**This file has been cleaned of potential threats. To view the reconstructed contents, please SCROLL DOWN to next page.**

**If you confirm that the file is coming from a trusted source, you can send the following SHA-256 hash value to your admin for the original file.**

f4fa6d1bd9b534ce0bbd79ff7420ed13437c44c75805af8f1c0a87321734fdd9

**INTERAKSI FAMILI X LOKASI PADA KEBUN BENIH GENERASI KEDUA *Eucalyptus pellita***

***(Family x site interaction in second-generation seedling seed orchard of Eucalyptus pellita)***

Oleh

Fasis mangkuwibowo1), Sapto Indrioko2), Arif Nirsatmanto3)

1. Mahasiswa Pasca Sarjana, Prodi Ilmu Kehutanan,

Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada

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

e-mail: [fasiswibowo@gmail.com](http://?)

2 Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada

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

3)Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan

Jl. Palagan T Pelajar km 15, Purwobinangun, Pakem, Sleman, Yogyakarta

***ABSTRACT***

*In tree breeding program, genetic x environment interactionaffects the efficient selection strategy, and therefore, the magnitude of interaction is necessary to be observed, particularly toward to the advanced generation breeding program. This studyaims to observe the effect of family x site interaction in second generation SSO of Eucalyptus pellita planted at two locations: Wonogiri, Central Java and Pelaihari, South Kalimantan. The experimental design of the orchardswere completely randomized block design (RCBD) with 49 families, 6-10 blocks, 5 tree-plot and spacing of 4 m x 1.5 m. Data measurements included height, diameter at breast height, and stem volume at two and four years age.The results of study showed that the familieshad significantdifferences(p<0.01) for all measured traits at two and four years age, but the family x siteinteraction was not statistically significant. Family heritability across the locations were moderate to high for all traits with the type B genetic correlation ranged from 0.67 to 0.94. Heritability and genetic correlation tended to be higher as tree getting older. Less than 16 % of families showed very interactive rank change in the two sites. In general, family selection by combining data from the two sites SSO of E. pellita provided higher genetic gain than those by indirect selection.*

*Keywords: multi site analysis, genetic parameters,, tree improvement, family selection*

**ABSTRAK**

Dalam program pemuliaan tanaman hutan, adanya interaksi genotipa dengan lingkungan akan mempengaruhi efektivitas dan efisiensi strategi seleksi yang akan diterapkan, dan karena itu besarnya kekuatan interaksi perlu diamati dalam pembangunan kebun benih. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengamatan pengaruh interaksi famili x lokasi pada kebun benih generasi kedua jenis *Eucalyptus pellita* yang diuji di dua lokasi: Wonogiri, Jawa Tengah dan Pelaihari, Kalimantan Selatan. Sebanyak 49 famili diuji di dua lokasi kebun benih menggunakan rancangan acak lengkap berblok (RALB), 6-10 blok, 5 pohon per plot dan jarak tanam 4 m x 1.5 m. Pengukuran data meliputi tinggi, diameter setinggi dada, dan volume batang pada umur 2 dan 4 tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa famili yang diuji berbeda nyata (p<0,01), sedangkan interaksi famili x lokasi tidak berbeda nyata. Nilai heritabilitas famili berkisar sedang – tinggi pada semua sifat dengan nilai Tipe B korelasi genetik berkisar 0,67 – 0,94. Nilai heritabilitas dan korelasi genetik cenderung semakin tinggi seiring dengan bertambahnya umur tanaman. Kurang dari 16% dari famili yang diuji menunjukkan perubahan rangking yang sangat interaktif antara kedua lokasi. Secara umum seleksi famili berdasarkan gabungan data kedua lokasi kebun benih menunjukkan nilai perolehan genetik yang lebih tinggi dibandingkan seleksi tidak langsung pada masing-masing kebun benih.

Kata kunci: analisa multi lokasi, parameter genetik, pemuliaan pohon,seleksi famili

1. **PENDAHULUAN**

Seiring dengan munculnya serangan hama dan penyakit yang terjadi pada jenis andalan hutan tanaman industri *Acacia mangium* dewasa ini (Tarigan M., Roux J., Van Wyk M., Tjahjono, B., & Wingfield M.J, 2011, Harwood & Nambiar, 2014), *E. Pellita* telah menjadi jenis andalan pengganti yang banyak ditanam. Beberapa upaya peningkatan produktivitas hutan tanaman *E. pellita* terus ditingkatkan baik melalui pemuliaan generasi tingkat lanjut (*advanced generation breeding program*) maupun aplikasi silvikultur intensif (Kurinobu & Rimbawanto, 2002, Hardiyanto, 2003, Pinyopusarerk & Harwood, 2010, Brawner J.T., Bush D.J, Macdonel P.F., Warburton P.M., & Clegg P.A., 2010). Sebagai antisipasi penanaman *E. pellita* pada berbagai kondisi lahan tanam yang bervariasi (iklim, jenis dan kesuburan tanah), kegiatan pemuliaan tanaman dilaksanakan melalui pembangunan kebun benih di beberapa lokasi dengan kondisi lingkungan yang berbeda.

Seleksi merupakan salah satu tahapan penting dalam proses pemuliaan tanaman untuk mendapatkan benih yang unggul (Zobel & Talbert, 1984). Kegiatan seleksi dilaksanakan melalui pemilihan pohon induk yang unggul secara genetik di dalam kebun benih sehingga mampu menghasilkan keturunan yang baik.Salah satu tolok ukur terpenting dalam pelaksanaan seleksi adalah diperolehnya perbaikan genetik dan peningkatan produktivitas tanaman. Namun demikian terdapat banyak faktor yang dapat mempengaruhi keberhasilan dan efektivitas seleksi, khususnya berkaitan dengan strategi seleksi pohon induk benih pada sebaran lokasi kebun benih yang berbeda danstrategi pemanfaatan benih unggul yang akan dihasilkan.

Adanya interaksi genetik dengan lingkungan merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi efektivitas strategi seleksi. Pengaruh interaksi ini bisa diamati melalui besarnya variasi yang terjadi pada interaksi famili x lokasi di dalam kebun benih yang dibangun pada beberapa lokasi yang berbeda. Pengaruh interaksi famili x lokasi akan terhadap efektivitas seleksi akan semakin nyata apabila antar lokasi kebun benih memiliki perbedaan kondisi lingkungan yang ekstrem (Zobel & Talbert, 1984), khususnya untuk mengantisipasi kebutuhan akan ketersediaan lahan tanam yang semakin meningkat.Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh interaksi famili x lokasi pada kebun benih generasi pertama jenis-jenis *Eucalyptus*: *E. urophylla*, *E. grandis*, *E. pellita* (Leksono, 2009). Namun demikian observasi interaksi famili x lokasi belum dilaporkan pada kebun benih generasi kedua*E. pellita*. Disamping perbedaan karena lokasi pengujian, efek dari seleksi selama siklus pemuliaan generasi pertama diduga juga akan memberikan pengaruh terhadap besarnya interaksi famili x lokasi pada pemuliaan generasi kedua (Brawner et al., 2010).

