

**Evaluasi Keragaman Genetik Generasi Pertama (F-1)
Cendana *Santalum album* Linn. Umur 4 Tahun di Kabupaten Gowa,
Sulawesi Selatan**

Mir Alam^{1*}, Abd. Qudus Toaha², Abd. Kadir Bunga¹, Juhriah³

¹*Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Islam Makassar,
Makassar 90245, Indonesia*

²*Balai Penerapan Standar Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan Makassar,
Makassar 90242, Indonesia*

³*Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin,
Makassar 90245, Indonesia*

*Email: juhriah@gmail.com

Abstract

*A Sandalwood *Santalum album* Linn. is a type of plant native to East Nusa Tenggara, is a prestigious species, as an expensive and luxurious commodity, contains essential oils with a distinctive odor, wide potential uses that triggers exploitation of this species. This study aims to: know the variations in the growth of the parent trees, and the adaptability of sandalwood, Identify genetic and phenotypic correlations between growth parameters, Estimate heritability values on growth parameters, Estimate genetic gain sandalwood F-1 (4-year-old) in test plots Gowa Regency South Sulawesi. This study used a randomized block design consisting of 36 parents trees, 4 tree plots, 4 blocks, a spacing of 4 x 2 m. The results showed that there was genetic variation between the parents plants tested. The mean growth rates for height, diameter, volume, and crown width were 3.05 m, 5.68 cm, 8.40 m³, and 2.40 m, respectively. The estimated individual heritability values of the high parameters, and the canopy of 0.51 and 0.41 are categorized as high, but for the estimated heritability values of the parent trees, namely 0.50 and 0.44, they are in the medium category, 4 other parameters are included in the low category (smaller than 0.4). Genetic and phenotypic correlations ranged from 0.15–0.94 and -0.013–0.089, respectively. Selection intensity of 50% on the parameters of height and diameter of stem resulted in a genetic gain of 11.72% and 4.02%. The best ranking on parents tree number 48 with an index value of 21.23.*

Keywords: *genetic correlation, heritability, sandalwood, ranking, variation*

PENDAHULUAN

Cendana *Santalum album* Linn. merupakan salah satu jenis tanaman asli dari Propinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) memiliki nilai ekonomi yang tinggi karena kandungan minyak atsiri dengan aroma khas (Lestari, 2010; Li *et al.*, 2021), permintaan yang tinggi di pasar global (Kucharska *et al.*, 2021). Menurut Thomson (2020), sumber produk cendana di pasar internasional yang berkelanjutan akan disediakan oleh Australia, Asia, dan negara-negara Pasifik hingga 2040. Cendana adalah salah satu spesies tumbuhan bernilai tinggi yang paling dibanggakan di dunia (Niu *et al.*, 2021), bernilai ekonomis karena wanginya (Fatima *et al.*, 2019). Aromanya yang khas membuat kayu cendana digunakan sebagai bahan parfum, kayu cendana yang berharga mahal karena mengandung santalol (NBurdock & Carabin 2008; Diaz-Chavez *et al.*, 2013; Kucharska *et al.*, 2021; Niu *et al.*, 2021). Cendana atau East Indian Sandalwood sejak lama dikenal sebagai komoditi yang mahal dan mewah, serta dikenal sebagai *The King of Plant Perfume* (Nua, 2021). Cendana *Santalum album* Linn adalah salah satu sumberdaya hayati yang memiliki potensi penggunaan secara luas, diantaranya sebagai bahan penyedap makanan, senyawa anti karsinogenik dan antiviral (Burdock & Carabin, 2008), aromatherapy (Kim *et al.*, 2005; George & Ioana, 2008; Matsuo & Mimaki, 2010), serta anti kanker (Bommareddy *et al.*, 2012), bahan baku utama pembuatan parfum, juga dapat digunakan untuk kerajinan seperti patung, ukiran, kipas, tasbih, rosario dan lain-lain, bahkan dahulu banyak orang meyakini kayu cendana sering dihubungkan dengan dunia mistis sehingga banyak digunakan di lingkungan kerajaan (Haryjanto, 2009). Potensi pemanfaatannya yang tinggi menyebabkan spesies *Santalum album* Linn. dikategorikan sebagai spesies yang prestisius (Fox, 2000) dengan kandungan α -santalol (32.38-78.29%) dan β santalol (5.45-37.83%) diikuti oleh epi- β -santalol (5.97-17.16%), P-Menth-2-En-9-OL-Trans (2.87-8.53%) dan α -sinensal (3.83-9.39%) (Haryjanto *et al.*, 2017). Kualitas minyak cendana ditentukan oleh adanya dua kandungan komponen Sesquiterpene, yakni α -santalol dan β -santalol.

Cendana selama ini dikenal merupakan komoditi yang berasal dari Provinsi Nusa Tenggara Sejarah mencatat bahwa cendana telah memainkan peranan penting sebagai sumber Pendapatan Asli Daerah (PAD) NTT dalam kurun waktu yang panjang dari tahun 1986/1987 sampai 1991/1992. Cendana berkontribusi sekitar Rp. 2.5 miliar per tahun atau 40% dari total PAD. Pada periode 1991/1992 sampai 1997/1998 kontribusi mulai berkurang antara 12-30% (Nua, 2021). Tingginya nilai ekonomi kayu cendana inilah yang mendorong tindakan eksploitasi besar-besaran terhadap cendana di Nusa Tenggara Timur yang dilakukan sejak abad ke-3 tanpa dibarengi upaya rehabilitasi telah menjadikan cendana dalam status menuju kepunahan sehingga sejak tahun 2000 dengan total produksi kayu mencapai 2,450 ton cendana tidak lagi memberi kontribusi bagi Pemda NTT (Bano, 2001). Tingginya eksploitasi kayu cendana menyebabkan populasinya semakin berkurang secara drastis, penurunan luas wilayah yang ditempati dan kualitas habitat menurun sehingga telah ditetapkan sebagai jenis pohon langka yang menuju kepunahan. Pemanenan cendana tanpa diikuti dengan keberhasilan penanaman kembali berakibat pada penurunan populasi cendana di Nusa Tenggara Timur. Menurut kriteria dan kategori versi 3.1 tahun 2001 dari *International Union for Conservation of Nature and Natural Resource* (IUCN, 2021), pengurangan populasi ini termasuk kategori *Critically Endangered* (CR A1d) yang berarti populasinya menghadapi risiko kepunahan yang sangat tinggi dalam waktu yang sangat dekat. Berdasarkan *Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora* (CITES), pohon cendana termasuk dilindungi, hal ini berarti perdagangan cendana harus mendapatkan ijin pemerintah setempat (Roy, 2009). Penurunan kontribusi cendana disebabkan oleh deviasi antara tindakan eksploitasi dan upaya pelestariannya, sehingga lembaga *International Union for Conservation of Natural Resource* (IUCN) memasukkan *Santalum album* Linn dalam kategori *vulnerable* (hampir punah) atau Appendix II oleh CITES. Data terbaru tentang potensi cendana belum ada, namun karena eksploitasi yang masih terus berlangsung diyakini potensi tersebut diatas akan menjadi lebih buruk lagi.

