

**PARAMETER GENETIK SIFAT PERTUMBUHAN DAN KERAPATAN KAYU
KLON *Eucalyptus pellita* F. Muell. DI DUA TAPAK YANG BERBEDA DI
KALIMANTAN TIMUR**

Genetic parameters for growth and basic density of Eucalyptus pellita F. Muell. clones at two different sites in East Kalimantan

Achmad Ramadan¹, Sapto Indrioko² dan Eko Bhakti Hardiyanto²

¹Mahasiswa pasca sarjana, Program Studi Ilmu Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada
Jl. Agro Bulaksumur No. 1, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

²Staf pengajar, Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada
Jl. Agro Bulaksumur No. 1, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

email: sindrioko@ugm.ac.id

Tanggal diterima: 23 Oktober 2018, Tanggal direvisi: 24 Oktober 2018, Disetujui terbit: 17 November 2018

ABSTRACT

Industrial forest plantations have an important role in fulfilling the wood demand. Based on global industrial development, the forest plantations industry will increase in the following years. Eucalyptus pellita has become main species in Indonesia forest plantations because it has a short cycle and wood products are suitable to forest industry. The average productivity of E. pellita plantations in Indonesia is still low and high variation. In an effort to increase the productivity, the first step is a better understanding of genetic control on growth and basic density. This study aims to determine the genetic parameters for growth and basic density of E. pellita clones on two different sites. The clonal trials was conducted at two different sites. Both clonal trial are designed using RCBD. The number of clones tested in both trial was 30, 5 blocks and 25 tree/plot. The result of the study showed that the effects of clones vary greatly according the enviromental conditions. The clones-environemntal interaction of growth trait is higher than the basic density. This is in line with genetic parameters of growth trait that are less stable than the basic density. The expected genetic gain of growth trait is higher than the basic density and at the same time there was a weak genetic correlation (there is even a negative) between growth trait and basic density. Therefore carefulness is needed in selecting clones when the two traits are used as selection parameters.

Keywords: *broadsense heritability, genetic gain, genetic correlation, type b correlation*

ABSTRAK

Hutan tanaman industri memiliki peran yang penting dalam memenuhi kebutuhan kayu. Berdasarkan perkembangan industri secara global, industri hutan tanaman akan meningkat pada tahun-tahun selanjutnya. *Eucalyptus pellita* menjadi pilihan utama dalam hutan tanaman di Indonesia karena berdaur singkat dan produk kayu sesuai dengan kebutuhan industri. Rerata produktivitas hutan tanaman *E. pellita* di Indonesia masih rendah dan memiliki variasi pertumbuhan yang tinggi. Dalam upaya meningkatkan rerata produktivitas tegakan langkah pertama yang perlu dilakukan adalah pemahaman yang lebih baik mengenai kontrol genetik terhadap sifat pertumbuhan dan kerapatan kayu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter genetik untuk pertumbuhan dan kerapatan kayu pada uji klon *E. pellita* di dua tapak yang berbeda. Uji klon dilakukan pada dua tapak yang berbeda. Kedua uji klon dirancang menggunakan rancangan acak kelompok lengkap. Jumlah klon yang diuji di kedua tapak adalah 30, diulang 5 kali dan jumlah pohon/plot adalah 25. Hasil penelitian memperlihatkan efek klon sangat bervariasi menyesuaikan terhadap kondisi lingkungannya. Interaksi klon dengan lingkungan pada sifat pertumbuhan lebih tinggi dibandingkan dengan sifat kerapatan kayu. Hal tersebut sejalan dengan nilai parameter genetik sifat pertumbuhan yang kurang stabil dan kontrol genetik yang lebih rendah dibandingkan dengan sifat kerapatan kayu. Nilai perolehan genetik sifat pertumbuhan lebih tinggi dibandingkan dengan sifat kerapatan kayu dan disaat yang bersamaan terdapat korelasi genetik yang lemah antara sifat pertumbuhan dan sifat kerapatan kayu. Oleh karena itu diperlukan kehati-hatian dalam melakukan seleksi klon ketika kedua sifat tersebut dijadikan parameter seleksi.

Kata kunci: *heritabilitas, perolehan genetik, korelasi genetik, korelasi tipe B*

I. PENDAHULUAN

Hutan tanaman industri memiliki peran yang penting dalam memenuhi kebutuhan kayu bagi industri kehutanan dan menyediakan sekitar sepertiga permintaan kayu berdasarkan data dari Indufor Plantation Databank (Barua, Lehtonen, & Pahkasalo, 2014). Berdasarkan perkembangan industri secara global, industri berbasis hutan tanaman akan meningkat pada tahun-tahun selanjutnya. Hutan tanaman *Pinus* spp. dan *Eucalyptus* spp. mendominasi penanaman di daerah tropis dan sub-tropis dengan persentase 42% dan 26% (Binkley et al., 2017).

Eucalyptus pellita menjadi salah satu pilihan utama dalam hutan tanaman di Indonesia karena berdaur pendek (6-8 tahun), produk kayu sesuai dengan industri *pulp* dan kertas, cepat tumbuh serta mudah diperbanyak. *E. pellita* adalah spesies yang mudah beradaptasi dengan lingkungan, berbatang lurus, lebih resisten terhadap hama dan penyakit, serta mudah untuk diperbanyak (Harwood, Alloysius, Pomroy, Robson, & Haines, 1997).

Perkembangan strategi pemuliaan *E. pellita* saat ini didominasi melalui perhutanan klon. Klon memiliki kelebihan diantaranya adalah produktivitas yang tinggi dan yang terpenting menjadi pembuka untuk dilakukannya hibrid (Griffin, 2014). Selain itu kelebihan lainnya dari klon adalah dapat memaksimalkan perolehan genetik (White, Adam, & Neale, 2007).