Dalam penelitian ini disajikan hasil pengamatan pengaruh interaksi famili x lokasi pada kebun benih generasi kedua *E. pellita* yang dibangun di dua lokasi yang memiliki perbedaan kondisi lingkungan secara klimatologis dan jenis tanah. Hasil penelitian diharapkan akan memberikan manfaat dalam memperbaiki strategi seleksi pada kebun benih *E. pellita* sehingga potensi perbaikan genetik dan produktivitasnya bisa lebih ditingkatkan pada kondisi lahan tanam yang bervariasi, baik pada lahan yang optimal maupun sub optimal bagi pertumbuhan *E. pellita*.

**II. BAHAN DAN METODE**

**A. Bahan**

Penelitian dilakukan di kebun benih semai uji keturunan (KBSUK) generasi kedua *E. pellita* yang dibangun Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan Yogyakarta di dua lokasi, yaitu di Wonogiri, Jawa Tengah dan Pelaihari, Kalimantan Selatan (Budi Leksono, Arif Nirsatmanto, Teguh Setyaji, Surip, 2005). Penjarangan seleksi melalui penebangan pohon dalam plot (*within-plot selection*) telah dilakukan pada masing-masing kebun benih pada tanaman umur 2 tahun (sesaat setelah pengukuran data umur 2 tahun dilakukan)dengan rasio penjarangan sebesar 40% (Wonogiri) dan 60% (Pelaihari). Deskripsi kebun benih generasi kedua *E. pellita* dan kondisi lingkungan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Deskripsi kebun benih generasi kedua *E. pellita*, kondisi klimatologis dan jenis tanah

| Parameter | Lokasi | |
| --- | --- | --- |
|  | Wonogiri (J) | Pelaihari (K) |
| Geografis | 07 0 32' – 80 15' LS  110 0 41' -111o18' BT | 3 058 ' - 4 0 08' LS  114 037 ' - 114 0 42' BT |
| Ketinggian tempat (m dpl) | 141 m | 15 m |
| Tipe iklim | C (Schmidt dan Ferguson) | B (Schmidt dan Ferguson) |
| Curah hujan (mm/tahun) | 1.878 mm/tahun | 2.730 mm/tahun |
| Suhu (o C) | 21 0 C - 33 0 C | 22 0 C – 33 0 C |
| Jenis tanah | Vertisols | Podsolik |
| Tahun tanam | 2004 | 2003 |
| Jumlah famili | 49 | 49 |
| Provenansi | Indonesia, Papua Nugini | Indonesia, Papua Nugini |
| Rancangan percobaan | rancangan acak lengkap berblok (RCBD), 6 blok, masing-masing plot 5 pohon (treeplot) | rancangan acak lengkap berblok (RCBD), 10 blok, masing-masing plot 5 pohon (treeplot) |
| Jarak tanam | 4 x 1,5 m | 4 x 1,5 m |

Sumber : (Leksono, 2005)

**B. Metode Penelitian**

**1. Pengumpulan Data**

Pada masing-masing lokasi kebun benih, pengumpulan data dilaksanakan melalui pengukuran sifat tinggi total tanaman, diameter setinggi dada dan volume batang pada umur 2 dan 4 menggunakan intensitas sampling sebesar 100%. Pengumpulan data umur 2 tahun dilakukan sebelum dilaksanakannya penjarangan seleksi dalam plot. Pengukuran tinggi tanaman dilaksanakan menggunakan galah ukur, sedangkan untuk diameter menggunakan pita ukur diameter (*diameter tape*). Data tinggi dan diameter digunakan untuk menghitung volume batang dengan rumus yang digunakan PT. Arara badi berdasarkan komunikasi yang dilakukan.

V= exp (-10,8706) \* T1,2596 \* DBH 1,93168................................................................(1)

keterangan:

D : diameter setinggi dada (cm)

T : tinggi pohon (meter)

0,87 : bilangan bentuk.

**2. Analisis Data**

**a. Analisis Varians**

Data rata-rata plot hasil pengukuran dari rata-rata semua individu tanaman dari setiap famili di dalam setiap blok kemudian dilakukan analisis varians menggunakan dua model liniar,yaitu 1) analisa data satu lokasi dan 2) analisa data multi-lokasi(Matheson & Raymond, 1984; Johson, 1992):

*Satu lokasi*

Y*ijk* = μ + B*i* + F*j*+ E*ijk*.................................................................................................(2)

dimana :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Y*ijk* | : | pengamatan rata-rata plot (individu tanaman famili ke-*j*di dalam blok ke-*i*) |
| μ | : | rata-rata umum |
| B*i* | : | pengaruh blok ke-*i*, |
| F*j* | : | pengaruh famili ke-*j* |
| E*ijk* | : | random error |

*Multi-lokasi*

Y*ijk* = μ + L*i* + B (L)*ji* + F*k* + FL*ki* + E*ijk*..........................................................................(3)

dimana :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Y*ijkl* | : | pengamatan rata-rata plot (individu tanaman famili ke-*k*di dalam blok ke-*j* dan lokasi ke-*i*, |
| μ | : | rata-rata umum |
| L*i* | : | pengaruh lokasi ke-*i* |
| B (L)*ji* | : | pengaruh blok ke-*j* dalam lokasi ke-*i* |
| F*k* | : | pengaruh famili ke-*k* |
| FxL*ik* | : | pengaruh interaksi antara famili ke-*k* dan lokasi ke-*i* |
| E*ijkl* | : | random error |

Semua variabel dalam penelitian ini dianggap sebagai pengaruh random/*random effect*, kecuali pengaruh blok dan lokasi.

**b. Nilai heritabilitas**

Nilai heritabilitas dihitung pada satu lokasi dan multi-lokasi dengan menggunakan komponen varians yang diperoleh dari hasil analisis varians. Nilai heritabilitas famili dalam penelitian ini dihitung dengan menggunakan rumus Wright (1976) dan Johnson (1992):

*Satu lokasi*

h2*f*= σ2*f* / [σ2*e*/B + σ2*f* ] ...............................................................................................(4)

*Multi-lokasi*

h2*f*= σ2*f*/ [σ2*f* + σ2*fl* /L+σ2*e*/BL] ..................................................................................(5)

dimana:

h2*f* : heritabilitas famili

σ2*f* : komponen varians famili

σ2*fl* : komponen varians interaksi famili x lokasi

σ2*e* : komponen varians eror

N : rata-rata harmonik jumlah pohon per plot (*tree-plot*)