Pada November 2019, Pemerintah Provinsi NTT telah meluncurkan program Kampung Cendana sebagai gerakan penanaman kembali pohon cendana. Sekitar 500 anakan cendana dibagikan kepada masyarakat untuk ditanam dan dilestarikan.

Salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan pemuliaan tanaman. Pemuliaan tanaman merupakan upaya untuk meningkatkan produktivitas tanaman melalui penggunaan benih unggul. Tindakan pemuliaan cendana jangka panjang untuk menghasilkan benih unggul dapat dilakukan melalui proses uji keturunan (Sumardi, dkk., 2014). Uji keturunan (*progeny test*) adalah suatu percobaan yang biasanya berulang untuk menduga susunan genetik suatu individu tua (pohon induk) dengan meneliti sifat-sifat keturunannya yang berasal dari pembiakan generatif (Soerianegara, 1976). Hardiyanto (1991) mengatakan bahwa uji keturunan merupakan satu- satunya cara untuk mengetahui keunggulan suatu genotype apakah lebih kuat disebabkan oleh susunan genetik atau oleh faktor lingkungan. Tindakan konservasi yang dilakukan pada cendana saat ini adalah dengan melakukan konservasi tegakan, pengumpulan materi genetik dan demplot konservasi sumberdaya genetik. Secara umum tindakan konservasi sumberdaya genetik dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu secara *in-situ* (di dalam habitat aslinya) maupun *ex-situ* (di luar habitat aslinya). Tindakan konservasi akan lebih mudah dilakukan secara eksitu dalam rangka penyediaan materi genetik untuk program pemuliaan pohon (Sumardi, dkk., 2014). Konservasi *ex-situ* dapat dilakukan sebagai upaya konservasi sumberdaya genetik yang diharapkan mampu menjaga dan mempertahankan variasi atau keragaman genetik cendana yang saat ini masih tersisa. Namun mengingat tingginya risiko keamanan di populasi alamnya maka metode konservasi sumber daya genetik cendana yang dilakukan oleh Balai Pemuliaan Tanaman Hutan (BPTH) Wil. II Sulawesi dilakukan secara *ex-situ* yaitu melalui pembangunan plot uji keturunan. Pembangunan plot uji keturunan ini merupakan salah satu tahapan dalam program pemuliaan tanaman.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui variasi genetik, pertumbuhan pada keragaman genetik antar individu dari pohon induk (kode dengan nomor) sumber materi genetik yang diuji, mengidentifikasi korelasi genetik dan korelasi fenotipik antara pertumbuhan tinggi, diameter dan parameter pendukung lainnya, menaksir nilai heritabilitas pada parameter tinggi, diameter dan parameter pendukung lainnya dan menaksir perolehan genetik (*expected genetic gain*) pada plot uji keturunan F-1 cendana umur 4 tahun di Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan selama 5 bulan. Lokasi penelitian plot uji keturunan generasi pertama (F- 1) jenis Cendana (*S. album* Linn.), dibangun oleh Balai Perbenihan Tanaman Hutan (BPTH) Wilayah II Sulawesi terletak di Desa Belabori, Kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara geografis plot tanaman uji keturunan ini terletak pada titik koordinat 119⁰39.139' Bujur Timur dan 05⁰11.169' Lintang Selatan. Ketinggian lokasi berada pada 164 mdpl. Kelerengan tanah < 2% dalam kategori datar hingga landai. Rerata temperatur udara sekitar ± 26°C.

Alat dan Bahan

Bahan utama penelitian ini adalah pertanaman uji keturunan *S. album* Linn. yang terdiri dari 576 individu umur 4 tahun yang berasal dari 36 nomor kode pohon induk. Peralatan yang digunakan adalah peta tanaman rancangan percobaan plot uji keturunan, blangko pengukuran tanaman (*tallysheet*) dan alat tulis, *caliper*, galah ukur, kamera dan alat *Global Position System* (GPS).

Rancangan Penelitian

Pertanaman uji keturunan generasi pertama (F-1) seluas 0.5 hektar. Sistem pengolahan lahan dilakukan secara manual dengan jarak tanam 4 x 2 m. Rancangan percobaan yang digunakan dalam plot uji keturunan generasi pertama (F-1) cendana ini adalah rancangan acak kelompok (RAK) atau

randomized complete block design (RCBD), 36 nomor kode pohon induk, 4 blok sebagai ulangan, jumlah *tree-plot* sebanyak 4 pohon per plot (masing-masing unit perlakuan empat tanaman dalam satu replikasi). Dengan demikian total individu pohon dalam rancangan eksperimen tersebut berjumlah 576 tanaman. Karakteristik tanaman yang diamati adalah sifat tinggi, diameter, jumlah cabang, lebar tajuk, persentase hidup tanaman dan volume batang. Diameter tanaman diukur pada ketinggian 10 cm diatas permukaan tanah.