Perhutanan klon mengacu pada seluruh proses pembuatan hutan tanaman berbasis klon mulai dari seleksi, perbanyakan, evaluasi dan pengelolaan dalam hutan tanaman (Wendling, Trueman, & Xavier, 2014). Perusahaan hutan tanaman harus menyediakan klon dengan basis genetik yang luas yang dapat beradaptasi terhadap lingkungan yang berbeda. Dalam pengembangan klon perlu diperhatikan stabilitas kinerja klon di lapangan. Klon yang stabil pada kondisi lingkungan yang beragam sangat baik dalam penerapan perhutanan klon (Wahid et al.,

2012). Pendekatan yang lain adalah melalui pemilihan klon yang paling sesuai dengan suatu tipe lingkungan tertentu (Li, Suontama, Burdon, & Dungey, 2017).

Rerata produktivitas hutan tanaman *E. pellita* di Indonesia adalah 15,6 – 17,6 m³ha⁻¹ tahun⁻¹ dengan koefisien variasi antara 54 – 72% (Harwood & Nambiar, 2014). Pertumbuhan *E. pellita* di lapangan sangat dipengaruhi oleh potensi genetik dan interaksi dengan lingkungannya. Pemilihan material genetik terbaik yang sesuai dengan tapaknya memiliki peran yang penting dalam meningkatkan produktivitas tegakan. Apabila hal tersebut tidak diperhatikan, maka akan menyebabkan kerugian. Kesalahan memilih spesies pada tapak terpilih atau sebaliknya merupakan faktor utama yang menyebabkan rendahnya pertumbuhan *Eucalyptus* sp. di Sumatera Utara (Latifah, Villanueva, Carandang, Bantayan, & Florece, 2014).

Dalam upaya meningkatkan produktivitas tegakan *E. pellita* di Indonesia, diperlukan pemahaman yang lebih baik mengenai kontrol genetik terhadap sifat pertumbuhan dan kerapatan kayu untuk mendukung upaya perbaikan genetik (Hung et al., 2014). Untuk mengetahui kinerja genetik diperlukan perhitungan estimasi parameter genetik. Beberapa parameter genetik yang umum digunakan adalah heritabilitas, perolehan genetik, korelasi genetik dan korelasi tipe B (Hodge & Dvorak, 2012).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter genetik untuk pertumbuhan dan kerapatan kayu pada uji klon *E. pellita* di dua tapak yang berbeda. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dalam penyusunan dasar strategi pengembangan material genetik bagi perusahaan-perusahaan hutan tanaman industri.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan lokasi

Uji klon dipaparkan pada dua lokasi, keduanya di PT. Surya Hutani Jaya yang berlokasi di Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. Lokasi uji klon pertama adalah tapak 4 berada di koordinat 117° 2' 53.637" E dan 0° 2' 41.233" N dengan luas 3,0 ha dan penanaman dilakukan pada bulan Maret 2014. Lokasi uji klon kedua adalah tapak 2 berada di koordinat 116° 59' 47.965" E dan 0° 4' 0.672" N dengan luas 4,4 ha dan penanaman dilakukan pada bulan Agustus 2014. Tipe iklim lokasi uji klon adalah tipe A berdasarkan klasifikasi oleh Schmidt-Ferguson. Curah hujan selama tahun 2014 – 2017 adalah 1.400 – 2.500 mm tahun⁻¹, curah hujan yang tinggi umumnya jatuh pada bulan Nopember sampai bulan Juli.

Pengamatan yang digunakan pada penelitian ini adalah pengukuran 4 tahun pada bulan Maret 2018 (tapak 4) dan bulan Agustus 2018 (tapak 2). Pengamatan yang dilakukan adalah tinggi pohon dan diameter batang, serta pengambilan sampel kayu dengan bentuk sampel inti kayu (*core sample*).

B. Rancangan percobaan

Kedua uji klon dirancang menggunakan rancangan acak kelompok lengkap (RCBD = *randomized completely block design*). Jumlah klon yang diuji di masing-masing tapak adalah 30, diulang 5 kali dan jumlah pohon/plot adalah 25.

C. Pengukuran dan analisis data

Pengukuran untuk pertumbuhan (tinggi pohon dan diameter batang) dilakukan pada umur 4 tahun. Pengukuran dilakukan pada plot inti (*core plot*) sebanyak 9 pohon. Tinggi pohon diukur menggunakan Haga meter, sedangkan diameter batang (1,30 m dari permukaan tanah) diukur dengan pita diameter (*phi band*). Untuk pengukuran kerapatan kayu, sampel diambil dari 15 pohon per klon menggunakan bor riap (Haglof *increment borer* Φ 12 mm), dalam setiap ulangan terdapat 3 pohon sampel.

Volume pohon dihitung dengan menggunakan rumus yang digunakan oleh West (2009), yaitu :

$$V = 0,3 \times T \times D^2 \dots\dots\dots(1)$$

Dimana

V : volume pohon (m³)

T : tinggi pohon (m)

D : diameter batang (m)

Kerapatan kayu (*basic density*) didapatkan melalui perbandingan berat kering tanur dengan volume basah seperti pada persamaan yang digunakan oleh Wu et al. (2011), yaitu :

$$KK = Bkt / Vb \dots\dots\dots(2)$$

Dimana

KK : kerapatan kayu (kg m⁻³)

Bkt : berat kering tanur (kg)

Vb : volume basah atau *green volume* (m³)

Penanganan sampel dan pengukuran volume basah (*green volume*) dilakukan dengan metode *water displacement* dan pengukuran berat kering tanur (*oven dried weight*) dilakukan pada temperatur 105°C selama 24 jam (Stackpole, Vaillancourt, Aguigar, & Potts, 2010).

Model statistik yang digunakan menggunakan rerata plot untuk melakukan analisis terhadap tinggi pohon, diameter batang, volume pohon dan kerapatan kayu. Model yang digunakan mengikuti pendekatan yang dilakukan oleh Baltunis & Brawner, (2010), yaitu :

Masing-masing tapak:

$$Y_{ij} = \mu + U_i + K_j + e_{ij}$$

Dengan Y_{ij} adalah observasi fenotip ke-ij, μ adalah rerata, U adalah efek ulangan ke-i, K adalah efek klon ke-j dan e adalah efek error ke-ij

Analisa kombinasi tapak :

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + U(T)_{ij} + K_k + KT_{ik} + e_{ijk}$$

Dengan Y_{ijk} adalah observasi fenotip ke-ijk, μ adalah rerata, T adalah efek tapak ke-i, K adalah efek klon ke-k, KT adalah efek interaksi klon dengan site ke-ik, U(T) adalah efek ulangan yang bersarang pada tapak ke-ij dan e adalah efek error ke-ijk.