B : rata-rata harmonik jumlah blok per lokasi

L : jumlah lokasi

**c. Korelasi genetik**

Estimasi korelasi genetik antar sifat pada satu lokasi dihitung dengan rumus sebagai berikut:

r*a* = σ*f*(xy)(σ2*f*(x)xσ2*f*(y)) -1/2 ..................................................................................(6)

dimana:

r*a* : korelasi genetik

σ2*f*(x) : komponen varians sifat ke-*x*

σ2*f*(y) : komponen varians sifat ke-*y*

σ*f*(xy) : komponen kovarians sifat ke-*x* dan sifat ke-*y*

Estimasi Type-B korelasi genetik sifat yang sama antar lokasi ke-*x* dan ke-*y*dihitung dengan rumus (Burdon, 1990):

r*G*(*xy*) ...........................................................(7)

dimana:

r*G*(*xy*) : Type-B korelasi genetik

h2*f* : heritabilitas famili

**d. Perolehan genetik**

Koefisien bobot masing-masing sifat dalam penghitungan indeks seleksi untukpenentuan rangking famili pada satu lokasi dan multi-lokasi dihitung menggunakan prosedur sebagaimana disampaikan oleh Burdon (1979):

b = P*f*-1  x G*f*x a ................................................................................................................(8)

dimana:

b : vektor koefisien bobot masing-masing sifat

P*f* : matriksvarian dan kovarian fenotipik (ukuran 3 x 3 untuk satu lokasi dan 6 x 6 untuk multi-lokasi)

G*f* : matriksvarian dan kovarian genetik

a : vektor bobot ekonomi masing-masing sifat (dalam penelitian dihitung sebagai invers fenotipik standar deviasi)

Selanjutnya taksiran nilai perolehan genetik masing-masing sifat sebagai respon seleksi dihitung dengan menggunakan rumus (Hazel, 1943):

Δg = i x G*f*’ x b/(b’ x P*f* x b)½ ............................................................................................(9)

dimana:

i: intensitas seleksi (diasumsikan 1 untuk memudahkan penghitungan)

G*f*:matriksvarians dan kovarian genetik

P*f*:matriksvarian dan kovarian fenotipik

b :vektor koefisien bobot masing- masing sifat

Untuk mengetahui respon perolehan genetik hasil seleksi tidak langsung (seleksi berdasarkan lokasi yang lain), ukuran matrik G*f*’ yang digunakan adalah 6 x 6 yang tersusun atas matrik varian dan kovarian genetik dari masing-masing lokasi berdimensi 3 x 3 dan matrik Type-B kovariansberdimensi 3 x 3 (Nirsatmanto et al., 1996).

1. **HASIL DAN PEMBAHASAN**
2. **Pertumbuhan Tanaman**

Pertumbuhan tanaman pada kebun benih generasi kedua jenis *E. pellita* di Pelaihari, Kalimantan Selatan dan Wonogiri, Jawa Tengah pada umur 2 dan 4 tahun disajikan pada Tabel 2. Secara umum kebun benih di Pelaihari menunjukan pertumbuhan tinggi dan diameter 2 – 3 kali lebih cepat dibandingkan dengan kebun benih di Wonogiri. Hal ini disebabkan adanya perbedaan kesesuian lahan (kesuburan tanah dan kondisi klimatologis) di antara kedua lokasi bagi pertumbuhan *E. pellita*. Lokasi Pelaihari memiliki kondisi klimatologis dan kesuburan tanah yang lebih baik untuk pertumbuhan *E. pellita* dibandingkan lokasi Wonogiri (Leksono, 2009, Sunarti, 2012). Bahkan tanaman *E. pellita* di Pelaihari yang digunakan dalam penelitian ini juga menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan pada beberapa tapak di Sumatera (Hardiyanto, 2003; Brawner et al., 2010).

Tabel 2. Pertumbuhan tananam pada plot uji keturunan generasi ke-dua (F-2) jenis *E. pellita* di Pelaihari dan Wonogiri.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Sifat** | **Pleihari** | | **Wonogiri** | |
| **2 tahun** | **4 tahun** | **2 tahun** | **4 tahun** |
| Tinggi (m) | 12,17±0,05 | 18,81±0,98 | 4,02±0,05 | 10,50±0,09 |
| Diameter batang (cm) | 9,59±0,05 | 16,16±0,08 | 3,76±0,05 | 8,94±0,09 |
| Volume batang (x 10-3 m3) | 38,74±0,49 | 175,85±2,54 | 1,96±0,08 | 28,50±0,74 |

Walaupun menunjukkan pertumbuhan yang berbeda, riap pertumbuhan tinggi dari umur 2 tahun ke 4 tahun di kedua kebun benih menunjukkan tren yang sama, yaitu berkisar ± 6 meter. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan pertumbuhan diduga tidak terlalu mempengaruhi ekpresi riap tumbuh tinggi tanaman pada dua rentang waktu pengamatan di dalam kebun benih generasi kedua *E. pellita*. Tekanan terhadap pertumbuhan tinggi tanaman di Wonogiri diduga lebih disebabkan karena kondisi tapak, khususnya pada tahap awal pertumbuhan tanaman. Sementara untuk diameter batang, terdapat perbedaan riap pada kisaran ± 5 cm untuk Wonogiri dan ± 7 cm untuk Pelaihari. Begitu pula volume batang memberikan perbedaan riap pada kisaran angka yang lebih besar, yaitu ± 26 (x 10-3)m3 untuk lokasi di Wonogiri dan ± 140 (x 10-3) m3 untuk lokasi di Pelaihari.

Disamping karena perbedaan tempat tumbuh, penjarangan seleksi dalam plot diduga juga telah memberikan pengaruh pada pertumbuhan riap diameter batang *E. pellita* umur 4 tahun. Rasio penjarangan seleksi yang telah dilaksakan di kebun benih Wonogiri hanya 40%, sementara itu penjarangan seleksi kebun benih di Pelaihari sebesar 60%. Hal ini mengindikasikan bahwa tanaman *E. pellita* sangat sensitif terhadap kerapatan tegakan dan kompetisi antar individu tanaman. Pertumbuhan riap diameter selanjutnya juga telah mempengaruhi besarnya kisaran riap volume batang (Tabel 2). Hal ini disebabkan karena volume batang dihitung sebagai fungsi dari tinggi tanaman dan diameter batang dimana proporsi diameter batang memberikan pengaruh yang lebih besar dibandingkan tinggi, sebagaimana terlihat pada persamaan yang digunanan (Rumus 1). Optimalisasi pertumbuhan diameter dan kerapatan tegakan nampaknya akan sangat menguntungkan dalam peningkatan volume tegakan *E. pellita*. Clutter *et al* (1983) menyatakan bahwa volume tegakan tidak hanya berhubungan dengan volume pohon tetapi juga berhubungan dengan faktor lain, seperti pertumbuhan diameter, kerapatan tegakan dan tempat tumbuh.

1. **Analisis Satu Lokasi**
2. **Analisis varians**

Hasil analisis varians terhadap sifat tinggi, diameter dan volume batang pada kebun benih generasi kedua*E. pellita* disajikan pada Tabel 3. Famili memberikan pengaruh yang nyata pada seluruh sifat yang diamati (*p*<0,01), kecuali sifat diameter umur 2 tahun pada kebun benih di Wonogiri. Hal ini menunjukkan bahwa variasi genetik yang diekspresikan dari pertumbuhan famili-famili yang diuji adalah cukup besar, walaupun kedua lokasi plot uji memiliki tingkat kesuburan dan kondisi tapak yang sangat berbeda. Sementara itu ekspresi variasi genetik belum terlihat secara nyata pada sifat diameter umur 2 tahun di Wonogiri.

