

EVALUASI UJI KLON JATI (*Tectona grandis* L.f.) UMUR 20 TAHUN DI KPH CEPU PERUM PERHUTANI

*Evaluation of clonal test of teak (*Tectona grandis* L.f.) at 20 years in KPH Cepu Perum Perhutani*

Deanova Frestiana Br. Pelawi¹, Sapto Indrioko², Fanny Hidayati¹ dan Aris Wibowo³

²Kontributor Utama, ^{1,2}Universitas Gadjah Mada,

Jl. Agro No 1 Bulaksumur, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

email penulis korespondensi: sindrioko@ugm.ac.id

³Pusat Penelitian dan Pengembangan Perhutani Cepu,

Jl. Wonosari Tromol Pos No.6, Brangkal, Batokan Kec.Cepu, Bojonegoro, Jawa Tengah, Indonesia

Tanggal diterima: 07 Februari 2020, Tanggal direvisi: 18 Februari 2020, Disetujui terbit: 23 Juni 2020

ABSTRACT

Evaluation of the teak clone test aims to determine the growth and genetic parameters of the clones at the age of 20 years. Teak clone test was established in 1999 with a Randomized Complete Block Design (RCBD). The number of clones used was 65 clones, five replications (blocks), four treeplots, with a spacing of 3m x 3m. Measurements were carried out on the growth characteristics (i.e., plant height and diameter at breast height / DBH) and wood quality (i.e., Pilodyn penetration stress-wave velocity / SWV). The results of the analysis of variance showed that there were very significant differences in all observed growth characteristics. Heritability for plant height, stem diameter, Pilodyn penetration, and SWV were 0.38, 0.51, 0.59, 0.29, and 0.53, respectively. The expected genetic gains for volume and SWV were 21.81% and 2.11%, respectively, by selecting the best seven clones. The correlation between growth characteristics is highly positive. Furthermore, correlation between growth characteristics and Pilodyn penetration is positive and significant, indicating that better growth characteristics will be followed by decreasing wood density/specific gravity. However, further research is needed to clarify this result. Correlation between growth characteristics (tree diameter and height) and SWV are positively low, suggesting that mechanical properties are independent from growth characteristics. Based on clone values of stem diameter and SWV characteristics, there are seven best clones with 4,32 – 17,52% improvement in comparison with the grand mean.

Keywords: heritability, genetic gain, teak clone, Pilodyn penetration, stress-wave velocity (SWV)

ABSTRAK

Evaluasi uji klon jati bertujuan untuk mengetahui pertumbuhan dan parameter genetik klon pada umur 20 tahun. Uji klon jati dibangun pada tahun 1999 dengan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dengan melibatkan 65 klon, 5 replikasi (blok), 4 treeplot, dan jarak tanam 3m x 3m. Pengukuran dilakukan terhadap karakter pertumbuhan (tinggi tanaman dan diameter batang / DBH) serta kualitas kayu (penetrasi Pilodyn, dan kecepatan rambat gelombang/ stress-wave velocity/ SWV). Hasil analisis varians menunjukkan terdapat perbedaan sangat nyata terhadap semua karakter pertumbuhan yang diamati. Heritabilitas untuk sifat tinggi tanaman, diameter batang, penetrasi Pilodyn, dan SWV berturut-turut sebesar 0,38; 0,51; 0,59; 0,29; dan 0,53. Perolehan genetik harapan untuk volume dan SWV berturut-turut sebesar 21,81 % dan 2,11 % berdasarkan pemilihan tujuh klon terbaik. Korelasi antar karakter pertumbuhan bernilai positif dan kuat. Adapun korelasi antar karakter pertumbuhan dan penetrasi Pilodyn bernilai positif dan signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin baik sifat pertumbuhan dapat mengakibatkan penurunan kerapatan / berat jenis kayunya. Namun, perlu penelitian lebih lanjut terkait dengan hal ini. Hubungan antara karakter pertumbuhan (diameter dan tinggi pohon) dengan SWV bernilai lemah. Hal ini menunjukkan bahwa sifat mekanika kayu tidak dipengaruhi oleh pertumbuhan pohon pada Jati. Berdasarkan nilai klon dari karakter diameter batang dan SWV, terdapat tujuh klon terbaik dengan peningkatan sebesar 4,32 – 17,52% dibandingkan dengan nilai rerata umum.

Kata kunci: heritabilitas, perolehan genetik, klon jati, penetrasi Pilodyn, kecepatan rambat gelombang (SWV)

I. PENDAHULUAN

Kualitas kayu jati yang baik dapat diukur dari sifat fisika dan sifat mekanikanya.

Pengujian kualitas kayu dapat dilakukan dengan pendekatan non-destruktif menggunakan Pilodyn dan Fakkop. Pilodyn dikenal sebagai alat yang digunakan untuk menilai kerapatan

kayu dalam program pemuliaan pohon (Fukatsu et al., 2011; Fundova, Funda, & Wu, 2019; Hassegawa et al., 2020), dan umumnya nilai penetrasi Pilodyn berkorelasi negatif terhadap kerapatan kayu (S. Wu et al., 2010). Kerapatan kayu merupakan salah satu sifat fisika kayu, sedangkan Fakkop merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk menaksir kecepatan rambat gelombang (*stress wave velocity*) yang lazim disebut dengan SWV pada kayu yang masih berdiri (Fukatsu, Hiraoka, Matsunaga, Tsubomura, & Nakada, 2015). Nilai SWV dapat digunakan sebagai indikator kekuatan dan kekerasan kayu (Fundova et al., 2019).