Berdasarkan data pengukuran yang dilakukan maka dilakukan analisis data dengan menggunakan analisis varians (ANOVA), ANOVA didapatkan melalui prosedur *GLM* (*general linear model*) dengan menggunakan data rerata plot sedangkan varians dan kovarians genetik diestimasi menggunakan prosedur *proc varcomp* dalam perangkat lunak SAS.

Perhitungan taksiran parameter genetik yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan beberapa metode perhitungan. Estimasi heritabilitas menggunakan rerata plot. Persamaan untuk masing-masing tapak mengikuti yang dilakukan oleh Torres-Dini et al. (2016), yaitu:

$$H^2 = \sigma_K^2 / (\sigma_K^2 + \sigma_e^2 / u) \dots\dots\dots (3)$$

sedangkan estimasi heritabilitas untuk kombinasi tapak adalah sebagai berikut :

$$H^2 = \sigma_K^2 / (\sigma_K^2 + \sigma_{KT}^2 / t + \sigma_e^2 / ut) \dots\dots\dots (4)$$

Dengan H^2 adalah nilai estimasi heritabilitas klon, σ_K^2 adalah komponen varians klon, σ_{KT}^2 adalah komponen varians interaksi klon dengan tapak dan σ_e^2 adalah komponen varians eror, t adalah rerata harmonik tapak, u adalah rerata harmonik ulangan dan ut adalah rerata harmonik replikasi. Komponen varians diestimasi menggunakan perangkat lunak SAS.

Perolehan genetik (P_G) dihitung dengan menggunakan rumus yang digunakan oleh Luechanimitichit, Luangviriyasaeng, Laosakul, Pinyopusarerk, & Bush (2017), yaitu :

$$P_G = i (\sigma_P) H^2 \dots\dots\dots (5)$$

$$P_{G\%} = \frac{P_G}{\bar{X}} \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

Dengan i adalah intensitas seleksi, σ_P adalah standar deviasi fenotip, H^2 adalah heritabilitas dan \bar{X} adalah rerata fenotip masing-masing sifat yang dianalisis.

Korelasi genetik (r_G) dihasilkan dari perhitungan antara kovarians dengan standar deviasi pada dua sifat yang berbeda. Perhitungan korelasi genetik dan korelasi tipe B menggunakan rumus yang digunakan oleh Hodge & Dvorak, (2015), yaitu:

$$r_G = \frac{\sigma_{G_x G_y}}{\sqrt{(\sigma_{G_x}^2 \sigma_{G_y}^2)}} \dots\dots\dots (7)$$

$$\sigma_{G_x G_y} = \frac{\sigma_{G(x+y)}^2 - \sigma_{G_x}^2 - \sigma_{G_y}^2}{2} \dots\dots\dots (8)$$

Dengan $\sigma_{G_x G_y}$ adalah nilai kovarians genetik dari sifat X dan sifat Y, $\sigma_{G_x}^2$ $\sigma_{G_y}^2$ adalah nilai varians genetik sifat X dan sifat Y serta $\sigma_{G(x+y)}^2$ adalah nilai komponen varians genetik sifat X dan Y.

Korelasi tipe B digunakan untuk mengetahui korelasi genetik antara sifat yang sama yang diekspresikan pada dua atau lebih lokasi yang berbeda (Hodge & Dvorak, 2015). Korelasi tipe B dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$r_{BG} = \frac{\sigma_K^2}{(\sigma_K^2 + \sigma_{KT}^2)} \dots\dots\dots (9)$$

Dengan σ_K^2 adalah komponen varians genetik klon, dan σ_{KT}^2 adalah komponen varians genetik interaksi klon dengan tapak. Seluruh nilai komponen varians didapatkan pada analisis kombinasi tapak.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

1. Pertumbuhan

Hasil analisis varians secara umum terdapat perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) untuk hampir seluruh sifat pertumbuhan dan kerapatan kayu (Tabel 1), kecuali diameter batang di tapak 2 ($Pr > F = 0,0553$).

Hasil pengukuran tinggi pohon memperlihatkan rerata tinggi pohon pada umur 4 tahun adalah 15,8 – 20,5 m di tapak 4, di tapak 2 adalah 15,0 – 20,7 m dan 16,2 – 20,4 m berdasarkan analisis kombinasi tapak. Koefisien variasi sifat tinggi pohon pada tapak 4 (15,8%) lebih rendah dibandingkan tapak 2 (17,0%), kondisi tersebut memperlihatkan tinggi pohon di tapak 4 lebih seragam dibandingkan tapak 2 (Tabel 1).

Tabel 1 memperlihatkan rerata diameter batang umur 4 tahun di tapak 4 adalah 10,3 – 13,7 cm, tapak 2 adalah 10,5 – 14,9 cm dan berdasarkan kombinasi tapak sebesar 10,4 – 14,5 cm. Rerata diameter batang di tapak 2 (12,5 cm) lebih tinggi dibandingkan di tapak 4 (11,8 cm).

Berdasarkan hasil pengukuran tinggi pohon dan diameter batang, selanjutnya dilakukan perhitungan volume pohon. Rerata volume pohon umur 4 tahun di tapak 4 adalah 0,055 – 0,124 m³, tapak 2 adalah 0,060 – 0,156 m³ dan berdasarkan kombinasi tapak adalah 0,057 – 0,146 m³ (Tabel 1).

