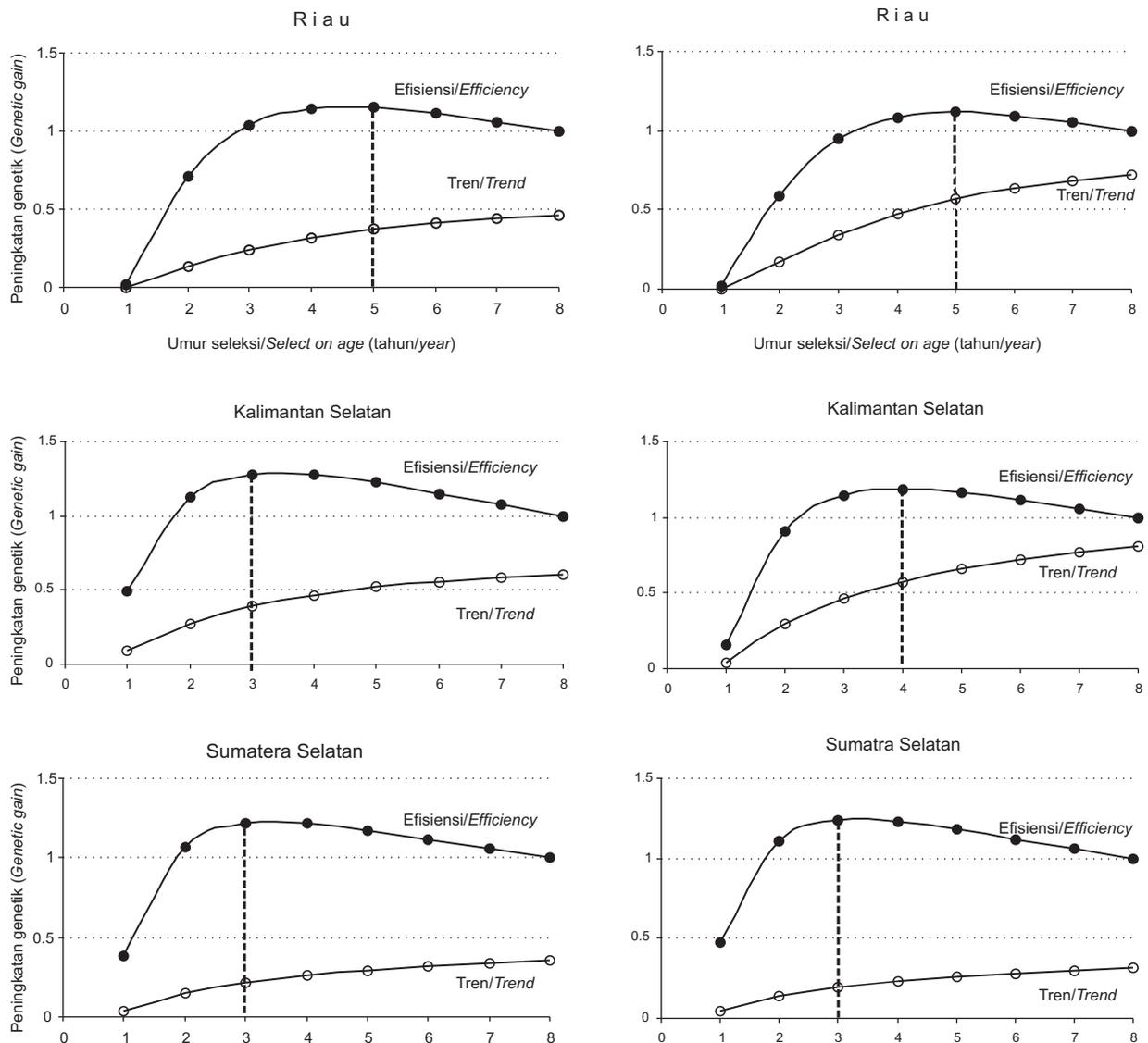
peningkatan genetik dan efisiensi seleksi di ketiga lokasi.