Analisis Data

Untuk mengetahui pengaruh faktor genetik terhadap penampilan suatu pohon (fenotip) ditaksir dari besarnya nilai heritabilitas. Heritabilitas yang dihitung adalah heritabilitas untuk half-sib menggunakan rumusan taksiran heritabilitas pohon induk sebagai berikut (Zobel & Talbert, 1984).

Taksiran nilai heritabilitas pohon induk:

$$h^2 f = \frac{\sigma^2 F}{\sigma^2 F + (\sigma^2 Fb / b) + (\sigma^2 E / nb)}$$

Taksiran nilai heritabilitas individu:

$$h^2 i = \frac{4\sigma^2 F}{\sigma^2 F + \sigma^2 Fb + \sigma^2 E}$$

Keterangan:

- h² f = heritabilitas pohon induk
- h² I = heritabilitas individu
- σ² F = komponen varian pohon induk
- σ²Fb = komponen varian interaksi pohon induk dengan blok
- σ²E = komponen varian galat
- n = rerata harmonik jumlah pohon tiap plot
- b = rerata harmonik jumlah blok

Cotteril & Dean (1990) mengategorikan nilai heritabilitas individu tinggi bila (> 0.30), menengah (0.1-0,3) dan rendah (< 0.1), sedangkan untuk nilai heritabilitas pohon induk tergolong tinggi bila (> 0.60), menengah (0.40-0.60) dan rendah (< 0.40). Korelasi genetik antar sifat menurut Zobel & Talbert (1984) dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$rG = \frac{\sigma_{f(xy)}}{\sqrt{(\sigma^2_{f(x)} \cdot \sigma^2_{f(y)})}}$$

Untuk mendapatkan besarnya komponen kovarians untuk dua sifat (x dan y), menggunakan rumusan sebagai berikut :

$$\sigma_{f(xy)} = 0,5 (\sigma^2_{f(x+y)} - \sigma^2_{f(x)} - \sigma^2_{f(y)})$$

Untuk mendapatkan besarnya komponen kovarians untuk dua sifat (x dan y), menggunakan rumusan sebagai berikut :

$$\sigma f(xy) = 0,5 (\sigma^2 f(x+y) - \sigma^2 f(x) - \sigma^2 f(y))$$

Keterangan:

- rG = korelasi genetik
- $\sigma f(xy)$ = komponen kovarians untuk sifat x dan y
- $\sigma^2 f(x)$ = komponen varians untuk sifat x
- $\sigma^2 f(y)$ = komponen varians untuk sifat y
- $\sigma^2 f(x+y)$ = komponen varians untuk sifat x dan y

Korelasi fenotipik dapat dihitung dengan cara biasa dari 2 variabel terukur pada pohon yang sama, yaitu kovarian dibagi dengan perkalian standard deviasi (Hardiyanto, 2008).

$$r_p = \frac{\sigma_p(xy)}{(\sigma_p(x) \cdot \sigma_p(y))}$$

Keterangan:

- Rp = korelasi fenotipik
- $\sigma p(xy)$ = komponen kovarians fenotipik untuk sifat x dan y
- $\sigma p(x)$ = komponen kovarians fenotipik untuk sifat x
- $\sigma p(y)$ = komponen kovarians untuk sifat y
- $\sigma p(xy)$ = dapat dipisahkan menjadi $\sigma_{Aditif}(xy)$; $\sigma_{Non Aditif}(xy)$ dan $\sigma_E(xy)$

Pendugaan besarnya perolehan genetik pada uji keturunan yang biasa digunakan oleh para pemulia untuk mengekspresikan respon terhadap seleksi dan perolehan dengan menggunakan formula (Zobel & Talbert, 1984; Cotterill & Dean, 1990; William & Matheson, 1994) sebagai berikut:

$$G = h^2 S = h^2 i \sigma_p$$

Keterangan:

- G = perolehan genetik
- S = diferensial seleksi
- h^2 = heritabilitas
- I = intensitas seleksi (Tabel intensitas seleksi menurut Becker, 1992)
- σ_p = standar deviasi fenotipe

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persentase Hidup dan Pertumbuhan Tanaman

Kegiatan penelitian ini merupakan evaluasi pada uji keturunan cendana *Santalum album* Linn. umur 4 tahun. Penelitian uji keturunan ini terdiri dari 36 nomor kode pohon induk/ *seedlot* dengan 4 blok sebagai replikasi. Sampai dengan umur 4 tahun, secara umum daya adaptasi tanaman di dalam plot uji keturunan generasi pertama (F-1) cendana di Kabupaten Gowa sebesar 48.09%. Sedangkan pohon induk yang diuji, yaitu sebanyak 36 nomor kode pohon induk, juga masih terwakili di dalam plot uji

keturunan, walaupun dengan rata-rata persentase hidup individu tanaman per nomor kode pohon induk bervariasi dari 25-100%. Sementara itu, berdasarkan data jumlah individu tanaman dalam plot (maksimal 4 pohon per plot), rata-rata jumlah tanaman yang hidup di dalam setiap pohon induk sebesar 2.28 tanaman atau 57% per blok. Pada Tabel 1 terlihat persentase hidup tanaman di dalam blok 2 dan blok 4 cukup rendah, hal ini disebabkan karena kondisi di lapangan yang relatif miring. Kemiringan ini dapat menyebabkan perbedaan tingkat kesuburan, karena adanya *run off* pada saat terjadi hujan. Kondisi yang tidak homogen ini bisa memengaruhi pertumbuhan tanaman uji pada awal pertumbuhan hingga umur 4 tahun, sehingga beberapa tanaman yang terkena aliran *run off*, tanahnya terkikis dan mempunyai pertumbuhan yang relatif kurang baik. *S. album* lebih memerlukan tanah yang subur dimasa pertumbuhannya.