Tabel 3.Nilai rerata kuadrat tengah pada analisis varians terhadap sifat tinggi, diameter dan volume batang kebun benih generasi kedua *E. pellita*di Pelihari dan Wonogiri umur 2 tahun dan 4 tahun

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Sifat** | **Sumber Variasi** | **Pelaihari** | | | **Wonogiri** | | |
| **df** | **2 tahun** | **4 tahun** | **df** | **2 tahun** | **4 tahun** |
| **Tinggi** | **Blok** | 9 | 20.1016 | 62.7622 | 3 | 1.0086 | 28.5104 |
| **Famili** | 48 | 3.7913\*\* | 11.0703\*\* | 48 | 1.3555\*\* | 4.3380\*\* |
| **Error** | 397 | 1.9460 | 4.4721 | 131 | 0.8695 | 2.4738 |
| **Diameter** | **Blok** | 9 | 4.6927 | 14.8264 | 3 | 4.0686 | 12.3936 |
| **Famili** | 48 | 4.0658\*\* | 13.2762\*\* | 48 | 1.4818ns | 4.0565\*\* |
| **Error** | 397 | 1.2531 | 5.0739 | 131 | 1.0516 | 2.4738 |
| **Volume** | **Blok** | 9 | 736.3472 | 8276.1113 | 3 | 0.7756 | 1150.1823 |
| **Famili** | 48 | 346.2201\*\* | 8092.4585\*\* | 48 | 3.3147\* | 262.7217\*\* |
| **Error** | 397 | 133.1201 | 3093.3501 | 131 | 2.2295 | 151.2873 |

Keterangan:\*\* : signifikan pada level 1%

\* : signifikan pada level 5%

ns : tidak signifikan

Variasi genetik yang besar pada kebun benih generasi kedua *E. pellita* juga disebabkan oleh komposisi materi genetik dan pola rancangan percobaan yang digunakan. Kebun benih dibangun menggunakan famili-famili dengan sebaran populasi asal yang cukup lebar yang meliputi provenns dari Indonesia dan Papua Nugini (Tabel 3). Sebagaimana dilaporkan pada beberapa studi bahwa *E. pellita*  memiliki variasi genetik antar populasi yang besar (House & Bell, 1996). Disamping itu, rancangan percobaan dalam bentuk populasi tunggal (*single population*), akan memungkinkan besarnya variasi genetik di dalam kebun benih dapat terekpresikan secara nyata. Hal ini disebabkan di dalam kebun benih dengan rancangan populasi tunggal, famili-famili yang diuji merupakan gabungan dari berbagai populasi / provenans sumber asal materi genetik yang berbeda (Leksono at al., 2002). Oleh karena itu perlu di catat disini bahwa pengaruh variasi populasi atau provenans diduga telah memberikan kontribusi yang cukup besar pada variasi famili, sehingga diduga telah memberikan bias estimasi yang lebih tinggi (*over estimated*) pada besarnya variasi famili.

1. **Heritabilitas**

Hasil penghitungan estimasi nilai heritabilitas familipada kebun benih generasi kedua *E. pellita* di Pelaihari dan Wonogiri disajikan pada Tabel 4. Secara umum nilaiheritabilitas famili menunjukkan nilai yang lebih besar di Pelaihari dibandingkan dengan di Wonogiri pada seluruh sifat dan umur. Nilai heritabilitas famili di kedua lokasi kebun benih termasuk kategori sedang - tinggi (Coterill, 1987).

Tabel 4. Hasil penghitungan estimasi nilai heritabilitas individu dan famili pada kebun benih generasi kedua *E. pellita* di Pelaihari dan Wonogiri umur 2 dan 4 tahun.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Sifat** | **Pelaihari** | | **Wonogiri** | |
| **2 tahun** | **4 tahun** | **2 tahun** | **4 tahun** |
| Tinggi | 0.46 | 0.56 | 0.34 | 0.35 |
| Diameter | 0.73 | 0.63 | 0.28 | 0.48 |
| Volume | 0.64 | 0.61 | 0.31 | 0.37 |

Besarnya nilai heritabilitas merupakan cerminan dari pengaruh variasi famili yang diuji di kebun benih generasi kedua *E. pellita*. Terdapat perbedaan nilai heritabilitas antar sifat pada kedua lokasi kebun benih dimana diamater dan volume batang menunjukkan nilai heritabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan sifat tinggi tanaman, kecuali pada umur 2 tahun di Wonogiri. Pengaruh variasi famili yang lemah cenderung menunjukkan nilai heritabilitas yang rendah. Hal ini sebagaimana terlihat pada lemahnya pengaruh variasi famili untuk sifat diameter dan volume batang umur 2 tahun di Wonogiri (Tabel 3.) yang berdampak padal nilai heritabilitas yang paling rendah dibandingkan dengan tinggi tanaman (Tabel 4.).

Secara umum besarnya nilai heritabilitas menunjukkan bahwa ekspresi pengaruh variasi famili pada kebun benbih generasi kedua *E. pellita* terlihat lebih nyata pada lokasi dengan kondisi tapak dan lingkungan yang cocok bagi pertumbuhan *E. pellita*. Hal ini sebagaimana terlihat pada besarnya nilai heritabilitas famili di lokasi Pelaihari dibandingkan dengan di Wonogiri (Tabel4). Variasi cenderung akan semakin tinggi pada populasi tanaman yang memiliki pertumbuhan yang lebih besar (Carson (1991).Namun demikian, terdapat perbedaan tren nilai heritabilitas antara umur 2 dengan 4 tahun di masing-masing lokasi. Pada kebun benih di Pelaihari, nilai heritabilitas tinggi cenderung naik dari umur 2 tahun ke umur 4 tahun, sedangkan pada sifat diameter batang dan volume batang heritabilitas cenderung turun. Pada kebun benih di Wonogiri, nilai heritabilitas cenderung naik dari umur 2 tahun 4 tahun pada semua sifat yang diamati. Hal ini diduga disebabkan karena lebih besarnya tingkat kompetisi yang terjadi antar individu tanaman sehingga menekan munculnya variasi genetik pada diameter dan volume batang (Foster, 1986,Muir, 2005).

1. **Korelasi Genetik**

Hasil penghitungan nilai korelasi genetik dan korelasi fenotipik antar sifat yang diamati di kedua kebun benih generasi kedua *E. pellita* disajikan pada Tabel 5. Secara umum korelasi genetik menunjukkan nilai yang lebih kuat (>0,9) dibandingkan dengan korelasi fenotipik di kedua lokasi kebun benih.