B. Peningkatan Genetik dan Efisiensi Seleksi

Peningkatan genetik pada seleksi tidak langsung (*indirect selection*) yang ditaksir dengan formula (5) dan seleksi langsung (*direct selection*) pada umur daur dengan formula (5'), dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai kumulatif peningkatan genetik per tahun pada kedua sifat di ketiga lokasi meningkat dengan pertambahan umur. Secara umum, peningkatan genetik di Kalimantan Selatan lebih tinggi dibandingkan dua lokasi lainnya, dan bahkan hampir dua kali lebih tinggi dibandingkan Sumatera Selatan. Sedangkan terhadap sifat yang diukur, peningkatan genetik pada diameter nampak lebih tinggi dibandingkan sifat tinggi. Perbedaan peningkatan genetik ini dikarenakan nilai

heritabilitas di Kalimantan Selatan lebih tinggi dibandingkan lokasi lain dan ditemukan hampir

pada setiap pengukuran. Hal yang sama untuk diameter dibandingkan tinggi tanaman (Tabel 3).



Gambar (Figure) 4. Taksiran peningkatan genetik (*bulatan putih*) dan efisiensi seleksi tidak langsung dan seleksi langsung pada setiap lokasi (*bulatan hitam*) untuk tinggi (kiri) dan diameter (kanan). Umur optimum untuk seleksi ditunjukkan dengan garis terputus-putus (*Predicted genetic gain (white circles) and relative efficiency for indirect and direct selection at each location (solid circles) of height (left) and diameter (right). Optimum ages for selection are shown by dotted lines*)

Efisiensi untuk peningkatan genetik per tahun yang dihitung dengan formula (6) disajikan bersama-sama dengan tren peningkatan genetik pada Gambar 4. Semua nilai efisiensi pada umur 3-7 tahun menunjukkan lebih tinggi dari pada 1,0 pada kedua sifat dan di ketiga lokasi yang diukur. Hal ini mengindikasikan bahwa seleksi lebih awal pada kebun benih semai selalu menghasilkan peningkatan genetik per tahun yang lebih tinggi terhadap umur daur (McKeand, 1988). Nilai efisiensi tertinggi bervariasi diantara kedua sifat dan di ketiga lokasi, yaitu antara 3-5 tahun. Hal ini berarti bahwa umur optimum untuk seleksi pada kebun benih semai *E. pellita* dengan daur 8 tahun adalah antara 3-5 tahun (Gambar 4). Perbedaan nilai efisiensi seleksi tersebut dikarenakan rasio dari korelasi peningkatan genetik per tahun terhadap peningkatan genetik pada umur daur bervariasi diantara sifat dan lokasi.

Pada studi efisiensi seleksi jenis-jenis konifer dilaporkan bahwa seleksi yang akurat hanya dapat dilakukan setelah minimum separuh dari umur daur (Franklin, 1979), meskipun Lambeth (1980) berpendapat bahwa seleksi lebih awal juga memungkinkan untuk dilakukan. Hal ini dikarenakan nilai heritabilitas untuk sifat-sifat pertumbuhan pohon pada umur muda tidak selalu stabil sampai dengan tanaman tumbuh dewasa (Franklin, 1979). Hal lain yang perlu dipertimbangkan adalah meskipun umur optimum untuk seleksi ditentukan berdasarkan peningkatan genetik per satuan waktu, namun perlu mempertimbangkan umur setelah pohon dewasa dan telah memproduksi benih (Gwaze *et al.*, 1997). Untuk jenis *E. pellita*, memerlukan waktu minimum 5 (lima) tahun untuk dapat memproduksi benih yang cukup dalam membangun kebun benih semai. Oleh karena itu lima tahun merupakan waktu yang tepat dan lebih baik untuk seleksi akhir pada siklus pemuliaan pohon *E. pellita* dibandingkan umur yang lebih muda.