Tabel 1. Rata-rata Persentase Hidup Tanaman Tiap Blok

No	Blok	Persen hidup (%)
1	1	55.56
2	2	45.14
3	3	57.64
4	4	34.03

Berdasarkan data persentase hidup tanaman pada demplot penelitian sebagaimana disampaikan rata-rata persentase hidup tanaman pada nomor kode pohon induk yang diuji menunjukkan bahwa daya adaptasi tanaman cendana tergolong rendah pada plot uji keturunan generasi pertama yang dibangun di Kabupaten Gowa. Berdasarkan informasi yang diperoleh, penyebab tanaman cendana banyak yang mati dikarenakan tanaman inang banyak yang terlepas dari polibag pada saat pengangkutan dari persemaian yang lokasi yang cukup jauh dari tempat penanaman. Tanaman cendana ini sangat membutuhkan tanaman inang dalam fase awal pertumbuhannya. Kegiatan penanaman dilakukan diakhir musim penghujan sehingga tanaman berada dalam musim kondisi musim kemarau yang cukup ekstrim dengan ketersediaan air yang kurang meskipun tanaman pada saat tersebut diberikan perlakuan pemberian dengan cara infus. Kondisi ini yang memengaruhi pertumbuhan tanaman atau persentase hidup tanaman pada plot penelitian ini berkurang.

Selain pengaruh faktor diatas, karena banyaknya tanaman uji dan luasnya lahan, maka pemeliharaan uji keturunan *S. album* tidak bisa dilakukan secara bersamaan Selain karena luasnya lahan, ketidakseragaman pemeliharaan juga disebabkan kurangnya tenaga kerja dan terbatasnya biaya pemeliharaan yang harus dikeluarkan. Hal ini juga yang kemungkinan menyebabkan kurangnya tingkat presisi dalam penelitian ini. Selain itu, juga adanya tumbuhan bawah atau gulma dan tanaman liana yang mengganggu pertumbuhan tanaman pada plot uji keturunan cendana ini. Banyaknya tumbuhan bawah (gulma) yang melilit dan menjalar pada tanaman uji hingga sampai menutupi tajuk. Gulma yang menutupi tajuk ini mengganggu penyerapan cahaya pada tanaman uji sehingga tanaman tidak dapat berfotosintesis secara sempurna dan akhirnya mati. Gulma liana ini juga menyebabkan batang patah karena terlilit dan karena tidak kuat menahan liana yang ada di atas permukaan tajuk sehingga batang melengkung kemudian patah. Data rerata pertumbuhan tanaman cendana di dalam plot uji keturunan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rerata Pertumbuhan Keseluruhan Tanaman Pada Plot Uji keturunan F-1 Cendana *S. album* Umur 4 Tahun di Kab. Gowa

Parameter	Tinggi (m)	Diameter (cm)	Volume (m ³ *1000)	Jumlah Cabang	Lebar Tajuk
Rata-rata	3.052	5.675	8.398	2.997	2.392
Maks	5.220	9.820	34.700	7.000	3.850
Min	0.700	1.360	0.017	2.000	0.700
Standar Deviasi	0.870	1.631	6.036	1.136	0.620

Secara umum hasil pengukuran tanaman menunjukkan pertumbuhan kualitas batang cukup baik, yang meliputi dimensi pohon (tinggi total, diameter, volume batang), jumlah cabang dan lebar tajuk. Walaupun tumbuh pada lahan marginal, cendana di plot uji keturunan menunjukkan rasio rata-rata pertumbuhan tinggi tanaman (meter) per satuan unit diameter (cm) yang relatif proporsional, yaitu sebesar 0.538. Hal ini menunjukkan bahwa sampai dengan umur 4 tahun, secara umum diameter tanaman cendana memiliki laju pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan dengan tinggi tanaman. Sifat-sifat pertumbuhan tinggi, diameter dan volume lebih banyak dikendalikan oleh gen yang aditif, sifat-sifat gen ini lebih mudah dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Lemahnya laju pertumbuhan tinggi pada tanaman cendana ini mungkin disebabkan oleh kualitas dan kesuburan tanah yang rendah. Jarak tanam 4 x 2 m belum menunjukkan dampak kompetisi tanaman yang terlalu kuat terhadap pertumbuhan diameter batang. Sebagaimana diketahui bahwa pertumbuhan tinggi lebih banyak dipengaruhi oleh kondisi tanah, sedangkan pertumbuhan diameter dipengaruhi oleh kerapatan dan tingkat kompetisi tegakan. Ini sejalan dengan yang disampaikan (Clutter *et al.*, 1983 dalam Setyaji, 2011), bahwa sifat pertumbuhan diameter jenis *A.mangium* sangat dipengaruhi oleh ruang tumbuh yang luas. Perbedaan laju pertumbuhan tinggi dan diameter tanaman pada cendana di plot uji keturunan juga terlihat dari tingkat variasi fenotipe yang muncul. Hal ini memberikan indikasi bahwa faktor penghambat pertumbuhan tanaman, yaitu kondisi tanah marginal, diduga telah menekan munculnya ekspresi variasi fenotipe tinggi tanaman sehingga variasinya rendah. Begitu pula sebaliknya bahwa lemahnya efek kompetisi tanaman cendana pada umur 4 tahun telah meningkatkan munculnya ekspresi variasi fenotip yang lebih besar pada diameter batang. Meskipun variabilitas genetik yang berhubungan dengan adaptasi terhadap lingkungan yang tidak menguntungkan adalah fungsi dari provenan/ populasi, tetapi masih terdapat variabilitas yang bisa dieksplotasi dalam pohon (Zobel & Talber, 1984).

Penaksiran Nilai Heritabilitas

Penaksiran parameter genetik hanya dilakukan pada parameter-parameter yang signifikan saja, yang mempunyai perbedaan nyata diantara individu dari pohon induk yang diuji. Penghitungan taksiran nilai heritabilitas berdasarkan pada nilai komponen varians pada masing-masing parameter. Prosedur penghitungan nilai heritabilitas individu menggunakan komponen varian dengan asumsi 1/3 varian genetik aditif, karena tanaman yang diuji berasal dari populasi alam, sehingga kemungkinan ada perkawinan kerabat pada tanaman induk. Taksiran nilai heritabilitas pada uji keturunan *S. album* umur 4 tahun ini memberikan hasil yang bervariasi diantara parameter yang diamati (Tabel 3).