Tabel 5. Hasil penghitungan nilai korelasi genetik dan korelasi fenotipik antar sifat yang diamati pad kebun benih generasi kedua *E. pellita* di Pelihari dan Wonigiri umur 2 dan 4 tahun

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Sifat yang diukur** | **Umur** | | | | | | |
| **2 tahun** | | | | **4 tahun** | | |
| Tinggi | Diameter | | Volume | Tinggi | Diameter | Volume |
| **Pelaihari** | | | | | | | |
| Tinggi | - | 0,94 | | 0,97 | - | 0,70 | 0,83 |
| Diameter | 0.78 | - | | 0,99 | 0,63 | - | 0,98 |
| Volume | 0.88 | 0.96 | | - | 0,79 | 0,96 | - |
|  |  |  | |  |  |  |  |
| **Wonogiri** | | | | | | | |
| Tinggi | - | 0,96 | 0,99 | | - | 0,99 | 0,98 |
| Diameter | 0,95 | - | 1,01 | | 0,88 | - | 1,01 |
| Volume | 0,95 | 0,96 | - | | 0,92 | 0,96 | - |

Keterangan : Angka bagian atas diagonal merupakan nilai korelasi genetik dan bagian bawah diagonal merupakan nilai korelasi fenotipik

Lemahnya korelasi genetik antara sifat diameter batang dengan tinggi tanaman pada umur 4 tahun di Pelaihari (0,70) diduga sebagai dampak dari pengaruh penjarangan seleksi dalam plot yang telah dilaksanakan sebanyak dua kali (rasio penjarangan 60%). Penjarangan seleksi dilaksanakan secara random dengan prioritas seleksi berdasarkan tingkat pertumbuhan tanaman di dalam masing-masing plot (5 tree-plot) dan kurang mempertimbangkan jarak antar tanaman. Pengaruh pembukaan ruang tumbuh setelah penjarangan ini diduga memacu pertumbuhan diameter yang lebih cepat namun bervariatif sesuai dengan ruang tumbuh yang ada pada masing-masing famili. Sementara itu kondisi yang sama tidak terjadi pada kebun benihdi Wonogiri, karena pertumbuhan tanaman yang lebih lambat dan penjarangan seleksi dilaksanakan dengan rasio yang lebih rendah (40%).

Korelasi genetik yang cukup kuat pada kedua kebun benih *E. pellita*ini akan memberikan implikasi terhadap efisiensi seleksi dan perbaikan genetik (*genetic gain*) yang dihasilkan. Kriteria seleksi berdasarkan tinggi maupun diameter batang akan memberikan nilai yang positif pada perbaikan sifat volume batang. Sebagaimana diketahui bahwa volume batang merupakan salah satu parameter pertumbuhan tanaman yang banyak digunakan sebagai tolok ukur produktivitas tegakan tanaman hutan. Namun demikian, dalam rangka seleksi multi sifat (*multiple-trait selection*), seleksipada kedua kebun benih generasi kedua*E. pellita* ini akan lebih efektif apabila sifat diameter batang diberikan bobot kriteria seleksi lebih yang lebih besar dibandingkan dengan tinggi tanaman. Hal ini disamping karena nilai heritabilitas yang cenderung lebih besar (Tabel 4), diameter batang merupakan sifat yang paling mudah untuk diukur / diamati di lapangan.

1. **Analisis multi lokasi**
2. **Analisis varians**

Analisi multi lokasi dilakukan dengan menggabungkan data dari kedua kebun benih generasi *E pellita* di Pelaihari dengan Wonogiri pada setiap umur pengamatan. Hasil analisis varians multi lokasi masing-masing sifat yang diamati disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai rata-rata kuadrat tengah pada analisis varians multi lokasi terhadap sifat tinggi, diameter, volume batang kebun benih generasi kedua E. pellita di Pelaihari dan Wonogiri umur 2 dan 4 tahun

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Umur | Sumber variasi | df | Sifat | | |
| Tinggi | DBH | Volume |
| 2 tahun | Lokasi | 1 | 8797,04 | 4608,14 | 180676,62 |
| Blok(Lokasi) | 12 | 15,35\*\* | 4,68\*\* | 60,91 ns |
| Famili | 48 | 3,97\*\* | 3,93\*\* | 256,99\*\* |
| Famili \*Lokasi | 48 | 1,17ns | 1,61 ns | 92,53 ns |
| Error | 528 | 1,67 | 1,20 | 100,64 |
| 4 tahun | Lokasi | 1 | 9069.01 | 6661.17 | 2768016.25 |
| Blok (Lokasi) | 12 | 53.56\*\* | 14.79\*\* | 6463.81\*\* |
| Famili | 48 | 12.90\*\* | 12.89\*\* | 6455.84\*\* |
| Famili\*Lokasi | 48 | 2.50 ns | 4.44 ns | 1899.23 ns |
| Error | 528 | 3.97 | 4.33 | 2363.41 |

Keterangan:\*\* : signifikan pada level 1%

\* : signifikan pada level 5%

ns : tidak signifikan

Secara umum pada analisis multi lokasi famili menunjukkan perbedaan yang sangat nyata (*p*<0,01) pada seluruh sifat yang diamati. Tingginya pengaruh famili pada analisis multi lokasi ini juga merupakan cerminan dari tingginya pengaruh famili pada masing-masing lokasi (Tabel 3). Perbedaan umur dan lokasi mampu mempertahankan besarnya variasi genetik yang ada pada kebun benih generasi kedua *E. pellita*. Secara umum perbedaan pertumbuhan tanaman karena umur (2 tahun dan 4 tahun) dan tingkat kesuburan tapak pada masing-masing lokasi tidak terlalu mengurangi besarnya variasi genetik.

Hasil pengamatan interaksi antara faktor genetik dan lingkungan menunjukkan bahwa secara umum interaksi tidak memberikan pengaruh yang nyata. Hal ini sebagaimana terlihat dari hasil analisis varians dimana interaksi antara famili dengan lokasi tidak berbeda nyata (*p*>0,05) pada seluruh sifat dan umur pengamatan. Hal ini memberikan indikasi bahwa faktor genetik memiliki pengaruh yang relatif stabil pada kedua lokasi kebun benih walaupun terdapat perbedaan kondisi lingkungan dan pertumbuhan, baik karena umur maupun tingkat kesuburan / kondisi tapak.Disamping itu pelaksanaan penjarangan seleksi dalam plot yang telah dilakukan juga tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kestabilan genetik *E. pellita*.

1. **Heritabilitas danTipe-B Korelasi Genetik**

Hasil penghitungan estimasi heritabilitas famili dan tipe-B korelasi genetik pada analisis multi lokasi dua kebun benih generasi kedua  *E. pellita* disajikan pada Tabel 7.Secara umum besarnya nilai heritabilitas masuk kategori sedang – tinggi dan sedikit bervariatif antar tiga sifat yang diamati. Namun demikian, nilai heritabilitas masing-masing sifat relatif stabil pada dua umur tanaman.