Pada studi umur optimum untuk seleksi yang telah dilakukan sebelumnya, sebagian besar analisis dan kesimpulan dilakukan pada data koleksi dari umur yang sangat terbatas (Wu, 1999). Namun demikian, prosedur analisis pada tulisan ini memungkinkan untuk dapat melakukan penaksiran parameter genetik yang lebih tua dari data yang tersedia sampai pada umur daur. Hal ini dikarenakan varian fenotipik dan varian genetik dapat diekspresikan dengan baik menggunakan formula regresi linier dengan rerata pertumbuhan sebagai variabel bergantung

sebagaimana disajikan pada Gambar 2. Kedekatan korelasi antara rerata dan varian pada sebagian besar sifat pertumbuhan tanaman telah dijelaskan pada beberapa pustaka (Falconer *and* Mackay, 1996). Selain itu, tren dari korelasi muda-dewasa yang diekspresikan dengan rasio logaritmik berdasarkan umur (Lambeth, 1980), juga telah digambarkan dengan baik terhadap rasio rerata pertumbuhan pada umur yang berbeda (Gambar 3). Rasio tersebut kemungkinan lebih baik untuk menggambarkan tren korelasi muda-dewasa dibandingkan dengan menggunakan umur, dimana perbedaan pada rerata pertumbuhan pada umur yang sama terkadang sangat besar (Cotterill *and* Dean, 1988). Oleh karena itu, prosedur analisis pada tulisan ini dapat menghasilkan penaksiran umur seleksi optimum yang lebih tepat sepanjang fungsi-fungsi sebagaimana disajikan tersebut di atas dihasilkan dengan tepat.

IV. KESIMPULAN

1. Fungsi kurva pertumbuhan *Chapman-Richards* dapat diimplementasikan untuk menaksir pertumbuhan tinggi dan diameter pada umur yang lebih tua. Formula regresi yang dihasilkan dapat digunakan untuk menaksir korelasi pada umur muda dan dewasa (*juvenile-mature correlations*) serta peningkatan genetik per tahun untuk mengetahui umur seleksi yang optimum pada kebun benih semai *E. pellita*.
2. Umur optimum untuk seleksi phon plus diperoleh antara 3 - 5 tahun di ketiga lokasi kebun benih semai *E. pellita*, namun demikian umur 5 tahun dalam satu siklus pemuliaan *E. pellita* dengan penyerbukan terbuka (*open pollination*) akan lebih optimal dalam praktek di lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur PT. Inhutani III (Kalimantan Selatan), PT. Musi Hutan Persada (Sumatera Selatan) dan PT. Perawang Sukses Perkasa Industri (Riau) beserta peneliti dan teknisi pada Unit HTI, atas kerjasama yang baik dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Tim JICA (*Japan*