Tabel 3. Taksiran Nilai Heritabilitas Parameter Tinggi, Diameter, Volume, Jumlah cabang, Lebar Tajuk Tanaman Uji Keturunan *S. album* Umur 4 Tahun di Kab. Gowa

Variabel	h^2_i Heritabilitas (Individu)	h^2 Heritabilitas (Pohon Induk)
Tinggi	0.51	0.50
Diameter	0.18	0.25
Volume	0.25	0.31
Cabang	0.30	0.36
Tajuk	0.41	0.44

Hasil perhitungan heritabilitas pada Tabel 3 menunjukkan taksiran nilai heritabilitas individu parameter tinggi dan tajuk yaitu 0.51 dan 0.41 termasuk dalam kategori tinggi. Parameter diameter, volume dan cabang masing-masing 0.18, 0.25 dan 0.30 termasuk dalam kategori sedang. Taksiran nilai heritabilitas pohon induk yang diuji untuk parameter tinggi dan tajuk masing-masing 0.50 dan 0.44 termasuk dalam kategori sedang. Parameter diameter, volume, dan cabang masing-masing 0.25, 0.31, 0.36 termasuk dalam kategori rendah berdasarkan Cotterill & Dean (1990) yang mengategorikan nilai heritabilitas individu tinggi bila (> 0.30), menengah ($0.1-0.3$) dan rendah (< 0.1), sedangkan untuk nilai heritabilitas pohon induk tergolong tinggi bila (>0.60), menengah ($0.40-0.60$) dan rendah (<0.40). Sehubungan dengan besarnya nilai heritabilitas individu Cotterill & Dean (1990) menyatakan bahwa nilai heritabilitas antara 0.1-0.3 dikatakan sebagai heritabilitas yang menengah, dibawah 0.1 dikatakan rendah dan diatas 0.3 dikatakan tinggi. Besarnya taksiran nilai heritabilitas individu pada sifat tinggi dikategorikan tinggi dan diameter dikategorikan sedang (moderat). Berdasarkan taksiran nilai heritabilitas individu 0.51 maka untuk parameter tinggi menunjukkan bahwa pada populasi uji keturunan tersebut 51% varians fenotip tinggi diwariskan secara genetik yang dibawa oleh pohon dan sisanya sebesar 49% dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Parameter diameter dengan taksiran nilai heritabilitas individu 0.18 menunjukkan bahwa pada populasi tersebut 18% varians fenotip diameter diantara pohon disebabkan oleh gen yang dibawa oleh pohon. Sehubungan dengan nilai heritabilitas individu, nilai heritabilitas dikatakan tinggi seperti pada parameter tinggi dan tajuk mempunyai arti bahwa faktor genetik sangat kuat mengendalikan pertumbuhan suatu sifat, sedangkan heritabilitas menengah seperti pada parameter diameter, volume dan cabang artinya ada pengaruh yang seimbang antara faktor lingkungan dan faktor genetik. Jumlah cabang mempunyai taksiran nilai heritabilitas sebesar 0.31 untuk heritabilitas individu dan 0.36 untuk heritabilitas pohon induk. Penelitian mengenai percabangan *Santalum album* belum banyak dilakukan, sehingga sulit untuk membandingkan hasil penelitian uji keturunan *S. album* ini dengan penelitian sebelumnya pada jenis yang sama. Taksiran nilai heritabilitas jumlah cabang termasuk sedang (moderat). Tajuk mempunyai taksiran nilai heritabilitas 0.41 untuk heritabilitas individu dan 0.44 untuk heritabilitas pohon induk. Berdasarkan nilai taksiran heritabilitas pada parameter tajuk termasuk tinggi.

Korelasi Genetik dan Fenotipik

Korelasi genetik di antara sifat sangat berguna bagi pemuliaan pohon karena mengindikasikan derajat dimana satu sifat akan berubah sebagai hasil dari perubahan sifat yang lain. Korelasi

genetik ini penting untuk melakukan seleksi secara tidak langsung atau seleksi untuk satu sifat diharapkan akan memperbaiki sifat yang lain (Zobelt & Talbert, 1984). Korelasi genetik merupakan korelasi antara nilai pemuliaan untuk sifat yang berbeda dan terutama disebabkan oleh gen-gen yang memengaruhi lebih dari satu sifat (pleiotrofi) (Hardiyanto, 2008). Korelasi fenotipik merupakan korelasi diantara nilai yang diukur dari dua sifat pada suatu populasi pohon (Cotterill & Dean, 1990). Korelasi fenotipik ini diukur berdasarkan nilai fenotipik suatu pohon. Hasil perhitungan nilai korelasi genetik dan fenotipik pada semua bernilai positif, ini berarti bahwa antara sifat yang berkorelasi mempunyai hubungan yang searah. Korelasi genetik antara sifat tinggi dan diameter mempunyai nilai yang besar yaitu 0.887. Hasil perhitungan nilai korelasi genetik dan korelasi fenotipik pada plot uji keturunan generasi pertama (F-1) cendana di Kabupaten Gowa disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Estimasi dari Korelasi Genetik dan Korelasi Fenotipik pada Tanaman Uji Keturunan *S. album* Umur 4 Tahun di Kab. Gowa

Sifat	Tinggi	Diameter	Volume	Cabang	Tajuk
Tinggi		0.887	0.896	0.159	0.644
Diameter	0.082		0.943	0.228	0.750
Volume	0.089	0.054		0.153	0.648
Cabang	0.001	0.002	-0.013		0.345
Tajuk	0.066	0.061	0.052	0.040	

Keterangan : angka di atas diagonal merupakan korelasi genetik dan di bawah diagonal merupakan korelasi fenotipik