Evaluasi uji klon jati di Perum Perhutani selama ini dilakukan untuk mengetahui produktivitas kayu, adapun informasi kualitas kayunya masih sangat terbatas. Di Cepu dan Ciamis terdapat uji klon jati yang dibangun tahun 1999 dengan jumlah klon yang tidak sama (Na'iem, 2000), karena menyesuaikan dengan ketersediaan bibit. Materi genetik yang diuji merupakan hasil eksplorasi pohon plus di Jawa. Evaluasi uji klon jati untuk sifat pertumbuhan tanaman di kedua lokasi sudah dilakukan oleh Wardani (2008). Demikian pula evaluasi terhadap produktivitas kayu dan kualitas kayu jati pada umur 12 tahun telah dilakukan (F. Hidayati, Ishiguri, Iizuka, Makino, Tanabe, et al., 2013).

Penggunaan materi genetik yang sudah termuliakan dan teknik silvikultur yang tepat, maka produktivitas semakin meningkat, sehingga daur pengusahaan hutan Jati Plus Perhutani (JPP) direncanakan menggunakan daur pendek (20 tahun), sesuai perhitungan Enters (2000). Pada tahun 2019, umur uji klon jati yang ditanam pada tahun 1999 sudah mencapai daur 20 tahun. Namun produktivitas dan kualitas kayu jati hingga akhir daur belum diketahui.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi uji klon jati pada akhir daur pendek (20 tahun), agar dapat mengetahui kinerja klon jati pada saat sudah ditetapkan untuk dipanen. Penelitian ini selain menghitung laju pertumbuhan klon

jati, juga menilai kualitas kayu dari klon jati dan korelasinya terhadap sifat-sifat yang diuji.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan lokasi penelitian

Sumber materi uji klon berasal dari hasil eksplorasi hutan jati di pulau Jawa. Asal pohon plus materi ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Asal pohon plus materi uji klon

Asal KPH	Jumlah klon
Blora	1
Bojonegoro	1
Cepu	12
Jatirogo	8
Jombang	1
Kebonharjo	7
Kendal	2
Mantingan	5
Nganjuk	4
Padangan	3
Parengan	2
Pati	3
Randublatung	14
Saradan	1

Penelitian dilakukan pada uji klon jati yang dibangun tahun 1999 di petak 98b, RPH Cabak, BKPH Cabak, KPH Cepu, Perum Perhutani unit I Jawa Tengah. Penelitian dilaksanakan pada saat tanaman sudah berumur 20 tahun.

B. Rancangan penelitian

Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok lengkap (RAKL) dengan melibatkan 65 klon, 4 treeplot per klon, serta 5 blok sebagai ulangan dengan jarak tanam 3m x 3m. Identitas nomor-nomor klon yang digunakan mengikuti hasil identifikasi dari eksplorasi pohon plus.

C. Pengukuran dan analisis data

Variabel yang diukur adalah karakter pertumbuhan tanaman (tinggi tanaman, diameter batang setinggi dada/DBH), sifat fisika kayu (penetrasi Pilodyn) dan sifat mekanika kayu (kecepatan rambat gelombang/SWV).

D. Analisis data

Data hasil pengukuran diolah menggunakan analisis varians, dengan model linear sebagai berikut (Le Dinh et al., 2012):

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + K_j + BK_{ij} + E_{ijk}$$

Keterangan:

Y_{ijk} : pengamatan pada blok ke-i, klon ke-j, dan ulangan ke-k

μ : rerata umum

B_i : blok ke-i

K_j : klon ke-j

BK_{ij} : efek interaksi pada blok ke-i dan klon ke-j

E_{ijk} : random error pada pengamatan ke-ijk

Nilai heritabilitas individu atau klon ditaksir melalui komponen varians yang diperoleh dari hasil analisis varians. Formula taksiran nilai heritabilitas klon ditaksir dengan menggunakan formula sebagai berikut (Le Dinh et al., 2012):

$$H^2 = \frac{\sigma^2_k}{\sigma^2_k + \sigma^2_{kb/B} + \sigma^2_{e/NB}}$$

Keterangan:

H^2 : nilai estimasi heritabilitas klon,

σ^2_k : nilai komponen varians klon,

σ^2_{kb} : nilai komponen varians klon-blok,

σ^2_e : nilai komponen varians error,

B : jumlah blok,

N : rerata harmonik pohon per plot

Untuk menduga besarnya perolehan genetik digunakan rumus (Pliura, Suchocka, Sarsekova, & Gudynaite, 2014):

$$G = H^2 \times I \times \sigma_p$$

Keterangan:

G : nilai perolehan genetik

H^2 : nilai heritabilitas

I : nilai intensitas seleksi

σ_p : adalah standar deviasi fenotipe

Korelasi genetik dilakukan untuk mengetahui hubungan keeratan antara sifat tinggi dan diameter secara genetis, yang dilakukan dengan menggunakan rumus (Pliura et al., 2014):

$$r_G = \frac{\sigma k_{xy}}{\sqrt{(\sigma^2 k_x \times \sigma^2 k_y)}}$$

Sedangkan komponen kovarian untuk dua sifat yang diukur (x dan y) dihitung dengan

rumus sebagai berikut (Pliura et al., 2014):

$$\sigma k_{xy} = 0,5(\sigma^2 k_{(x+y)} - \sigma^2 k_x - \sigma^2 k_y)$$

Keterangan:

r_G : nilai korelasi genetik

σk_{xy} : nilai komponen kovarians untuk sifat x dan sifat y

$\sigma^2 k_x$: nilai komponen varian untuk sifat x

$\sigma^2 k_y$: nilai kovarians untuk sifat y

Perolehan genetik dan korelasi genetik didapatkan melalui prosedur *Best Linear Unbiased Prediction* BLUP (Li, Suontama, Burdon, & Dungey, 2017).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pertumbuhan tanaman dan kualitas kayu