Tabel 7.Estimasi nilai heritabilitas famili dan Tipe B korelasi genetik pada analisis multi lokasi kebun benih generasi kedua *E. Pellita* umur 2 tahun dan 4 tahun di Pelaihari dan Wonogiri

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Umur** | **Tinggi** | | **DBH** | | **Volume batang** | |
| **h2*f*** | **r*g*** | **h2*f*** | **r*g*** | **h2*f*** | **r*g*** |
| 2 tahun | 0,76 | 0,89 | 0,54 | 0,74 | 0,65 | 0,67 |
| 4 tahun | 0,86 | 0,94 | 0,65 | 0,80 | 0,74 | 0,87 |

Nilai heritabilitas tertinggi ditemukan pada sifat tinggi tanaman, diikuti oleh volume batang dan diameter. Hal ini mencerminkan bahwa pada analisis multi lokasi sifat tinggi tanaman memiliki variasi genetik yang lebih besar dibandingkan dengan kedua sifat lainnya.Kondisi ini berbeda dengan nilai heritabilitas pada analisis satu lokasi dimana tinggi menunjukkan nilai yang lebih rendah (Tabel 4). Penggabungan data dua lokasi pada analisis multi lokasi lebih meningkatkan variabilitas pada sifat tinggi tanaman dibandingkan dengan diameter dan volume batang. Perbedaan peningkatan variabilitas ini diduga disebabkan karena adanya variabilitas kondisi tanah dan iklim antar lokasi kebun benih. Di samping itu, walaupun interaksi famili x lokasi tidak menunjukkan pengaruh yang nyata (Tabel 6), nilai heritabilitas ini juga mencerminkan perbedaan kekuatan interaksi genetik x lingkungan antar sifat pada kebun benih generasi kedua *E. pellita*. Hal ini memberikan indikasi bahwa semakin besar rasio proporsi variasi famili terhadap variasi interaksi famili denga lokasi akan sangat menentukan kuatnya daya turun genetik masing-masing sifat. Shelbourbe (1972), menyatakan bahwa variasi karena adanya interaksi genetik dengan lingkungan akan memberikan dampak yang cukup besar dalam pelaksanaan seleksi apabila besarnya rasio interaksi terhadap variasi famili melebihi angka 50%.

Efisiensi seleksi melalui analisis multi lokasi juga akan dipengaruhi oleh besarnya korelasi genetik yang dihitung berdasarkan hasil tipe-B korelasi genetik (*type-B genetic correlation*) (Burdon, 1977, White &Hodge, 1989). Sebagaimana tren nilai heritabilitas, secara umum tipe-B korelasi dari dua kebun benih generasi kedua *E. pellita* menunjukan nilai yang lebih besar untuk sifat tinggi tanaman (>0,85) diikuti oleh volume batang dan diameter. Korelasi genetik pada umur 4 tahun menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan umur 2 tahun. Sifat dengan variasi famili yang besar dan interaksi famili x lokasi yang lemah cenderung memiliki nilai korelasi genetik yang lebih tinggi. Kuatnya nilai korelasi ini memberikan indikasi besarnya potensi analisis multi lokasi dalam pelaksanaan seleksi kebun benih di kedua lokasi.

1. **Rangking Famili**

Hasil penghitungan rangking famili dilaksanakan dengan mengacu pada 2 model, yaitu 1) model seleksi langsung (*direct selection*) berdasarkan data famili terpilih pada masing-masing lokasi, dan 2) model gabungan (*combined selection*) berdasarkan data gabungan familli terpilih dari kombinasi dua lokasi kebun benih. Selanjutnya nilai indeks untuk menentukan rangking famili dihitung menggunakan indeks seleksi multi sifat (*multiple traits-selection index*) berdasarkan tiga sifat yang diamati, yaitu tinggi, diameter dan volume batang.Hasil pengamatan terhadap adanya famili-famili yang tidak stabil (*interactive*) pada kedua lokasi kebun benih generasi kedua *E. pellita* umur 2 dan 4 tahun disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengamatan terhadap adanya famili-famili yang tidak stabil (*interactive*) pada dua lokasi kebun benih generasi E. pellita di Pelaihari dan Wonogiri umur 2 dan 4 tahun

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Umur** | **Proporsi nilai rangking deviasi** | | | | | | | |
| **1** | | **2** | | **3** | | **4** | |
| Kisaran  deviasi | Jumlah  famili | Kisaran deviasi | Jumlah  famili | Kisaran deviasi | Jumlah  famili | Kisaran deviasi | Jumlah  famili |
| 2 tahun | 0 - 5 | 19 | 6,5 – 10,5 | 17 | 11 - 15 | 10 | 18 - 21 | 3 |
| 4 tahun | 1 - 6 | 16 | 6,5 – 12,5 | 15 | 13 – 18,5 | 11 | 19 – 25,5 | 7 |

Secara umum rangking famili dari 49 famili pada umur 2 tahun dan 4 tahun menunjukkan kestabilan yang bervariatif, walaupun hasil analisis varians pengaruh interaksi famili dan lokasi tidak berbeda nyata (Tabel 6). Kisaran deviasi rata-rata famili, yaitu deviasi antara rangking famili pada seleksi langsung terhadap rangking famili pada seleksi gabungan, juga bervariatif. Sebagian besar jumlah famili berada pada kisaran deviasi 1 dan 2 (25% terendah pertama dan kedua). Sementara itu hanya sebagian kecil (<10 famili) berada pada kisaran deviasi 4.Umur 2 tahun menunjukkan kisaran deviasi yang lebih kecil dibandingkan dengan umur 4 tahun. Hal menunjukkan bahwa pada umur 2 tahun famili yang diuji pada kebun benih generasi kedua *E. pellita* relatif lebih stabil dibandingkan pada umur 4 tahun.

Kestabilan rangking famili juga bisa diuji dari sejauh mana hubungan analisissatu lokasi terhadap analisismulti lokasi melalui pengamatan korelasi nilai indeks. Semakin tinggi nilai koefisien korelasi (R2)akan mencerminkan semakin tinggi kesesuaian dan kestabilan rangking famili pada kedua lokkasi kebun benih (Gambar 1). Pada umur 2 tahun, kebun benih di Pelaihari menunjukkan famili yang lebih stabil (R2=0,76) dibandingkan famili-famili yang diuji di Wonogiri (R2=0,33). Sedangkan pada umur 4 tahun famili menunjukkan kestabilan yang hampir sama di kedua lokasi kebun benih, namun semakin melemah (R2=0,03-0,05) dibandingkan umur 2 tahun.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Gambar 1. Korelasi antara indeks analisis satu lokasi dengan indeks analisis multi lokasi pada dua kebun benih generasi kedua *E. pellita* umur 2 tahun dan 4 tahun | |

Interaksi familix lokasi menunjukkan pengaruh yang semakin nyata pada perubahan rangking famili dan diduga lebih banyak disebabkan karena kondisi lingkungan / tapak yang sangat berbeda. Perbedaan kondisi tapak yang sangat ekstrem akan menyebabkan perbedaan pertumbuhan tanaman sehingga ekspresi genetik menjadi sangat bervariatif. Kondisi ini akan lebih nampak terlihat pada umur tanaman yang semakin tua atau sudah memungkinkan terjadi peningkatan kompetisi antar individu tanaman atau mortalitas(Foster, 1986).