Hasil ini menunjukkan bahwa ada hubungan yang erat dan searah antara sifat tinggi dan diameter. Dalam penelitian ini dengan nilai korelasi genetik (r_G) sebesar 0.887 mengindikasikan bahwa dengan memperbaiki sifat diameter pada tanaman uji keturunan cendana maka akan ikut memperbaiki sifat tingginya sebesar 88%. Dengan demikian seleksi pada tinggi tanaman secara tidak langsung juga akan terseleksi diameternya atau berlaku sebaliknya. Sehingga kita tidak perlu menseleksi keduanya, seleksi salah satu sifat tinggi atau diameter kita akan mendapatkan hasil yang baik pada kedua sifat. Nilai korelasi genetik berkisar 0.15-0.94, sedangkan nilai korelasi fenotipinya berkisar -0.013–0.089, dimana nilai korelasi genetik secara umum menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan korelasi fenotipe. Korelasi genetik dan fenotipik yang positif juga ditunjukkan antara sifat (tinggi dan volume), (tinggi dan cabang), (tinggi dan tajuk), (diameter dan volume), (diameter dan cabang), (diameter dan tajuk), (volume dan cabang), (volume dan tajuk), dan (cabang dan tajuk).

Besarnya nilai korelasi genetik pada plot uji keturunan cendana menunjukkan bahwa satu sifat tanaman memberikan pengaruh genetik yang cukup kuat terhadap sifat tanaman lainnya yang diamati. Dengan kata lain upaya perbaikan secara genetik yang dilakukan terhadap satu sifat secara tidak langsung akan memberikan pengaruh yang positif terhadap perbaikan secara genetik pada sifat lainnya. Besarnya nilai korelasi genetik ini juga akan memberikan dampak positif dalam menentukan kriteria seleksi yang akan digunakan dalam proses seleksi, baik seleksi dalam plot, seleksi dalam individu dalam 1 pohon induk maupun seleksi antar pohon induk pada plot uji keturunan cendana. Efektif dan efisiennya dalam pelaksanaan seleksi diharapkan akan mampu meningkatkan perolehan genetik pada seluruh sifat yang diamati pada plot uji keturunan generasi pertama (F-1) cendana, baik terhadap sifat pertumbuhan maupun sifat cabang dan tajuk. Hal ini juga didukung oleh nilai heritabilitas yang lebih tinggi pada sifat tinggi dan tajuk.

Perolehan Genetik (*Genetic Gain*)

Dalam penelitian ini, perhitungan perolehan genetik dilakukan terhadap masing-masing sifat melalui indeks seleksi 50%. Hal ini akan memberikan informasi seberapa besar peningkatan yang dicapai apabila sumber pohon induk yang stabil tersebut dikembangkan. Hasil perhitungan nilai perolehan genetik dengan intensitas seleksi 50% pohon induk, asumsinya jika dilakukan penyeleksian 2 pohon dari 4 pohon per plot. Hasil perhitungan estimasi nilai perolehan genetik dan peningkatan sifat tinggi serta diameter tersaji pada Tabel 5 menunjukkan bahwa pada sifat pertumbuhan tinggi dengan rerata 3.05 m didapatkan perolehan genetik sebesar 11.72%. Pada sifat pertumbuhan diameter dengan rerata 5.68 cm didapatkan perolehan genetik sebesar 4.02%. Pada sifat pertumbuhan volume dengan rerata 8.40 m³ didapatkan perolehan genetik sebesar 15.99%. Pada sifat pertumbuhan cabang dengan rerata 3 cabang didapatkan perolehan genetik sebesar 7.84%. Pada sifat pertumbuhan tajuk dengan rerata 2.39 m didapatkan perolehan genetik sebesar 8.34%. perolehan genetik terbesar ditemukan pada sifat volume.

Tabel 5. Estimasi Perolehan Genetik dengan Intensitas Seleksi 50% pada Uji Keturunan *S. album* Umur 4 Tahun di Kab. Gowa

Sifat	Rerata	Perolehan Genetik (%)
Tinggi	3.05	11.72
Diameter	5.68	4.02
Volume	8.40	15.99
Cabang	3.00	7.84
Tajuk	2.39	8.34

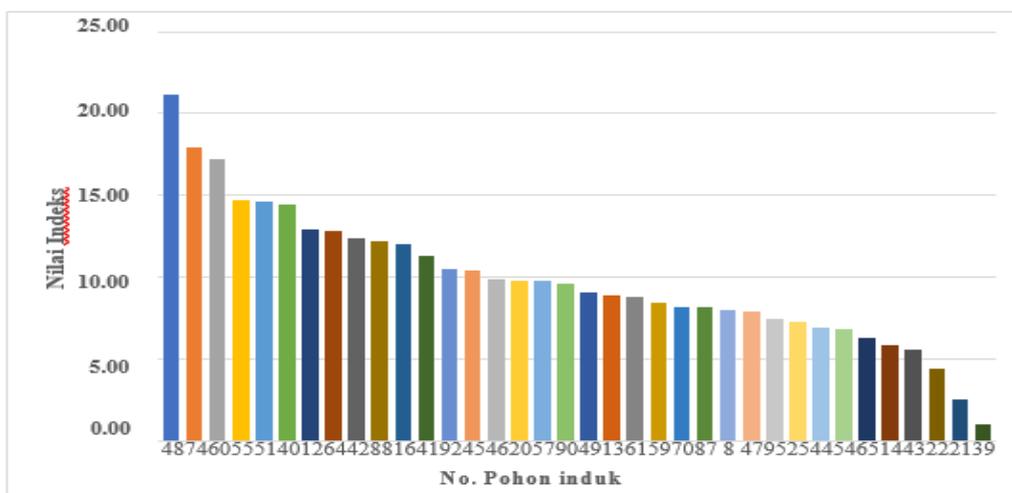
Hal ini memberikan indikasi bahwa di samping nilai rerata sifat pertumbuhan, besarnya variasi genetik dan korelasi genetik dalam plot pada masing-masing sifat memberikan pengaruh yang besar terhadap perolehan genetik. Volume merupakan fungsi dari tinggi dan diameter batang, sebagaimana disajikan pada persamaan yang dilakukan Susila (2009), sehingga korelasi yang cukup kuat antara tinggi dan diameter telah memberikan dampak yang cukup besar dalam perolehan genetik volume pohon. Korelasi genetik merupakan komponen yang cukup penting pengaruhnya dalam sistem seleksi plot uji keturunan menggunakan kriteria multi-sifat (*multiple traits selection*). Namun demikian, perlu dipertimbangkan juga basis genetik yang akan ditinggalkan. Semakin keras penjarangan, basis genetik yang dihasilkan akan semakin sempit dan ini tentu akan mempunyai keragaman genetik yang sempit pula sehingga bila dikembangkan ke program pemuliaan selanjutnya akan memberi peningkatan yang rendah. Selain itu, basis genetik yang sempit akan membuat tanaman menjadi rawan terkena serangan hama dan penyakit karena genetik cenderung seragam. Intensitas seleksi 50% sumber pohon induk juga diharapkan tanaman mempunyai basis genetik yang cukup untuk menjaga dan mempertahankan keragaman genetiknya.