Hasil perhitungan rerata persen hidup tanaman pada uji klon pada umur 20 tahun adalah 40,42%. Persen hidup yang relatif rendah disebabkan adanya penjarangan dengan intensitas 50% pada semua klon tahun 2007. Hal ini berdampak berkurangnya jumlah treeplot pada setiap klon. Oleh karena itu, nilai persen hidup ini tidak mencerminkan rendahnya kemampuan jati di tapak tersebut. Dengan demikian persen hidup uji klon pada penelitian ini masih tergolong baik. Lokasi di sekitar tempat penelitian merupakan kawasan hutan produksi jati, sehingga memang sesuai untuk penanaman jenis ini. Dalam hal ini, keberhasilan pemapanan tegakan dan pertumbuhan yang optimal sangat dipengaruhi oleh kesesuaian jenis dengan tapak maupun iklim setempat (Breugel et al., 2011; Doherty, Butterfield, & Wood, 2017). Pengujian klon jati di tempat lain yang diamati pada berbagai umur pengamatan (Tabel 2) menunjukkan variasi kemampuan hidup, mulai dari 58,4% di tapak yang kesuburannya rendah (Adinugraha & Mahfudz, 2016) hingga 90% di lokasi dengan curah hujan tahunan yang tinggi (Goh et al., 2013). Perbedaan persen hidup antar klon memberikan peluang peningkatan perolehan genetik melalui proses seleksi dan pemuliaan (Isaac-Renton, Stoehr, Bealle Statland, & Woods, 2020).

Tabel 2. Persen hidup dan pertumbuhan klon jati pada berbagai umur pengamatan

No	Umur (tahun)	Persen hidup (%)	Diameter (cm)	Tinggi (m)
1	5	58,4	8,61	8,74 ^a
2	6,5	90	16,21	15,9 ^b
3	7	90	20,6	16,25 ^c
4	9	-	13,57	10,17 ^d
5	10	57,8	18,54	12,38 ^e
6	12	-	16,3	13,00 ^f
7	20	40,4	17,92	14,71

Keterangan: ^a Adinugraha & Mahfudz (2016); ^b Monteuuis & Goh (2015); ^c Goh *et al.* (2013); ^d Wardani (2008); ^e Adinugraha & Pudjiono (2014); ^f Hidayati *et al.* (2013b)

Analisis varians menunjukkan terdapat perbedaan yang sangat nyata ($P < 0,001$) antar klon untuk seluruh karakter pertumbuhan dan kualitas kayu (Tabel 3). Adanya variasi antar klon sangat penting dalam kegiatan pemuliaan pohon untuk memperoleh peningkatan perolehan genetik pada generasi selanjutnya (Weng, Park, & Lindgren, 2012). Variasi genetik klon dalam populasi pemuliaan ini mencerminkan seberapa luas basis genetik yang digunakan (McKeand, 2015). Agar dapat diperoleh basis genetik yang luas, materi yang diuji idealnya adalah hasil seleksi induk dengan fenotipe superior dari berbagai populasi yang merupakan representasi sebarannya (Lindgren, 2016). Uji klon jati yang diteliti menggunakan 65 klon yang berasal dari pohon-pohon plus yang tersebar di 14 KPH Perum Perhutani Regional Jawa Tengah dan Jawa Timur (Tabel 1).

Penelitian uji klon jati yang lain juga menunjukkan pengaruh klon terhadap perbedaan seluruh karakter pertumbuhan (Tabel 2) yang diamati pada berbagai umur dan lokasi pengujian, yaitu umur 5 dan 10 tahun di Wonogori (Adinugraha & Mahfudz, 2016; Adinugraha & Pudjiono, 2014) dan 7 tahun di Malaysia (Goh *et al.*, 2013). Demikian pula karakter kualitas kayu berdasarkan SWV dan penetrasi Pilodyn yang diamati pada uji klon jati

umur 12 tahun juga menunjukkan variasi nyata antar klon (F. Hidayati, Ishiguri, Iizuka, Makino, Tanabe, *et al.*, 2013).

Tabel 3. Rata-rata pertumbuhan dan kualitas kayu klon jati

	Tinggi (m)	Diameter (cm)	Penetrasi Pilodyn (mm)	SWV (km/detik)
Rerata	14,71 ^{**}	17,92 ^{**}	19,46 ^{**}	3,57 ^{**}
Min	5	7,96	15	2,62
Max	24	31,51	26	4,45
CV	14,1	17,64	7,09	7,94

Keterangan: ^{**} berbeda sangat nyata (Prob. > F < 0,0001)

Rerata tinggi pohon jati uji klon pada umur 20 tahun adalah 14,71 dengan diameter batang 17,92 cm (Tabel 3), lebih rendah ukuran tinggi dan/atau diameternya dibanding dengan pertanaman klon jati yang lebih muda yaitu umur 6,5; 7; dan 10 tahun (Adinugraha & Pudjiono, 2014; Goh *et al.*, 2013; Monteuuis & Goh, 2015). Namun ukuran tinggi dan diameter jati umur 20 tahun ini juga lebih besar dibandingkan dengan beberapa pertanaman klon yang lain yang lebih muda (Tabel 2). Variasi kecepatan pertumbuhan yang relatif besar ini dipengaruhi berbagai faktor, terutama perbedaan genetik induk yang dipilih (Chaix *et al.*, 2011; Monteuuis *et al.*, 2011), umur (Sousa, Cardoso, Quilhó, & Pereira, 2012), kesuburan tanah dan jarak tanam (Prehaten, Indrioko, Hardiwinoto, Na'iem, & Supriyo, 2018), serta faktor iklim terutama curah hujan (F. Hidayati, Ishiguri, Iizuka, Makino, Tanabe, *et al.*, 2013; Monteuuis *et al.*, 2011).