Tabel 1. Ringkasan hasil analisis sifat pertumbuhan dan kerapatan kayu

Sifat	Tapak 4	Tapak 2	Kombinasi tapak
Tinggi pohon (m)			
Rerata	18,6	18,8	18,6
Min	15,8	15,0	16,2
Maks	20,5	20,7	20,4
CV (%)	15,8	17,0	16,4
Pr>F	< 0,0001	0,0065	0,0161
Diameter batang (cm)			
Rerata	11,7	12,5	12,1
Min	10,3	10,5	10,4
Maks	13,7	14,9	14,5
CV (%)	19,2	23,1	21,5
Pr>F	0,0030	0,0553	0,0051
Volume pohon (m3)			
Rerata	0,082	0,098	0,089
Min	0,055	0,060	0,057
Maks	0,124	0,156	0,146
CV (%)	48,8	55,1	52,8
Pr>F	0,0001	0,0347	0,0089
Kerapatan kayu (kg m-3)			
Rerata	465,2	450,0	457,7
Min	428,4	404,5	426,8
Maks	558,7	495,3	527,0
CV (%)	5,4	5,6	5,7
Pr>F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Keterangan: CV = koefisien variasi

Rerata kerapatan kayu di tapak 4 adalah 428,4 – 558,7 kgm⁻³, tapak 2 adalah 404,5 – 495,3 kgm⁻³ dan kombinasi tapak adalah 426,8 – 527,0 kgm⁻³. Rerata dan koefisien variasi kerapatan kayu di tapak 4 adalah 465,2 kgm⁻³ dan 5,4%. Rerata dan koefisien variasi di tapak 2 adalah 450,0 kgm⁻³ dan 5,6%, sedangkan rerata dan koefisien variasi berdasarkan kombinasi tapak adalah 457,7 kgm⁻³ dan 5,7% (Tabel 1).

2. Parameter genetik

Taksiran heritabilitas untuk tinggi pohon adalah 0,50 – 0,66, diameter batang adalah 0,38 – 0,57 dan volume pohon adalah 0,43 – 0,63. Taksiran heritabilitas kerapatan kayu pada masing-masing tapak adalah 0,89 di tapak 4, tapak 2 adalah 0,82 dan 0,86 berdasarkan analisis kombinasi tapak (Tabel 2).

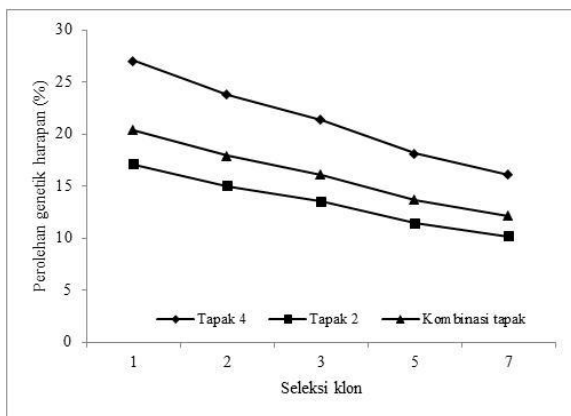
Tabel 2. Taksiran heritabilitas (H²) masing-masing sifat

Sifat	Tapak 4	Tapak 2	Kombinasi tapak
Tinggi pohon	0,66	0,50	0,57
Diameter batang	0,53	0,38	0,57
Volume pohon	0,63	0,43	0,58
Kerapatan kayu	0,89	0,82	0,86

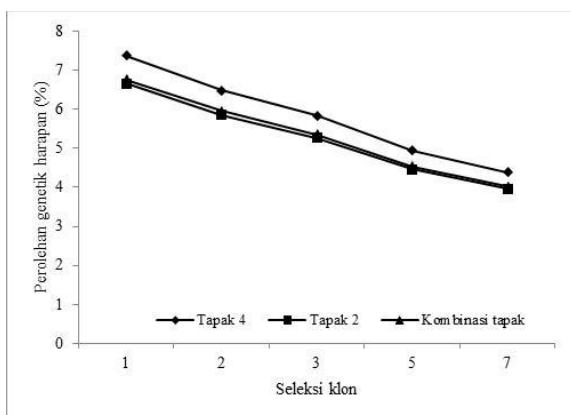
Berdasarkan nilai taksiran heritabilitas dapat dikalkulasikan nilai perolehan genetik harapan yang merupakan respons dari seleksi. Perolehan genetik harapan volume pohon sebesar 16,1 – 27,0% di tapak 4; 10,2 – 17,0% di tapak 2 dan 12,1 – 20,4% pada kombinasi tapak dengan memilih 1 – 7 klon terbaik (Gambar 1). Perolehan genetik harapan kerapatan kayu di tapak 4 sebesar 4,4 – 7,4% dengan memilih 1 – 7 klon terbaik. Sedangkan perolehan genetik harapan kerapatan kayu yang dapat diraih di tapak 2 dan kombinasi tapak adalah 4,0 – 6,7% dan 4,0 – 6,8% (Gambar 2). Perolehan genetik harapan volume pohon dan

kerapatan kayu di tapak 4 lebih tinggi dibandingkan di tapak 2.

Parameter genetik selanjutnya yang perlu diketahui adalah korelasi genetik antar sifat. Korelasi genetik antar sifat dilakukan untuk mengetahui hubungan satu sifat dengan sifat lainnya. Nilai korelasi genetik (r_G) antara sifat tinggi pohon dengan diameter batang memperlihatkan hubungan yang erat dan positif yaitu rentang 0,71 – 0,79 (Tabel 3). Korelasi genetik antara sifat tinggi pohon dengan kerapatan kayu adalah sebesar 0,04 – 0,23; sedangkan korelasi genetik antara sifat diameter batang dengan kerapatan kayu adalah -0,21 sampai dengan -0,06 (Tabel 3). Dengan demikian hubungan antara sifat-sifat pertumbuhan (tinggi pohon dan diameter batang) dengan kerapatan terlihat lemah bahkan negatif (diameter batang).



Gambar 1. Persentase perolehan genetik harapan volume pohon



Gambar 2. Persentase perolehan genetik harapan kerapatan kayu

Untuk mengetahui hubungan antara sifat yang sama pada dua tapak yang berbeda dilakukan perhitungan korelasi tipe B. Pengamatan korelasi tipe B dilakukan untuk sifat tinggi pohon, diameter batang, volume pohon dan kerapatan kayu. Tabel 4 menunjukkan nilai korelasi tipe B sifat diameter batang adalah 0,81; sedangkan nilai korelasi tipe B sifat tinggi pohon dan volume pohon adalah 0,67 dan 0,79. Nilai korelasi tipe B kerapatan kayu sebesar 0,87 yang menunjukkan kestabilan kerapatan kayu pada dua kelas tapak yang diuji.