Ranking Pohon Induk

Dalam program pemuliaan, ranking pohon induk merupakan faktor yang sangat penting, hal ini disebabkan karena ranking pohon induk merupakan ukuran kinerja dari pohon induk yang diuji pada kegiatan uji keturunan yang nantinya dapat digunakan sebagai dasar dalam kegiatan seleksi serta pengembangan program pemuliaan lebih lanjut. Secara umum ranking pohon induk biasanya didasarkan atas sifat yang diinginkan, misalnya tinggi, diameter, berat jenis, produksi getah, tipe percabangan

bentuk batang dan sebagainya. Dalam penelitian ini sifat yang diteliti adalah sifat tinggi, diameter, volume, cabang dan tajuk. Metode seleksi yang dapat digunakan untuk menggabungkan lebih dari satu sifat adalah dengan metode nilai indeks atau multi sifat. Metode ini banyak digunakan dalam program pemuliaan pohon hutan yang mengkombinasikan informasi semua karakter dalam satu indeks. Indeks seleksi merupakan fungsi dari nilai varians fenotipe, varians genotipe dan korelasi genetik, apabila nilai-nilai tersebut bervariasi akan menyebabkan terjadinya perbedaan persamaan indeks dan nilai indeks seleksi (Santoso, 1995).

Pohon induk yang menempati 10 ranking terbaik berdasarkan nilai indeks pohon induk yang menempati ranking terbaik dari atas pada tabel diatas antara lain pohon induk nomor 48, 74, 60, 55, 51, 40, 12, 64, 42 dan 88 dengan nilai indeks berturut- turut 21.233, 18.055, 17.339, 14.830, 14.700, 14.592, 13.016, 12.921, 12.534 dan 12.39. Ranking 10 famili terbaik berdasarkan nilai indeks, 5 pohon induk berasal dari populasi di Alor Barat Laut, Provinsi NTT sendiri dan masing-masing 1 pohon induk berasal dari populasi Manggarai, Kabola, Sumba Barat Daya dan Timor Tengah Selatan Provinsi NTT. Hal ini mengindikasikan bahwa pohon induk asal populasi Alor Barat Laut mempunyai genetik yang lebih bagus dibandingkan pohon induk dari populasi yang lain dan mampu menempati 10 ranking pohon induk terbaik pada parameter tinggi dan diameter. Untuk melihat ranking pohon induk berdasarkan nilai indeks pada sifat tinggi, diameter, volume, cabang dan tajuk tanaman uji keturunan *Santalum album* umur 4 tahun tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Ranking Pohon Induk Berdasarkan Nilai Indeks Tanaman Uji Keturunan *S. album* Umur 4 tahun di Kabupaten Gowa Sulawesi Selatan.

Dengan ditemukan ranking pohon induk dapat membantu memudahkan dalam pemilihan calon pohon yang nantinya akan dipanen benihnya untuk materi pembangunan generasi selanjutnya, artinya diprioritaskan pohon induk- pohon induk yang terbaik dalam ranking tersebut. Di samping sebagai penghasil benih unggul, pohon induk terbaik hasil seleksi juga dapat dijadikan sebagai materi untuk pembuatan bank klon, kebun benih klon, dan sebagai populasi dasar untuk pembuatan kebun benih generasi kedua dengan menambahkan materi baru (*infusi*) jika diperlukan agar potensi keragaman meningkat kembali.

KESIMPULAN

Terdapat variasi genetik antar pohon induk yang diuji pada parameter yang diamati. Daya adaptasi tanaman cendana secara keseluruhan di dalam plot uji keturunan tergolong rendah dengan nilai rata-rata persentase hidup tanaman sebesar 48.09%. Terdapat korelasi genetik yang tinggi dan searah pada parameter tinggi dan diameter (0.887). Besarnya nilai korelasi genetik sudah mewakili nilai fenotipik dan satu sifat tanaman memberikan pengaruh genetik yang cukup kuat terhadap sifat tanaman lainnya yang diamati. Taksiran nilai heritabilitas individu tinggi dan tajuk masing-masing 0.51 dan 0.41 dikategorikan tinggi, diameter, volume dan cabang masing-masing 0.18, 0.25 dan 0.30 dikategorikan sedang. Taksiran nilai heritabilitas pohon induk untuk tinggi 0.50 dikategorikan sedang; diameter, volume, cabang dan tajuk masing-masing 0.25, 0.31, 0.36 dan 0.44 dikategorikan rendah. Korelasi genetik dan fenotipik masing-masing berkisar 0.15-0.94 dan -0.013–0.089. Seleksi intensitas 50% pada tinggi menghasilkan perolehan genetik 11.72% dan diameter 4.02%. Ranking terbaik pada pohon induk no. 48 dengan nilai indeks 21.23. Sepuluh pohon induk terbaik didominasi populasi asal Alor Barat Laut, Provinsi Nusa Tenggara Timur.