Rerata nilai penetrasi Pilodyn pada umur 20 tahun sebesar 19,46 mm (Tabel 3), lebih kecil dibandingkan dengan penelitian uji klon jati umur 12 tahun, yaitu sebesar 22 mm (F. Hidayati, Ishiguri, Iizuka, Makino, Tanabe, *et al.*, 2013) dan uji provenans jati umur 24 tahun sebesar 23,2 mm (F. Hidayati, Ishiguri, Iizuka, Makino, Takashima, *et al.*, 2013). Namun Halawane (2013) melaporkan nilai penetrasi

Pilodyn yang sedikit berbeda pada uji keturunan jati umur 15 tahun di KPH Ngawi dan KPH Bojonegoro dengan nilai penetrasi Pilodyn berturut-turut sebesar 9,5-13,5 mm 9,75-13 mm. Nilai penetrasi Pilodyn digunakan untuk mengukur pendekatan kerapatan kayu. Semakin dalam penetrasi Pilodyn maka diduga kerapatan kayu tersebut semakin rendah (Warrier & Venkataramanan, 2014). Oleh karena itu, program pemuliaan pohon mengharapkan nilai penetrasi Pilodyn yang kecil.

Nilai SWV mencerminkan nilai kecepatan rambat gelombang pada kayu yang berkaitan dengan *modulus of elasticity* (Fundova et al., 2019). Rerata nilai SWV pada uji klon ini sebesar 3,57 km/detik. Rerata nilai SWV ini sama dengan rerata nilai SWV kayu jati umur 12 tahun yang diukur oleh (F. Hidayati, Ishiguri, Iizuka, Makino, Tanabe, et al., 2013) sebesar 3,57 km/detik. Persamaan karakter ini dapat disebabkan oleh kayu jati yang hingga umur 20 tahun masih dalam tahapan juvenil (Bhat, Priya, & Rugmini, 2001). Nilai ini lebih besar jika dibandingkan dengan uji provenans jati umur 24 tahun, dengan nilai rerata SWV 3,22 km/detik (F. Hidayati, Ishiguri, Iizuka, Makino, Takashima, et al., 2013). Nilai SWV yang lebih baik ini mengindikasikan adanya perbaikan sifat mekanika kayu jati melalui upaya seleksi materi induk unggul untuk memapankan uji klon di Cepu. Hal ini mengingat uji provenans yang dibangun di Yogyakarta menggunakan materi genetik campuran (*bulked seed*) yang diambil dari setiap asal sumber geografisnya (F. Hidayati, Ishiguri, Iizuka, Makino, Takashima, et al., 2013).

B. Parameter genetik

Taksiran nilai heritabilitas untuk semua sifat yang dianalisis ($H^2 = 0,29-0,59$) saat jati berusia 20 tahun secara umum tergolong moderat (Cotterill & Dean, 1990). Nilai heritabilitas diameter selalu lebih besar dibandingkan dengan heritabilitas tinggi, baik pada umur 20 tahun maupun berdasarkan hasil

pengamatan-pengamatan tahun sebelumnya (Tabel 4). Sebaliknya, penelitian uji klon jati di tempat lain menunjukkan nilai heritabilitas tinggi pohon lebih besar dibandingkan nilai heritabilitas diameter batang (Adinugraha & Pudjiono, 2014; Goh et al., 2013). Nilai heritabilitas SWV pada penelitian ini ($H^2=0,29$) mirip dengan nilai heritabilitas SWV yang dilaporkan (F. Hidayati, Ishiguri, Iizuka, Makino, Tanabe, et al., 2013) pada uji klon jati umur 12 tahun di Cepu.

Tabel 4. Taksiran heritabilitas (H^2) masing-masing karakter dan umur

Karakter	Taksiran Heritabilitas (H^2) masing-masing umur		
	1 tahun *	9 tahun **	20 tahun
Tinggi	0,39	0,55	0,38
Diameter	0,43	0,66	0,51
Penetrasi Pilodyn	-	-	0,59
SWV	-	-	0,29
Volume	-	0,7	0,53

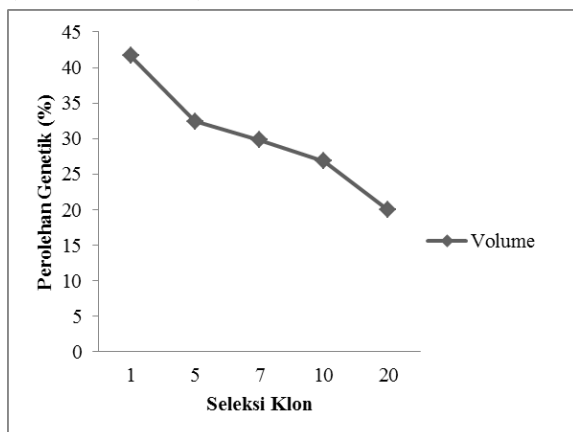
Keterangan: * Hidayati (2001), ** Wardani (2008)

Nilai heritabilitas untuk karakteristik penetrasi Pilodyn pada penelitian ini merupakan nilai heritabilitas terbesar (0,59) dibandingkan nilai heritabilitas karakter-karakter lainnya. Hal ini sejalan dengan Fundova et al. (2018) yang menyatakan nilai heritabilitas kerapatan kayu lebih besar dibandingkan dengan sifat pertumbuhan. Namun nilai heritabilitas penetrasi Pilodyn ini masih lebih kecil dibandingkan uji klon jati umur 12 tahun di Cepu, yaitu $H^2=0,65$ (F. Hidayati, Ishiguri, Iizuka, Makino, Tanabe, et al., 2013). Nilai heritabilitas kerapatan kayu yang besar menunjukkan bahwa kerapatan kayu lebih kuat diwariskan secara genetik dari pada sifat pertumbuhan lainnya (Lan, 2011). Oleh karena itu, program pemuliaan dapat lebih fokus pada SWV, karena nilai penetrasi Pilodyn berkorelasi negatif dengan kerapatan kayu.

Heritabilitas merupakan nilai relatif, sehingga memungkinkan untuk terjadinya perbedaan kecenderungan nilai yang diperoleh.