1. **Perolehan Genetik**

Perolehan genetik dihitung berdasarkan tiga model seleksi pada analisis multi lokasi, yaitu 1) perbaikan genetik sebagai hasil dari seleksi langsung (*direct selection*), 2) perbaikan genetik sebagai hasil dari seleksi tidak langsung (*indirect selection*), 3) perbaikan genetik sebagai hasil dari seleksi gabungan dua lokasi (*combined selection*). Hasil perolehan genetik pada dua kebun benih generasi kedua *E. pellita* umur 2 dan 4 tahun disajikan pada Gambar 2.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
| Gambar 2. Perolehan genetik pada dua kebun benih generasi kedua *E. pellita* umur 2 tahun dan 4 tahun di Pelaihari dan Wonogiri. Warna hitam adalah seleksi langsung. Warna abu-abu adalah seleksi tidak langsung. Warna putih adalah seleksi gabungan | |

Secara umum perolehan genetik umur 4 tahun menunjukkan nilai lebih besar dibandingkan umur 2 tahun dengan nilai tertinggi ditemukan pada volume batang. Nilai perolehan genetik hasil seleksi langsung terbesar ditemukan pada kebun benih di Wonogiri untuk sifat volume batang umur 4 tahun (15,8%) dan terendah pada kebun benih di Pelaihariuntuk sifat tinggiumur 2 tahun (2,9%). Walaupun pengaruhnya tidak signifikan (Tabel 6), interaksi famili x lingkungan memberikan pengaruh pada nilai perolehan genetik yang bervariatif baik antarsifat maupun antarumur.Sebagai perbandingan, nilai perolehan genetik kebun benih generasi kedua *E. pellita* pada penelitian ini lebih kecil dibandingkan perolehan genetik kebun benih generasi pertama *E. pellita* umur 20 bulan di Pelaihari dimana perolehan genetik berkisar 6% – 7 % untuk sifat tinggi dan diameter.

Secara umum analisis multi lokasi memberikan dampak positif yang lebih besar terhadap seleksi famili pada kebun benih di Pelaihari sebagaimana ditunjukkan dengan semakin besarnya perolehan genetik pada seleksi tidak langsung dan seleksi gabungan dibandingkan dengan seleksi langsung (Gambar 2).Sementara itu analisis multi lokasi tidak memberikan perolehan genetik yang lebih baik terhadap seleksi pada kebun benih di Wonogiri, khususnya pada umur 4 tahun dimana perolehan genetik analisis tidak langsung maupun gabungan menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan analisis langsung. Hal ini terjadi diduga karena adanya perbedaan variabilitas dimana kebun benih di Pelaihari memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan Wonogiri, sebagaimana terlihat dari nilai heritabilitasnya (Tabel 4). Disamping itu perpaduan dengan nilai korelasi tipe-B yang tinggi (Tabel 7) juga diduga memberikan kontribusi atas besarnya respon seleksi hasil analisis multi lokasi pada perolehan genetik kebun benih di Pelaihari.

Pada umur 2 tahun, seleksi tidak langsung dan seleksi gabungan memberikan nilai perolehan genetik yang bervariatif pada masing-masing sifat dan lokasi, sedangkan pada umur 4 tahun kedua model seleksi menunjukkan respon yang spesifik pada masing-masing lokasi. Seleksi tidak langsung menggunakan acuan dasar seleksi dari kebun benih di Pleihari dan seleksi gabungan memberikan nilai perbaikan genetik yang rendah pada lokasi Wonogiri. Sebaliknya seleksi tidak langsung menggunakan acuan dasar seleksi dari kebun benih di Wonogiri maupun seleksi gabungan mampu memberikan nilai perolehan yang lebih besar di Pelaihari. Hal ini menunjukkan bahwa walaupun interaksi famili x lokasilemah, seleksi famili pada dua kebun benih generasi kedua *E. pellita* dengan dua umur pengamatan memerlukan kombinasi dan arah seleksi yang tepat.

Secara umum pada seleksi tidak langsungkebun benih di Wonogiri merupakan pasangan yang paling optimal untuk digunakan sebagai kriteria seleksi pada kebun benih di Pelaihari.Namun demikian analisis gabungan kedua lokasi mampu memberikan perolehan genetik yang lebih besar dibandingkan seleksi tidak langsung pada semua sifat dan umur. Hal ini menunjukkan bahwa walaupun kedua lokasi memiliki perbedaan kondisi lingkungan yang cukup besar baik secara klimatologis maupun edaphis, penggabungan data dari kedua lokasi kebun benih mampu meningkatkan variasi antar famili yang diuji sehingga meningkatkan nilai perolehan genetiknya.Peningkatan besarnya variasi sebagaimana terlihat dari nilai heritabilitas famili pada analisis multi lokasi (Tabel 7) dibandingkan nilai heritabilitas pada analisa satu kombinasi (Tabel 4)

Perolehan genetik merupakan tolok ukur yang sangat penting dalam melihat efektifitas seleksi dan optimalisasi pengaruh interaksi genetik x lingkungan. Lemahnya interaksi famili x lokasi pada kebun benih generasi kedua *E. pellita* pada penelitian ini memberikan indikasi efektifitas yang lebih tinggi apabila seleksi dilaksanakan melalui kombinasi data dari kedua lokasi, baik melalui seleksi tidak langsung maupun seleksi gabungan. Dampak efektivitas seleksi ini terlihat cukup nyata khususnya pada seleksi kebun benih di Pelaihari. Nilai perolehan genetik hasil seleksi gabungan terbesar ditemukan pada sifat volume batang umur 4 tahun di Pelaihari, yaitu sebesar 17,2 % (Gambar 2). Beberapa penelitian juga melaporkan diperolehnya efektivitas seleksi yang lebih tinggi melalui penggabungan data dari beberapa lokasi kebun benih: jenis *E. urophylla* (Nirsatmanto et al. 1996), *A. mangium* (Nirsatmanto et al., 1996).

**UCAPAN TERIMAKASIH**

Tulisan merupakan bagian dari tesis S2 penulis pada Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Tim Akasia, Ekaliptus dan Jabon : Dr. Sri Sunarti, Teguh Setyaji S. Hut, M. Sc, Surip, S. Hut, M. Sc, Dwi Kartikaningtyas, S. Hut, Bety Rahma handayani, S. Hut, M. Sc dan Maryono yang membantu dalam pengumpulan serta analisis data.