DAFTAR PUSTAKA

- Bano, E. T., 2001. *Peranan Cendana dalam Perekonomian NTT: Dulu dan Kini. Prosiding Cendana (Santalum album L.) Sumber Daya Otonomi Daerah Nusa Tenggara Timur*. Berita Biologi Edisi Khusus. Pusat Penelitian Biologi, LIPI. 469-474.
- Becker, W. A., 1992. *Manual of Quantitative Genetics. Fifth Edition*. Academic Enterprises, United State of America.
- Bommareddy, A., Rule, B., VanWert, A. L., Santha, S., and Dwivedi, C., 2012. *α -Santalol, a Derivative of Sandalwood Oil, Induces Apoptosis in Human Prostate Cancer Cells by Causing Caspase-3 Activation*. *Phytomedicine*. 19: 804-811.
- Burdock, G. A., and Carabin IG. 2008. *Safety Assessment of Sandalwood Oil (Santalum album L.)*. *Food Chem Toxicol*. 46(2): 421-32.
- Clutter, J.L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Britste, G.H., and Bailey, R. L., 1983. *Timber Management: Quantitative Approach*. John Willey & Sons, New York, USA.
- Cotteril, P.P., and Dean, C. A., 1990. *Succesfull Tree Breeding with Index Selection*. CSIRO Division of Forestry and Forest Product. Australia.
- Fatima, T., Srivastava, A., Somashekar, P.V., Hanur, V.S., Rao, M.S., and Bisht, S. S., 2019. *Assessment of Morphological and Genetic Variability Through Genic Microsatellite Markers for Essential Oil in Sandalwood (Santalum album L.)*. *3 Biotech*. 9(7):1–16.
- Fox, J. E., 2000. *Sandalwood: The Royal Tree*. *Biologist (London)*. 47: 31-34.
- George, A.B., and Iona, G.C., 2008. *Safety Assesment of Sandalwood Oil (Santalum album Linn.)*. *Food and Chemical Toxicology*. 46: 421-432.
- Hardiyanto, E.B., 2008. *Diktat Mata Kuliah Pemuliaan Pohon Lanjut*. Program Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta (tidak dipublikasikan).
- Haryjanto, L., 2009. *Konservasi Sumberdaya Genetik Cendana (Santalum album Linn.)*. *Wana Benih*. 10(1): 9-17.
- Haryjanto, L., Widowati, T. B., Sumardi, Fiani, A., dan Hadiyan, Y., 2017. *Variation of Chemical Compounds of Sandalwood Oil from Various Provenances in Indonesia*. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*. 11(1): 77-85.
- Union for Conservation of Natural Resource (IUCN). 2021. *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-3*. <https://www.iucnredlist.org/species/31852/2807668#habitat-ecology.html> (Diakses 22 Desember 2021).

- Kim, T.H., Ito, H., Hayashi, K., Hasegawa, T., Machiguchi, T., and Yoshida, T., 2005. *Aromatic Constituents from the Heartwood of Santalum album Linn.* Chemical Pharmacy Bulletin. 53: 641- 644.
- Kucharska, M., Frydrych, B., Wesolowski, W., Szymanska, J. A., and Kilanowicz A. 2021. *A Comparison of the Composition of Selected Commercial Sandalwood Oils with the International Standard.* Molecules. 26(8): 1–12.
- Lestari, F., 2010. *Karakteristik Pembungaan Tiga Provenan dan Empat Ras Lahan Cendana.* Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan. 7(2): 59-65.
- Li, Y., Zhang, X., Cheng, Q., Teixeira da Silva, J. A., Fang, L., and Ma, G., 2021. *Elicitors Modulate Young Sandalwood (Santalum album L.) Growth, Heartwood Formation, and Concrete Oil Synthesis.* Plants. 10:1–14.
- Matsuo, Y., and Mimaki, Y., 2010. *Lignans from Santalum album and their Cytotoxic Activities.* Chemical Pharmacy Bulletin. 58: 587-590.
- Niu, M., Xiong, Y., Yan, H., Zhang, X., Li, Y., da Silva, J.A.T., and Ma, G. 2021. *Cloning and Expression Analysis Of Mevalonate Kinase and Phosphomevalonate Kinase Genes Associated with the MVA Pathway In Santalum album.* Scientific Reports.11(1):1–13.
- Nua, F., 2021. *Masih Membekas di Bumi NTT, Cendana Harapan untuk Kembalikan Kejayaan Bangsa:* <https://mediaindonesia.com/humaniora/432816/masih-membekas-di-bumi-ntt-cendana-harapan-untuk-kembalikan-kejayaan-bangsa>.
- Roy, J., 2009. *Rising Sandalwood Demand in China Triggers Illegal Trade.*
- Santoso, B., 1995. *Indeks Seleksi dari Beberapa Sifat Pinus merkusii Jungh et. de Viriese.* Tesis. Program Studi Ilmu Kehutanan, Program Pascasarjana, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. Tidak dipublikasikan.
- Setyaji, T., 2011. *Interaksi Genotip x Lingkungan pada Kebun Benih Semai Uji keturunan Generasi Kedua (F2) Acacia mangium Willd.* Program Pasca S-2 Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (tidak dipublikasikan).
- Soerianegara, I., 1976. *Pemuliaan Hutan.* Laporan No. 104. Lembaga Penelitian Hutan, Bogor.
- Sumardi, Kurniawan, H., dan Misto, 2014. *Evaluasi Uji Keturunan Cendana (Santalum album Linn.) Umur 8 Bulan di Kabupaten Timor Tengah Utara- Nusa Tenggara Timur.* Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan. 8(1): 56-58.
- Susila, I.W.W., 2009. *Riap Tegakan Duabanga (Duabanga moluccana Bl.) di Rarung.* Jurnal Hutan dan Konservasi Alam. 7(1): 47-58.
- Thomson, L.A.J., 2020. *Looking Ahead—Global Sandalwood Production and Markets In 2040, and Implications for Pacific Island Producers.* Australian Forestry. 83(4):245–254.
- Zobel, B., and Talbert, J., 1984. *Applied Forest Tree Improvement.* John Willey and Sons, New York, Brisbane, Toronto, Singapore.