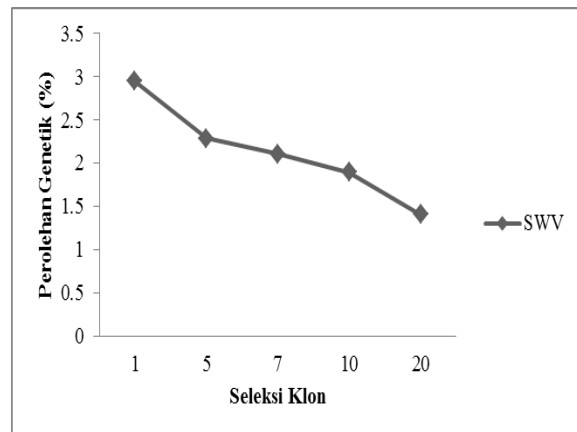
Perbedaan nilai heritabilitas ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain materi genetik, tapak tempat pengujian, umur tanaman, interaksi genetik dengan lingkungan, serta kesesuaian rancangan percobaan (Li et al., 2017; Moya, Bond, & Quesada, 2014; Naranjo, Moya, & Chauhan, 2012; Zapata-Valenzuela, 2012).

Berdasarkan nilai taksiran heritabilitas dapat dihitung nilai perolehan genetik harapan yang merupakan respons dari seleksi. Simulasi seleksi dengan beberapa alternatif intensitas, yaitu mulai dari 20, 10, 7, 5, hingga 1 klon terbaik akan semakin meningkatkan perolehan genetik harapan seiring dengan bertambahnya intensitas seleksi, baik untuk karakter volume pohon (Gambar 1) maupun nilai SWV (Gambar 2). Dengan demikian jika menerapkan intensitas seleksi yang paling tinggi, yaitu dengan memilih hanya satu klon terbaik akan meningkatkan perolehan volume dan nilai SWV tertinggi pula. Namun klon dengan jumlah terbatas dapat menyebabkan keragaman genetiknya menjadi sangat rendah. Dalam jangka panjang, keragaman genetik populasi yang rendah beresiko menurunkan kemampuan beradaptasi terhadap perubahan lingkungan, baik abiotik misalnya perubahan iklim (Axelsson et al., 2020; Buckley, Widmer, Mescher, & De Moraes, 2019; Flanagan, Forester, Latch, Aitken, & Hoban, 2018) maupun biotik misalnya ketahanan terhadap serangan hama (Zas et al., 2017).



Gambar 1. Perolehan genetik harapan untuk volume pohon

Untuk itu, intensitas seleksi dalam hal ini yang digunakan adalah 10%, setara dengan memilih kurang lebih tujuh klon terbaik. Jumlah ini sesuai dalam kisaran jumlah klon yang aman untuk membangun perhutan klon (Wu, 2019). Berdasarkan jumlah tersebut, perolehan genetik harapan untuk karakter volume pohon dan SWV masing-masing adalah sebesar 21,81% (Gambar 1) dan 2,11% (Gambar 2).



Gambar 2. Presentasi perolehan genetik harapan untuk nilai SWV

Nilai korelasi genetik antara tinggi dan diameter bernilai positif dan nyata sebesar 0,75 (Tabel 5). Nilai ini sejalan dengan pernyataan Goh et al. (2013), bahwa nilai korelasi antara tinggi dan diameter pertanaman klon jati di Malaysia berkisar 0,54-0,9. Nilai korelasi yang positif dan kuat menunjukkan bahwa perbaikan salah satu sifat akan diikuti oleh perbaikan sifat yang lain (Gaspar et al., 2011), serta memberikan kemudahan dan meningkatkan presisi dalam pengukuran. Oleh karena itu, evaluasi uji klon selanjutnya dapat menggunakan satu sifat saja. Korelasi genetik yang kuat dan bernilai positif mengindikasikan bahwa ekspresi sifat tersebut dikendalikan oleh gen yang sama (Chen et al., 2018).

Nilai korelasi yang paling kuat ditunjukkan antara volume terhadap diameter dan tinggi (0,96 dan 0,80). Volume merupakan fungsi diameter dan tinggi, sehingga peningkatan diameter dan tinggi akan diikuti juga oleh peningkatan volume. Hal ini sejalan dengan pernyataan Monteuiis et al. (2011) bahwa

diameter dan tinggi berkorelasi positif dan nyata terhadap volume.

Korelasi karakter pertumbuhan dengan karakter SWV bernilai positif, namun sangat lemah dan tidak nyata, artinya dengan menaikkan karakter pertumbuhan maka sifat mekanika kayunya akan naik, hanya saja nilainya sangat kecil. Hal ini sejalan dengan pernyataan (F. Hidayati, Ishiguri, Iizuka, Makino, Tanabe, et al., 2013), bahwa nilai karakter pertumbuhan berkorelasi positif terhadap nilai SWV. Nilai penetrasi Pilodyn dalam hal ini berkaitan dengan kerapatan kayu bagian luar (Gao et al., 2017). Nilai korelasi antara diameter dengan penetrasi Pilodyn bernilai positif, artinya semakin besar nilai diameter maka nilai penetrasi Pilodyn juga semakin besar. Hasil ini sejalan dengan yang dilaporkan (F. Hidayati, Ishiguri, Iizuka, Makino, Tanabe, et al., 2013), bahwa penetrasi Pilodyn berkorelasi positif terhadap karakter pertumbuhan. Hal ini tentu tidak diinginkan, karena sifat fisika kayu yang berhubungan dengan kerapatan kayu akan menurun.

Korelasi negatif antara penetrasi Pilodyn dan SWV bernilai negatif dan nyata. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian serupa yang disampaikan (F. Hidayati, Ishiguri, Iizuka, Makino, Tanabe, et al., 2013). Hasil korelasi ini menunjukkan perlu studi lebih lanjut mengenai hubungan penetrasi Pilodyn dan SWV dengan karakter pertumbuhan lainnya pada program

pemuliaan dengan tujuan perbaikan produktivitas dan kualitas kayu.