Tabel 3. Korelasi genetik antar sifat

Sifat	Tapa k 4	Tapa k 2	Kombinasi tapak
Tinggi pohon × diameter batang	0,75	0,79	0,71
Tinggi pohon × Kerapatan kayu	0,19	0,04	0,23
diameter batang × kerapatan kayu	-0,06	-0,05	-0,21

Tabel 4. Korelasi tipe B masing-masing sifat

Sifat	Korelasi tipe B
Tinggi pohon	0,67
Diameter batang	0,81
Volume pohon	0,79
Kerapatan kayu	0,87

B. Pembahasan

1. Pertumbuhan

Hasil analisis varians pada Tabel 1 memperlihatkan perbedaan yang nyata hampir diseluruh sifat yang diamati ($P < 0,05$). Perbedaan yang nyata seperti pada penelitian ini ditemukan juga pada penelitian *E. urophylla* × *E. tereticornis* umur 8 tahun di Cina, efek klon sangat signifikan pada semua sifat ($P \leq 0,01$) pada masing-masing lokasi dan kombinasi lokasi (Yang et al., 2018). Hasil serupa diungkapkan oleh Wu et al., (2013) yang menyebutkan perbedaan yang nyata pada sifat pertumbuhan dan kerapatan kayu umur 96 bulan pada klon *E. urophylla*. Berdasarkan hasil penelitian-penelitian di atas, efek klon sangat bervariasi menyesuaikan terhadap kondisi

lingkungannya. Melalui variasi yang terjadi, didapatkan peluang mendapatkan klon terbaik di masing-masing tapak atau terbaik di kedua tapak.

Rerata tinggi pohon *E. pellita* pada umur 4 tahun adalah 18,6 – 18,8 m dan rerata diameter batang pada umur 4 tahun adalah 11,8 – 12,5 cm (Tabel 1). Hasil tersebut hampir sama yang diperoleh di China pada klon *Eucalyptus* hibrid umur 51 bulan dengan tinggi pohon dan diameter batang adalah 17,9 – 18,8 m dan 11,9 – 12,6 cm (Wu et al., 2011). Hasil berbeda ditunjukkan klon *Eucalyptus* hibrid umur 44 bulan di China, dengan rerata tinggi dan diameter batang adalah 14,4 m dan 11,0 cm Wu et al. (2015) dan di Vietnam dengan tinggi pohon dan diameter batang klon *E. camaldulensis* umur 5 tahun adalah 10,5 – 14,1 m dan 8,8 – 13,4 cm (Kien, Jansson, Harwood, & Almqvist, 2010).

Koefisien variasi klon *Eucalyptus* hibrid umur 44 bulan di China adalah 9,84% untuk tinggi pohon dan 9,91% untuk diameter batang (Wu et al., 2015). Koefisien variasi klon *Eucalyptus* hibrid umur 51 bulan di China adalah 8,4 – 12,0% untuk tinggi pohon dan 8,4 – 10,7% untuk diameter batang (Wu et al., 2011). Koefisien variasi klon *Eucalyptus* hibrid di China lebih rendah dibandingkan pada penelitian ini yaitu 15,8 – 17,0% untuk tinggi pohon dan 19,2 – 23,1% untuk diameter batang (Tabel 1). Koefisien variasi yang lebih tinggi menunjukkan kuatnya interaksi klon dengan lingkungan yang berarti peluang seleksi klon akan menjadi lebih terbuka (Wu et al., 2015). Peluang seleksi mendapatkan klon terbaik lebih terbuka pada uji klon *E. pellita* umur 4 tahun ini.

Hasil pengukuran kerapatan kayu klon *E. pellita* pada penelitian ini berkisar pada rentang 404,5 – 558,7 kgm⁻³ (Tabel 1). Hasil tersebut searah dengan hasil Penelitian Prasetyo et al. (2017) yang menyebutkan kerapatan kayu *E. pellita* adalah 460 (400 – 550) kgm⁻³ pada umur 9 tahun di Sumatera utara. Rentang yang hampir sama ditemui pada Kerapatan kayu

klon-klon *Eucalyptus* hibrid di Cina umur 5,5 tahun yaitu 468 – 483 kgm⁻³ sesuai hasil penelitian Luo et al. (2012) dan 404 – 427 kgm⁻³ pada umur 51 bulan (Wu et al., 2015). Kerapatan kayu *E. pellita* yang lebih tinggi terdapat di Vietnam pada umur 10 tahun yaitu 657 – 665 kgm⁻³ sesuai dengan kebutuhan industri *pulp* dan kertas (Hung et al., 2014).

Kerapatan kayu memperlihatkan variasi yang lebih rendah dengan rerata CV < 6% dibandingkan dengan sifat tinggi pohon dengan CV sebesar 15,8 – 17,0% dan diameter batang dengan rerata CV adalah 19,2 – 23,1% (Tabel 1). Hasil penelitian yang serupa terjadi di Vietnam pada klon *E. camaldulensis* menunjukkan variasi yang rendah pada sifat kayu dibandingkan sifat pertumbuhan (Kien et al., 2010). Secara umum sifat kayu menampilkan variasi yang lebih kecil dibandingkan dengan sifat-sifat pertumbuhan (Yang et al., 2018).

2. Parameter genetik

Taksiran heritabilitas umur 4 tahun pada penelitian ini untuk tinggi pohon sebesar 0,50 – 0,66, diameter batang sebesar 0,38 – 0,57; volume pohon sebesar 0,43 – 0,63 dan kerapatan kayu sebesar 0,82 – 0,89 (Tabel 2). Taksiran heritabilitas sifat-sifat pertumbuhan termasuk kategori moderat, sedangkan taksiran heritabilitas kerapatan kayu (> 0,75) termasuk kategori tinggi (White et al., 2007). Taksiran heritabilitas pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan penelitian ini dilaporkan oleh Kien et al. (2010) yang menyebutkan taksiran heritabilitas di Vietnam pada klon *E. amaldulensis* umur 5 tahun di Vietnam yaitu sebesar 0,69 – 0,85 (tinggi pohon) dan 0,74 – 0,86 (diameter batang). Taksiran heritabilitas sifat pertumbuhan yang tinggi ditemukan juga pada klon *Eucalyptus* hibrid di Cina yaitu 0,73 – 0,96 pada umur 51 bulan sesuai yang dilaporkan Wu et al. (2011) dan 0,80 – 0,86 pada umur 44 bulan (Wu et al., 2015). Taksiran heritabilitas diameter batang klon *E. grandis* × *E. globulus* umur 4 tahun sebesar 0,72 di Uruguay (Torres-