International Cooperation Agency) atas kerjasama teknis yang telah berlangsung pada fase pertama dalam pembangunan kebun benih semai *E.pellita*. Kepada para teknisi B2PBPTH Yogyakarta yang telah membantu dalam persiapan data, diucapkan banyak terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakshi, B.K., M.A.R. Reddy, and L.Singh. 1976. *Ganoderma Root Rot Mortality in Khair (Acacia catechu Willd.) in Reforested Stand*. European Journal of Forest Pathology 6:30-38.
- Barari, S. 1993. *Attack of Ganoderma on Acacia auriculiformis and A. mangium*. Indian Forester 119:765.
- Bootle, K.R. 1983. *Wood in Australia: Types, Properties and Uses*. Mc.Graw-Hill, Sydney. 444p.
- Cotterill, P.P. and C.A. Dean. 1988. *Change in the Genetic Control of Growth of Radiata Pine to 16 Years and Efficiencies of Early Selection*. Silvae Genetica 37:138-146.
- Cracium, G.C.J. 1978. *Eucalyptus Trials in the North Territory Coastal Region*. Australian Forest Research 8:153-161.
- Dickinson, G.R. and D. Sun. 1995. *Species and Provenance Evaluation of Eucalyptus cloeziana, E. pellita and E. urophylla at 4 Years in Far North Queensland*. DPI Forestry Tech. Report. Library Ref. Queensland Department of Primary Industry-Forestry, Brisbane, Australia.
- Falconer, D.S. and T.F.C. Mackay. 1996. *Introduction to quantitative genetics*. 4th ed. Longman Group, England. 464 p.
- Ferreira, C.A. and H.T.Z. do Couto. 1981. *The Influence of Environmental Variables on the Growth of Species/Provenances of Eucalyptus in the States of Minas Gerais and Esperito Santo*. Boletim de Pesquisa Florestal, Unidade Regional de Pesquisa Florestal Centro Sul, EMBRAPA, Brazil no. 3:9-35.
- Franklin, E.C. 1979. *Model Relating Levels of Genetic Variance to Stand Development of Four North American Conifers*. Silvae Genetica 28:207-212.
- Glori, A.V. 1993. *The Eucalyptus Tree Improvement Programme of PICOP*. pp. 253-261 in Davidson, J. (ed) Proceedings of Regional Symposium on Recent Advances in Mas Clonal Multiplication of Forest Trees for Plantation Programmes. UNDP/FAO Regional Project on improved Productivity of Man-Made Forest through Application of Technological Advances in Tree Breeding and Propagation. Los Banos, Philippines, 391 pp.
- Gwaze, D..P, J.A. Woolliams, and P.J. Kanowski. 1997. *Optimum Selection Age for Height in Pinus taeda L in Zimbabwe*. Silvae Genetica 46:358-365.
- Harwood, C.E., D. Alloysius, P.C. Pomroy, K.W. Robson, and M.W. Haines. 1997. *Early Growth and Survival of E. pellita Provenances in a Range of Tropical Environment, Compared with E. grandis, E. urophylla and A. mangium*. New Forest 14:203-219.
- Harwood, C.E. 1998. *Eucalyptus pellita an Annotated Bibliography*. CSIRO Publishing, Victoria, Australia. 70 p.
- Lambeth, C.C. 1980. *Juvenile-Mature Correlations in Pinaceae and Implications for Early Selection*. Forest Science 26:571-580.
- Lambeth, C.C., J.P. van Buijtenen, S.D. Duke, and R.B. Mc Cullough. 1983. *Early Selection is Effective in 20-Year-Old Genetic Test of Loblolly pine*. Silvae Genetica 32:210-215.
- Le Dinh Kha. 1996. *Research on Formulation of Scientific and Technological Basis for Supplying Improved Planting Materials of Forest Trees*. Science Rep.of Subject KN 03-03. Forest Science Institute of Vietnam, Chem, Tu Liem, Hanoi, Vietnam. 53 pp.
- Lee, S.S. 1993. *Diseases*. In: Awang, K. and Taylor, D. (eds) *Acacia mangium Growing and Utilization*. Winrock International and FAO, Bangkok, Thailand, pp 203-233.
- Leksono, B. and Kurinobu, S. 2005. *Trend of within family-plot selection practiced in the three seedling seed orchards of Eucalyptus pellita in Indonesia*. Journal of

- Tropical Forest Science 17:235-242.
- McKeand, S.E. 1988. *Optimum Age for Family Selection for Growth in Genetic Test of Loblollypine*. Forest Science 34:400-411.
- Nanson, A. 1969. *Juvenile and Correlated Trait Selection*. In: IUFRO Second Meeting Working Group on Quantitative Genetics Proceedings. Raleigh, NC, pp17-25.
- Squillace, A.E. and C.R. Gansel. 1974. *Juvenile-Mature Correlations in Slash Pine*. Forest Science. 20:225-229.
- Pienaar, L.V. and K.J. Turnbull. 1973. *The Chapman-Richards Generalization of von Bertalanffy's Growth Model for Basal Area Growth and Yield in Even Age Stands*. Forest Science. 19:2-22.
- Richards, F.J. 1959. *A Flexible Growth Function for Empirical Use*. Journal of Experimental Botany 10:290-300.
- Sonia, K.K. and C.K. Tiwari. 1993. *Ganoderma Root-Rot in an Acacia Arboretum*. European Journal of Forest Pathology 23:252-254.
- Williams, E.R. and A.C. Matheson. 1994. *Experimental Design and Analysis for Use in Tree Improvement*. CSIRO Information Service. Victoria, Australia
- Woolaston, R.R., P.J. Kanowski, and G. Nikles.. 1990. *Genetic Parameter Estimates for Pinus caribaea var Hondurensis in Coastal Queensland, Australia*. Silvae Genetica 39:21-28.
- Wu, H.X. 1999. *Advantage of Early Selection through Shortening the Breeding Cycle*. Silvae Genetica 48:78-83.