Tabel 5. Korelasi genetik antar karakter pertumbuhan dan kualitas kayu pada umur 20 tahun

Karakter	Tinggi	Diameter	Volume	Penetrasi Pilodyn
Diameter	0,75 **			
Volume	0,80 **	0,96 **		
Penetrasi Pilodyn	0,26 **	0,47 **	0,43 **	
SWV	0,068 ns	0,005 ns	-0,006 ns	-0,196 **

Keterangan : ** berbeda nyata pada taraf uji 1%; ns: tidak berbeda nyata pada taraf uji 0,5%

Nilai klon sebagai nilai pemuliaan (*breeding value*) dapat diestimasi setelah mengetahui hubungan antar sifat. Pemilihan nilai klon didasarkan pada dua sifat yaitu diameter dan SWV. Diameter dipilih untuk mewakili produktivitas dan SWV dipilih mewakili kualitas kayu. Pemilihan SWV dikarenakan nilai SWV berkorelasi positif terhadap kerapatan kayu. Prediksi nilai klon berdasarkan prosedur *Best Linear unbiased prediction/BLUP* (Li et al., 2017) menunjukkan peningkatan sebesar 4,32 – 17,52% pada 7 klon terbaik dibandingkan dengan nilai rerata umum (Tabel 6). Persentase peningkatan klon-klon yang dimuliakan tersebut dihitung berdasarkan baik produktivitas maupun kualitas kayunya, sehingga lebih memudahkan dalam mengurutkan dan menyeleksi klon-klon terbaik.

Tabel 6. Tujuh nilai klon terbaik berdasarkan diameter dan nilai SWV dibandingkan dengan rerata umum

Ranking	Nomor Klon	Nilai Klon	Rerata Umum	Estimasi Nilai Klon	Peningkatan (%)
1	110	3,797	21,673	25,470	17,518
2	24	3,642	21,673	25,315	16,806
3	97	2,668	21,673	24,341	12,310
4	108	1,619	21,673	23,292	7,470
5	20	1,253	21,673	22,926	5,782
6	35	0,945	21,673	22,618	4,360
7	31	0,936	21,673	22,609	4,318

Klon-klon terpilih ini diharapkan dapat dimanfaatkan untuk menambah keragaman genetik di dalam mengembangkan perhutanan klon terutama oleh Perum Perhutani di Jawa, mengingat selama ini hanya mengandalkan dua klon dengan pertumbuhan terbaik saja untuk membuat hutan produksi (Na'iem, 2012). Keragaman genetik dalam perhutanan klon diperlukan untuk menghindari resiko jika terjadi perubahan kondisi lingkungan di masa depan. Sebagai contoh, hama *Hyblaea puera* baru menyerang tegakan jati di Meksiko dan merugikan secara ekonomi sejak tahun 2010, sedangkan pada tahun 2013 saja lebih dari 5.000 ha tegakan klon jati di Meksiko terdampak serangan hama ini (Cibrián-Llenderal et al., 2015).

IV. KESIMPULAN

Variasi antar klon masih ditemukan pada umur 20 tahun terhadap semua sifat yang diukur. Korelasi positif yang tinggi dan signifikan antar karakteristik pertumbuhan menunjukkan bahwa satu variabel dapat digunakan untuk menilai variabel yang lain. Adapun korelasi positif moderat dan signifikan antar karakteristik pertumbuhan dan penetrasi Pilodyn mengindikasikan bahwa semakin baik pertumbuhannya dapat mengakibatkan penurunan kerapatan/berat jenis kayunya. Korelasi positif yang lemah dan tidak signifikan antar karakteristik pertumbuhan (diameter dan tinggi pohon) menunjukkan bahwa sifat mekanika kayu tidak terkait dengan karakteristik pertumbuhan. Penelitian ini menghasilkan tujuh klon terbaik berdasarkan nilai klon untuk karakter diameter dan SWV dengan peningkatan sebesar 4,32 – 17,52% dibandingkan dengan nilai rerata umum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Puslitbang Perum Perhutani yang telah memberikan ijin penelitian, serta kepada Wigatiningsih, Gama Widya Seta, dan Nesty

Pratiwi Romadini yang telah membantu dalam pengambilan data lapangan. Penelitian ini merupakan bagian dari Tesis S2 yang ditulis Deanova Frestiana Br. Pelawi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinugraha, H. A., & Mahfudz. (2016). Estimasi parameter genetik uji klon jati umur 5 tahun di Wonogiri, Jawa Tengah. *Jurnal Wasian*, 3(1), 17–24.
- Adinugraha, H. A., & Pudjiono, S. (2014). Evaluasi pertumbuhan tanaman uji klon jati pada umur 10 tahun di Wonogiri, Jawa Tengah. *Jurnal Hutan Tropis*, 2(2), 163–169.
- Axelsson, E. P., Grady, K. C., Lardizabal, M. L. T., Nair, I. B. S., Rinus, D., & Ilstedt, U. (2020). A pre-adaptive approach for tropical forest restoration during climate change using naturally occurring genetic variation in response to water limitation. *Restoration Ecology*, 28(1), 156–165.
<https://doi.org/10.1111/rec.13030>
- Bhat, K. M., Priya, P. B., & Rugmini, P. (2001). Characterisation of juvenile wood in teak. *Wood Science and Technology*, 34(6), 517–532. <https://doi.org/10.1007/s002260000067>
- Breugel, M. van, Hall, J. S., Craven, D. J., Gregoire, T. G., Park, A., Dent, D. H., Ashton, M. S. (2011). Early growth and survival of 49 tropical tree species across sites differing in soil fertility and rainfall in Panama. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1580–1589.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.08.019>
- Buckley, J., Widmer, A., Mescher, M. C., & De Moraes, C. M. (2019). Variation in growth and defence traits among plant populations at different elevations: Implications for adaptation to climate change. *Journal of Ecology*, 107(5), 2478–2492.
<https://doi.org/10.1111/1365-2745.13171>
- Chaix, G., Monteuuis, O., Garcia, C., Alloysius, D., Gidiman, J., Bacilieri, R., & Goh, D. K. S. (2011). Genetic variation in major phenotypic traits among diverse genetic origins of teak (*Tectona grandis* L.f.) planted in Taliwas, Sabah, East Malaysia. *Annals of Forest Science*, 68, 1015.
<https://doi.org/10.1007/s13595-011-0109-8>
- Chen, S., Weng, Q., Li, F., Li, M., Zhou, C., & Gan, S. (2018). Genetic parameters for growth and wood chemical properties in *Eucalyptus urophylla* × *E. tereticornis* hybrids. *Annals of Forest Science*, 75, 16.