Dini et al., 2016). Taksiran heritabilitas tinggi pohon sebesar 0,70 – 0,80 pada umur 5 tahun klon *E. urophylla* × *E. grandis* ditemukan di Kongo (Makouanzi, Chaix, Nourissier, & Vigneron, 2017). Taksiran heritabilitas yang lebih rendah ditemui di Afrika Selatan pada tinggi pohon dan diameter batang klon *E. grandis* umur 5 tahun yaitu 0,30 – 0,38 dan 0,32 – 0,33 (Snedden, Roux, & Verry, 2007).

Taksiran heritabilitas kerapatan kayu klon *E. pellita* umur 4 tahun pada penelitian ini adalah berkisar antara 0,82 – 0,89 (Tabel 2). Heritabilitas kerapatan kayu di Cina lebih rendah dibandingkan dengan penelitian ini, yaitu 0,62 – 0,74 pada klon *Eucalyptus* hibrid umur 51 bulan seperti yang dilaporkan oleh Wu et al., (2011). Taksiran heritabilitas kerapatan kayu yang lebih rendah juga diungkapkan oleh Wu et al. (2013) pada klon *E. urophylla* dan Yang et al. (2018) pada klon *E. urophylla* × *E. tereticornis* yaitu sebesar 0,5 pada umur 8 tahun di Cina. Taksiran heritabilitas kerapatan kayu yang lebih tinggi ditemukan di Vietnam yaitu 0,93 – 0,95 pada klon *E. camaldulensis* umur 5 tahun (Kien et al., 2010).

Taksiran heritabilitas kerapatan kayu pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan heritabilitas sifat-sifat pertumbuhan. Hasil tersebut selaras dengan hasil penelitian Pliura, Zhang, Mackay, & Bousquet (2007) yang menyebutkan nilai heritabilitas kerapatan kayu lebih tinggi dibandingkan dengan sifat pertumbuhan. Dengan demikian, sifat kerapatan kayu memiliki kontrol genetik yang kuat dibandingkan dengan faktor lingkungan.

Berdasarkan taksiran heritabilitas, dilakukan perhitungan perolehan genetik harapan. Hasil penelitian memperlihatkan potensi perolehan genetik sebesar 10,2 – 27,0% dengan memilih 1 – 7 klon teratas berdasarkan sifat volume pohon (Gambar 1). Hasil yang hampir sama diungkapkan oleh Kien et al. (2010) dengan menggunakan intensitas seleksi 5%, didapatkan perolehan genetik harapan sifat pertumbuhan sebesar 21,6 – 31,8% pada klon *E. camaldulensis* umur 5 tahun. Perolehan genetik harapan yang lebih besar yaitu 65%

ditemukan pada klon *E. urophylla* × *E. grandis* umur 5 tahun di Kongo melalui intensitas seleksi 2% (Makouanzi et al., 2017). Penggunaan klon yang tepat akan meningkatkan 20 – 25% perolehan genetik harapan dibandingkan dengan penggunaan asal benih walaupun dilakukan pada populasi pemuliaan yang sama, lokasi dan teknik silvikultur yang sama (Rezende, Resende, & Assis, 2014).

Terdapat potensi perolehan genetik harapan 4,0 – 7,4% berdasarkan sifat kerapatan kayu dengan memilih 1 – 7 klon terbaik berdasarkan kerapatan kayu (Gambar 2). Hasil yang hampir sama dengan perolehan genetik harapan sebesar 7,9% pada *E. globulus* umur 11 tahun di Tasmania (Apiolaza, Raymond, & Yeo, 2005). Potensi perolehan genetik kerapatan kayu dalam penelitian ini lebih rendah dibandingkan perolehan genetik volume pohon. Hasil serupa terdapat pada klon *E. camaldulensis* umur 5 tahun dengan perolehan genetik harapan sifat pertumbuhan mampu meningkatkan 22 – 32% dengan efek kecil terhadap kerapatan kayu (Kien et al., 2010).

Sifat genetik selanjutnya yang perlu diperhatikan adalah korelasi genetik dan korelasi tipe B. Korelasi genetik antara sifat tinggi pohon dan diameter batang pada penelitian ini pada rentang 0,71 – 0,79 (Tabel 3). Korelasi tersebut memperlihatkan hubungan yang erat dan positif diantara kedua sifat tersebut. Hasil yang selaras juga diperlihatkan pada klon *E. camaldulensis* umur 5 tahun di Vietnam dengan nilai 0,85 – 0,90 seperti dilaporkan oleh Kien et al. (2010) serta klon *E. urophylla* umur 9 tahun dengan nilai korelasi genetik sebesar 0,87 (Kien et al., 2009). Korelasi genetik yang tinggi antara tinggi pohon dan diameter batang ditemukan juga di Tasmania pada klon *E. globulus* umur 4 tahun yaitu 0,94 seperti yang dilaporkan oleh Silva, Potts, & Tilyard (2013) dan 0,68 pada klon *E. urophylla* × *E. grandis* umur 5 tahun di Kongo (Makouanzi et al., 2017). Di Cina, korelasi genetik antara tinggi pohon dengan diameter batang pada umur 51 bulan klon *Eucalyptus* hibrid sebesar 0,91 – 0,90

dilaporkan oleh Wu et al. (2011), sedangkan hasil yang berbeda ditunjukkan pada klon *Eucalyptus* hibrid umur 44 bulan dengan korelasi sebesar 0,38 (Wu et al., 2015).