- <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0694-x>
- Cibrián-Llenderal, V. C., González-Hernandez, H., Cibrián-Tovar, D., Campos-Figueroa, M., Santos-Posadas, H. D. L., Rodríguez-Macié, J. C., & Aldrete, A. (2015). Incidence of *hyblaea puera* (Lepidoptera: Hyblaeidae) in Mexico. *Southwestern Entomologist*, 40(2), 441–444.
<https://doi.org/10.3958/059.040.0220>
- Cotterill, P. P., & Dean, C. A. (1990). *Successful Tree Breeding with Index Selection*. CSIRO-Division of Forestry and Forest Product. Australia.
- Doherty, K. D., Butterfield, B. J., & Wood, T. E. (2017). Matching seed to site by climate similarity: Techniques to prioritize plant materials development and use in restoration. *Ecological Applications*, 27(3), 1010–1023.
<https://doi.org/10.1002/eap.1505>
- Enters, T. (2000). Site, technology and productivity of teak plantations in Southeast Asia. *Unasylva*, 201(51), 55–61.
- Flanagan, S. P., Forester, B. R., Latch, E. K., Aitken, S. N., & Hoban, S. (2018). Guidelines for planning genomic assessment and monitoring of locally adaptive variation to inform species conservation. *Evolutionary Applications*, 11, 1035–1052.
<https://doi.org/10.1111/eva.12569>
- Fukatsu, E., Hiraoka, Y., Matsunaga, K., Tsubomura, M., & Nakada, R. (2015). Genetic relationship between wood properties and growth traits in *Larix kaempferi* obtained from a diallel mating test. *Journal of Wood Science*, 61, 10–18.
<https://doi.org/10.1007/s10086-014-1436-9>
- Fukatsu, E., Tamura, A., Takahashi, M., Fukuda, Y., Nakada, R., Kubota, M., & Kurinobu, S. (2011). Efficiency of the indirect selection and the evaluation of the genotype by environment interaction using Pilodyn for the genetic improvement of wood density in *Cryptomeria japonica*. *Journal of Forest Research*, 16(2), 128–135.
<https://doi.org/10.1007/s10310-010-0217-6>
- Fundova, I., Funda, T., & Wu, H. X. (2018). Non-destructive wood density assessment of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) using Resistograph and Pilodyn. *PLoS ONE*, 13(9), e0204518.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204518>
- Fundova, I., Funda, T., & Wu, H. X. (2019). Non-destructive assessment of wood stiffness in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) and its use in forest tree improvement. *Forests*, 10(6), 491.
<https://doi.org/10.3390/f10060491>
- Gao, S., Wang, X., Wiemann, M. C., Brashaw, B. K., Ross, R. J., & Wang, L. (2017). A critical analysis of methods for rapid and non destructive determination of wood density in standing trees. *Annals of Forest Science*, 74, 27. <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0623-4>
- Gaspar, M. J., Alves, A., Louzada, J. L., Morais, J., Santos, A., Fernandes, C., Rodrigues, J. C. (2011). Genetic variation of chemical and mechanical traits of maritime pine (*Pinus pinaster* Aiton). Correlations with wood density components. *Annals of Forest Science*, 68, 255–265.
<https://doi.org/10.1007/s13595-011-0034-x>
- Goh, D. K. S., Aparudin, Y. J., Lwi, A. A., Apammu, M. L., Lori, A. F., & Onteuuis, O. M. (2013). Growth differences and genetic parameter estimates of 15 teak (*Tectona grandis* L. f.) genotypes of various ages clonally propagated by microcuttings and planted under humid tropical conditions. *Silvae Genetica*, 62, 196–206.
- Halawane, J. E. (2013). *Variasi genetik pertumbuhan dan berat jenis kayu jati umur 15 tahun hasil uji keturunan di KPH Ngawi dan Bojonegoro*. Tesis S2. Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Hassegawa, M., Savard, M., Lenz, P. R. N., Duchateau, E., Gélinas, N., Bousquet, J., & Achim, A. (2020). White spruce wood quality for lumber products: priority traits and their enhancement through tree improvement. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 93(1), 16–37.
<https://doi.org/10.1093/forestry/cpz050>
- Hidayati, D. W. (2001). *Evaluasi uji klon jati sampai umur 1 (satu) tahun di KPH Cepu*. Skripsi S1. Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Hidayati, F., Ishiguri, F., Iizuka, K., Makino, K., Takashima, Y., Danarto, S., Yokota, S. (2013). Variation in tree growth characteristics, stress-wave velocity, and Pilodyn penetration of 24-year-old teak (*Tectona grandis*) trees originating in 21 seed provenances planted in Indonesia. *Journal of Wood Science*, 59, 512–516.
<https://doi.org/10.1007/s10086-013-1368-9>
- Hidayati, F., Ishiguri, F., Iizuka, K., Makino, K., Tanabe, J., Marsoem, S. N., Yoshizawa, N. (2013). Growth characteristics, stress-wave velocity, and Pilodyn penetration of 15 clones of 12-year-old *Tectona grandis* trees planted at two different sites in Indonesia. *Journal of Wood Science*, 59, 249–254.
<https://doi.org/10.1007/s10086-012-1320-4>

- Isaac-Renton, M., Stoehr, M., Bealle Statland, C., & Woods, J. (2020). Tree breeding and silviculture: Douglas-fir volume gains with minimal wood quality loss under variable planting densities. *Forest Ecology and Management*, 465, 118094. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118094>
- Lan, J. (2011). *Genetic parameter estimate for growth and wood properties in Corymbia citriodora subs. Variegata in Australia and Eucalyptus urophylla in Cina*. Thesis. Southern Cross University, Lismore, New South Wales.
- Le Dinh, K., Harwood, C. E., Duc Kien, N., Baltunis, B. S., Hai, N. D., & Thinh, H. H. (2012). Growth and wood basic density of acacia hybrid clones at three locations in Vietnam. *New Forests*, 43(1), 13–29. <https://doi.org/10.1007/s11056-011-9263-y>
- 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.
- Lindgren, D. (2016). The role of tree breeding in reforestation. *Reforesta*, 1, 221–237. <https://doi.org/10.21750/refor.1.11.11>
- McKeand, S. (2015). The success of tree breeding in the Southern US. *BioResources*, 10(1), 1–2. <https://doi.org/10.15376/biores.10.1.1-2>
- Monteuuis, O., & Goh, D. K. S. (2015). Field growth performances of teak genotypes of different ages clonally produced by rooted cuttings, in vitro microcuttings, and meristem culture. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(1), 9–14. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0339>
- Monteuuis, O., Goh, D. K. S., Garcia, C., Alloysius, D., Gidiman, J., Bacilieri, R., & Chaix, G. (2011). Genetic variation of growth and tree quality traits among 42 diverse genetic origins of *Tectona grandis* planted under humid tropical conditions in Sabah, East Malaysia. *Tree Genetics and Genomes*, 7, 1263–1275. <https://doi.org/10.1007/s11295-011-0411-5>
- Moya, R., Bond, B., & Quesada, H. (2014). A review of heartwood properties of *Tectona grandis* trees from fast-growth plantations. *Wood Science and Technology*, 48, 411–433. <https://doi.org/10.1007/s00226-014-0618-3>
- Na'iem, M. (2000). Early performance of clonal tests of teak. In E. B. Hardiyanto (Ed.), *Proceeding of third regional seminar on teak. Potentials and opportunities in marketing and trade of plantation teak: challenge for the new millennium* (pp. 271–275). Faculty of Forestry UGM, Perum Perhutani, & TEAKNET - Asia Pasific Region.
- Na'iem, M. (2012). Peningkatan produktivitas hutan berbasis silvikultur intensif (SILIN): strategi efisiensi penggunaan kawasan hutan. In A. Nugraha (Ed.), *Darurat hutan Indonesia: mewujudkan arsitektur baru kehutanan Indonesia* (pp. 162 – 183). Wana Aksara, Banten.
- Naranjo, S. S., Moya, R., & Chauhan, S. (2012). Early genetic evaluation of morphology and some wood properties of *Tectona grandis* L. clones. *Silvae Genetica*, 61(1/2), 58–65. <https://doi.org/10.1515/sg-2012-0008>
- Pliura, A., Suchocka, V., Sarsekova, D., & Gudynaite, V. (2014). Genotypic variation and heritability of growth and adaptive traits, and adaptation of young poplar hybrids at northern margins of natural distribution of *Populus nigra* in Europe. *Biomass and Bioenergy*, 70, 513–529. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.09.011>
- Prehaten, D., Indrioko, S., Hardiwinoto, S., Na'iem, M., & Supriyo, H. (2018). Pengaruh Beberapa Karakteristik Kimia dan Fisika Tanah pada Pertumbuhan 30 Famili Uji Keturunan Jati (*Tectona grandis*) Umur 10 Tahun. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 12, 52–60. <https://doi.org/10.22146/jik.34109>
- Sousa, V. B., Cardoso, S., Quilhó, T., & Pereira, H. (2012). Growth rate and ring width variability of teak, *Tectona grandis* (Verbenaceae) in an unmanaged forest in East Timor. *Revista de Biologia Tropical*, 60(1), 483–494. <https://doi.org/10.15517/rbt.v60i1.2783>
- Wardani, B. W. (2008). *Evaluasi uji klon jati (Tectona grandis L.f.) umur 9 tahun di KPH Ciamis dan KPH Cepu Perum Perhutani*. Tesis S2. Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Warrier, K. C. S., & Venkataramanan. (2014). Use of Pilodyn for Rapid and Reliable Estimation of Wood Basic Density in Clones of *Casuarina equisetifolia*. *International Journal of Current Research*, 6(9), 8269–8272.
- Weng, Y., Park, Y. S., & Lindgren, D. (2012). Unequal clonal deployment improves genetic gains at constant diversity levels for clonal forestry. *Tree Genetics and Genomes*, 8, 77–85. <https://doi.org/10.1007/s11295-011-0422-2>
- Wu, H. X. (2019). Benefits and risks of using clones in forestry—a review. *Scandinavian Journal of*

- Forest Research*, 34(5), 352–359.
<https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1487579>
- Wu, S., Xu, J., Li, G., Risto, V., Lu, Z., Li, B., & Wang, W. (2010). Use of the pilodyn for assessing wood properties in standing trees of Eucalyptus clones. *Journal of Forestry Research*, 21(1), 68–72.
<https://doi.org/10.1007/s11676-010-0011-5>
- Zapata-Valenzuela, J. (2012). Use of analytic factor structure to increase heritability of clonal progeny tests of *Pinus taeda* L. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72, 3.
<https://doi.org/10.4067/s0718-58392012000300002>
- Zas, R., Björklund, N., Sampedro, L., Hellqvist, C., Karlsson, B., Jansson, S., & Nordlander, G. (2017). Genetic variation in resistance of Norway spruce seedlings to damage by the pine weevil *Hylobius abietis*. *Tree Genetics and Genomes*, 13, 111.
<https://doi.org/10.1007/s11295-017-1193-1>