Hal yang berbeda terjadi antara korelasi genetik sifat pertumbuhan (tinggi pohon dan diameter batang) dengan kerapatan kayu. Korelasi genetik antara tinggi pohon dengan kerapatan adalah 0,04 – 0,23 dan korelasi genetik antara diameter batang dengan kerapatan kayu adalah -0,21 sampai dengan -0,05 (Tabel 3). Korelasi genetik antara sifat tinggi pohon dengan kerapatan kayu bersifat sangat lemah. Hal yang sama terjadi pada korelasi genetik antara diameter batang dengan kerapatan kayu, selain lemah korelasi juga bersifat negatif. Korelasi yang lemah antara diameter batang dan kerapatan kayu dilaporkan juga oleh Yang et al. (2018) pada klon *E. urophylla* × *E. tereticornis* yaitu -0,03 umur 8 tahun di Cina. Tidak ada korelasi yang signifikan antara diameter batang dengan properties kayu pada *E. globulus* (Apiolaza et al., 2005). Korelasi genetik antara sifat pertumbuhan dan kerapatan kayu berkisar dari -0,12 hingga 0,28 pada klon *E. urophylla* umur 71 bulan (Wu et al., 2013). Tidak ada korelasi genetik antara kerapatan kayu dengan diameter pada *E. pellita* di Vietnam pada umur 10 tahun (Hung et al., 2014). Korelasi genetik antara tinggi dengan kerapatan kayu serta diameter batang dengan kerapatan kayu umur 5 tahun klon *E. camaldulensis* adalah 0,01 - 0,21 dan - 0,24 sampai dengan 0,21 di Vietnam (Kien et al., 2010). Lemahnya korelasi genetik antara sifat pertumbuhan dengan kerapatan kayu, memberikan gambaran untuk lebih berhati-hati dalam seleksi klon ketika kedua sifat tersebut dijadikan parameter seleksi.

Sifat genetik yang memberikan gambaran kinerja klon di dua kelas tapak yang berbeda adalah korelasi tipe B (r_{GB}). Nilai korelasi tipe B berkisar antara 0 dan 1, Nilai korelasi tipe B \approx 1 menunjukkan kinerja genotipe yang sempurna di beberapa lokasi atau dengan kata lain tidak ada interaksi genetik dengan lingkungan (Hodge & Dvorak, 2015). Nilai korelasi tipe B pada

penelitian ini berkisar antara 0,67 – 0,87 dengan rincian 0,67 untuk tinggi pohon, 0,81 untuk Diameter batang, 0,79 untuk volume pohon dan 0,87 untuk kerapatan kayu (Tabel 4). Nilai korelasi tipe B untuk diameter batang dan kerapatan kayu memperlihatkan stabilitas kinerja klon yang tinggi. Kolerasi tipe B klon *P. radiata* umur 5 tahun di Selandia Baru adalah 0,82 untuk tinggi dan 0,76 untuk diameter batang (Baltunis & Brawner, 2010). Di Cina, korelasi tipe B yang rendah terjadi pada klon *E. urophylla* × *E. tereticornis* umur 8 tahun, yaitu 0,39 untuk sifat tinggi pohon, 0,34 untuk sifat diameter dan 0,39 untuk kerapatan kayu (Yang et al., 2018). Secara umum, sifat-sifat pertumbuhan dan kerapatan kayu pada penelitian ini menunjukkan kinerja yang stabil (> 0,7) kecuali sifat tinggi pohon (0,67).

IV. KESIMPULAN

Efek klon sangat bervariasi menyesuaikan terhadap kondisi lingkungannya. Interaksi klon dengan lingkungan pada sifat pertumbuhan lebih tinggi dibandingkan dengan sifat kerapatan kayu. Hal tersebut sejalan dengan nilai parameter genetik sifat pertumbuhan yang kurang stabil dan kontrol genetik yang lebih rendah dibandingkan dengan sifat kerapatan kayu.

Nilai perolehan genetik harapan sifat pertumbuhan lebih tinggi dibandingkan dengan sifat kerapatan kayu dan disaat yang bersamaan terdapat korelasi genetik yang lemah (bahkan ada yang negatif) antara sifat pertumbuhan dan sifat kerapatan kayu. Oleh karena itu diperlukan kehati-hatian dalam melakukan seleksi klon ketika kedua sifat tersebut dijadikan parameter seleksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari tesis dan ucapan terima kasih disampaikan kepada Maurits S. Sipayung, Denri A. Nugroho, Agus Hendrawan, dan Masran serta pihak lainnya atas bantuannya dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Apiolaza, L. A., Raymond, C. A., & Yeo, B. J. (2005). Genetic Variation of Physical and Chemical Wood Properties of *Eucalyptus globulus*. *Silvae Genetica*, 54–4/5, 160–166.
- Baltunis, B. S., & Brawner, J. T. (2010). Clonal stability in *Pinus radiata* across New Zealand and Australia . I . Growth and form traits. *New Forests*, 40, 305–322.
- Barua, S. K., Lehtonen, P., & Pakkasalo, T. (2014). Plantation vision: potentials, challenges and policy options for global industrial forest plantation development. *International Forestry Review*, 16(2), 117–127.
- Binkley, D., Campoe, O. C., Alvares, C., Carneiro, R. L., Cegatta, Í., & Stape, J. L. (2017). The interactions of climate, spacing and genetics on clonal *Eucalyptus* plantations across Brazil and Uruguay. *Forest Ecology and Management*, 405, 271–283.
- Griffin, A. R. (2014). Clones or improved seedlings of *Eucalyptus*? Not a simple choice. *International Forestry Review*, 16(2), 216–224.
- Harwood, C. E., Alloysius, D., Pomroy, P., Robson, K. W., & Haines, M. W. (1997). Early growth and survival of *Eucalyptus pellita* provenances in a range of tropical environments, compared with *E. grandis*, *E. urophylla* and *Acacia mangium*. *New Forests*, 14, 203–219.
- Harwood, C. E., & Nambiar, E. K. S. (2014). *Sustainable plantation forestry in South-East Asia*. Canberra.
- Hodge, G. R., & Dvorak, W. S. (2012). Growth potential and genetic parameters of four Mesoamerican pines planted in the Southern Hemisphere. *Southern Forests*, 74(1), 37–41.
- Hodge, G. R., & Dvorak, W. S. (2015). Provenance variation and within-provenance genetic parameters in *Eucalyptus urophylla* across 125 test sites in Brazil, Colombia, Mexico, South Africa and Venezuela. *Tree Genetics & Genomes*, 11(57), 1–18.
- Hung, T. D., Brawner, J. T., Meder, R., Lee, D. J., Southerton, S., Thinh, H., & Dieters, M. (2014). *Estimates of genetic parameters for growth and wood properties in Eucalyptus pellita F. Muell. to support tree breeding in Vietnam*. *Annals of Forest Science* (Vol. 72). <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0426-9>
- Kien, N. D., Jansson, G., Harwood, C. E., & Almqvist, C. (2010). Clonal Variation and Genotype by Environment Interactions in Growth and Wood Density in *Eucalyptus camaldulensis* at Three Contrasting Sites in Vietnam. *Silvae Genetica*, 59(1), 17–28.
- Kien, N. D., Quang, T. H., Jansson, G., Harwood, C. E., Clapham, D., & Arnold, S. von. (2009). Original article Cellulose content as a selection trait in breeding for kraft pulp yield in *Eucalyptus urophylla* Keywords: *Annals of Forest Science*, 66(711).
- Latifah, S., Villanueva, T. R., Carandang, M. G., Bantayan, N. C., & Florece, L. M. (2014). Predicting growth and yield models for *Eucalyptus* species in Aek Nauli, North Sumatera, Indonesia. *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 3(4), 209–216.
- Li, Y., Suontama, M., Burdon, R. D., & Dungey, H. S. (2017). Genotype by environment interactions in forest tree breeding: review of methodology and perspectives on research and application. *Tree Genetics & Genomes*, 13(60), 1–18.
- Luechanimitchit, P., Luangviriyasaeng, V., Laosakul, S., Pinyopusarek, K., & Bush, D. (2017). Genetic parameter estimates for growth, stem-form and branching traits of *Casuarina junghuhniana* clones grown in Thailand. *Forest Ecology and Management*, 404, 251–257.
- Luo, J. Z., Arnold, R. J., Cao, J. G., Lu, W. H., Ren, S. Q., Xie, Y. J., & Xu, L. A. (2012). Variation in pulp wood traits between eucalypt clones across sites and implications for deployment strategies. *Journal of Tropical Forest Science*, 24(1), 70–82.
- Makouanzi, G., Chaix, G., Nourissier, S., & Vigneron, P. (2017). Genetic variability of growth and wood chemical properties in a clonal population of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* in the Congo. *Southern Forests*, 1–8.
- Pliura, A., Zhang, S. Y., Mackay, J., & Bousquet, J. (2007). Genotypic variation in wood density and growth traits of poplar hybrids at four clonal trials. *Forest Ecology and Management*, 238, 92–106.
- Prasetyo, A., Aiso, H., Ishiguri, F., Wahyudi, I., Wijaya, I. P. G., Ohshima, J., & Yokota, S. (2017). Variations on growth characteristics and wood properties of three *Eucalyptus* species planted for pulpwood in Indonesia. *TROPICS*, 26(2), 59–69.
- Rezende, G. D. S. P., Resende, M. D. V. de, & Assis, T. F. de. (2014). *Eucalyptus Breeding for Clonal Forestry*. In T. Fenning (Ed.),

- Challenges and Opportunities for the World's Forests in the 21st Century* (pp. 393–424). Springer Dordrecht Heidelberg New York London.
- Silva, J. C. e, Potts, B. M., & Tilyard, P. (2013). Stability of genetic effects across clonal and seedling populations of *Eucalyptus globulus* with common parentage. *Forest Ecology and Management*, 291, 427–435.
- Snedden, C. L., Roux, C. Z., & Verry, S. D. (2007). Broad- and narrow-sense heritabilities in a South African cloned open-pollinated *Eucalyptus grandis* breeding population. *Southern Hemisphere Forestry Journal*, 69(2), 81–90.
- Stackpole, D. J., Vaillancourt, R. E., Aguilar, M. De, & Potts, B. M. (2010). Age trends in genetic parameters for growth and wood density in *Eucalyptus globulus*. *Tree Genetics & Genomes*, 6, 179–193.
- Torres-Dini, D., Nunes, A. C. P., Aguiar, A., Nikichuk, N., Centurión, C., Cabrera, M., ... Sebbenn, A. M. (2016). Clonal selection of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus globulus* for productivity, adaptability, and stability, using SNP markers. *Silvae Genetica*, 65(2), 30–38.
- Wahid, N., Rainville, A., Lamhamedi, M. S., Margolis, H. A., Beaulieu, J., & Deblois, J. (2012). Genetic parameters and performance stability of white spruce somatic seedlings in clonal tests. *Forest Ecology and Management*, 270, 45–53.
- Wendling, I., Trueman, S. J., & Xavier, A. (2014). II: reinvigoration, rejuvenation and juvenility maintenance. *New Forests*, 45, 473–486.
- West, P. W. (2009). *Tree and Forest Measurement* (2nd Editio). Springer Dordrecht Heidelberg London New York.
- White, T. L., Adam, W. T., & Neale, D. B. (2007). *Forest Genetics*. CABI Publishing. Wallingford.
- Wu, S., Lu, Z., Xu, J., Chen, G., Zhu, Y., & Li, G. (2015). Genetic variation in growth traits and stem – branch characteristics and their relationships to *Eucalyptus* clones. *Journal of Forestry Research*, 26(4), 957–962.
- Wu, S., Xu, J., Li, G., Risto, V., Du, Z., Lu, Z., ... Wang, W. (2011). Genotypic variation in wood properties and growth traits of *Eucalyptus hybrid* clones in southern China. *New Forests*, 42, 35–50.
- Wu, S., Xu, Jianm., Li, G., LU, Z., Han, C., Hu, Y., & Hu, X. (2013). Genetic variation and genetic gain in growth traits, stem-branch characteristics and wood properties and their relationships to *Eucalyptus urophylla* clones. *Silvae Genetica*, 62(4–5), 218–231.
- Yang, H., Weng, Q., Li, F., Zhou, C., Li, M., Chen, S., ... Gan, S. (2018). Genotypic Variation and Genotype-by-Environment Interactions in Growth and Wood Properties in a Cloned *Eucalyptus urophylla* × *E. tereticornis* Family in Southern China. *Forest Science*, 1–8.