**KESIMPULAN**

Interaksi famili x lokasi pada kebun benih generasi kedua *E. pellita*umur 2 dan 4 tahun di Pelaihari dan Wonogiri cukup lemah untuk sifat tinggi, diameter dan volume batang. Seleksi gabungan berdasarkan analisis multi lokasi melalui penggabungan data dari kedua lokasi kebun memberikan efektivitas perolehan genetik volume batang lebih besar untuk kebun benih di Pelaiharipada umur 4 tahun dengan peningkatan perolehan genetik ± 50% dibandingkan analisis satu lokasi. Namun demikian seleksi gabungan ini kurang optimal untuk digunakan sebagai acuan seleksi kebun benih di Wonogiri, khususnya terhadap seleksi langsung pada umur 4 tahun.

**DAFTAR PUSTAKA**

|  |
| --- |
| Ashton, D. H.(1975). Studies of flowering behaviour in *Eucalyptus regnans* F. Muell. *Australian Journal of Botany,* 23: 399 – 411. |
| Balai Besar Penelitian Dan Pengembangan Bioteknologi Dan Pemuliaan Tanaman Hutan (2007). Pembangunan populasi perbanyakan vegetative jenis merbau (*Instia bijunga*). *Laporan Kegiatan 2007, Buku 2*. Departemen Kehutanan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Balai Besar Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan. |
| Barrett, S. C. H. (1992). Heterostylous genetic polymorpisms: model systems for evolutionary analysis on Monographs on:*Theoretical and Applied Genetics 15 Evolution and Function of Heterostyly*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.  Brawner J.T., Bush D.J., Macdonel P.F., Warburton P.M., & Clegg P.A. (2010). Genetic parameters of red mahogany breeding populations grown in the tropics. Australian Forestry, 73(3), 177-183.  Cotterill, P. P.(1987): Short note: Onestimating heritability according to practical applications. SilvaeGenetica, 36(1): 46 – 48 (1987). |
| Eldridge, K., Davidson, J., Harwood, C., &Wyk, G van.(1993). *Eucalypt Domestication and Breeding*. Oxford University Press, Oxford, 322 p. |
| Florence, R. G.(1964). A comparative study of flowering and seed production in six blackbutt (*Eucalyptus pilularis* Sm.) forest stands. *Australian Forestry,* 28: 28 – 33.  Foster, G. Sam. (1986).Trends in Genetic Parameters with Stand Development and Their Influence on Early Selection for Volume Growth in Loblolly Pine. Forest Science, 32(4), 944-959. |
| Frankie, G. W.,&Haber W. A. (1983). Why bees move among mass-flowering neotropical trees. In: *Handbook of Experimental Pollination Biology*, eds C.E. Jones and R.J. Little, pp 360-372. Scientific and Academic Editions, New York. |
| Friedel, M. H., Nelson, D. J., Sparrow, A. D., Kinloch, J. E., &Maconochie, J. R. (1993). What induces central Australian arid zone trees and shrubs to flower and fruit? *Australian Journal of Botany* 41: 307 – 319. |
| Griffin, A. R. (1980). Floral phenology of a stand of mountain ash (*Eucalyptus regnans* F. Muell) in Gippsland, Victoria. *Australian Journal of Botany,* 28: 393 – 404.  Hardiyanto E.B. (2003). Growth and genetic improvement of *Eucalyptus pellita* in South Sumatra, Indonesia. In: Turnbull, J.W., ed., Eucalypts in Asia. Proceedings of an international conference held in Zhanjiang, Guangdong, People’s Republic of China, 7–11 April 2003. ACIAR Proceedings No. 111, 267 p. 82-88  Harwood, C.E., Alloysius, D.,Pomroy, P.,Robson, K.W., & Haines, N.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(3),203—219. [https://doi.org/10.1023/A:1006524405455](http://?). [Harwood, C.E.](http://?)& [Nambiar, E.K.S.](http://?) (2014). Productivity of acacia and eucalypt plantations in Southeast Asia. 2. trends and variations. [International Forestry Review](http://?), 16(2), 249-260.[https://doi.org/10.1505/146554814811724766](http://?) |
| House, S. M. (1997). Reproductive biology of eucalypts. In: *Eucalypt Ecology*, eds J. E. Williams and J. C. Z. Woinarski. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 30-50.  House APN Bell JC (1996) Genetic Diversity, Mating System and Systematic Relationships in Two Red Mahoganies, *Eucalyptus pellita* and *E. scias* . *Australian Journal of Botany***44**, 157-174. [https://doi.org/10.1071/BT9960157](http://?). |
| Kearns, C.A., & Inouye, D. W. (1993). *Techniques for Pollination Biologist*. University Press of Colorado, Colorado. |
| Keatley, M. R., & Hudson, L.(1998). The influence of fruit and bud volumes on eucalypt flowering-an explanatory analysis, *Australian Journal of Botany,*46: 281 – 304.  Kurinobu et al., 1996. Prediction of Genetic Gain By Within-Plot Selection In Seedling Seed Orchards Of Acacia Mangium And Eucalyptus With An Application Of Retrospective Selection Index, Proceedings of QFRI-IUFRO Conference. Caloundra. 27October–1 November 1996. Queensland Forestry Research Institute, Queensland. |
| Law, B., Mackowski, C., Schoer, L., & Tweedie, T., (2000). Flowering phenology of myrtaceous trees and their relation to climatic, environmental and disturbance variables in northern New South Wales. *Austral Ecology,* 25:160 – 178.  Leksono et al., 2005, General Information Of Seed Source (F-2) of *A.mangium, A.crassicarpa and E.pellita* Establisment In Wonogiri, Central Java Fiscal Year 2002-2005. FTIP - P3 - No. 49  Le Son, Nock Catherine, Henson Michael, Shepherd Mervyn (2009) Genetic differentiation among and within three red mahoganies (series Annulares), *Eucalyptus pellita*, *E. resinifera* and *E. scias* (Myrtaceae). *Australian Systematic Botany***22**, 332-343.https://doi.org/10.1071/SB09004. |
| Martawijaya, (1981). Atlas Kayu Indonesia 2. Balai Penelitian Hasil Hutan, Badan Litbang Pertanian. Bogor. |
| Moncur, M. W., & Boland, D. J. (1989). Floral morphology of *Eucalyptus melliodora* A. Cunn. ex Schau. and comparisons with other eucalypt species. *Australian Journal of Botany,* 37: 125 – 135. |
| Moza, M. K., & Bhatnagar, A. K.(2007). Plant reproductive biology studies crucial for conservation. *Current Science*, 92:9.  Muir W.M. (2005). Incorporation of Competitive Effects in Forest Tree or Animal Breeding Programs.Genetics,170(3), 1247-1259, https://doi.org/10.1534/genetics.104.035956. |
| Ningsih, A.N. (2008). Sistem perkawinan pada sebaran alam merbau (Intsia bijunga (Colebr) O. Kuntze) di Papua berdasarkan analisis isozim. Skripsi Jurusan Budidaya Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.  Nirsatmanto et al., 1996, Analysis of provenance−progeny tests of Eucalyptus urophylla established at two locations in Indonesia. Pp. 206–207 in Dieters MJ et al.(Eds.) Tree Improvement for Sustainable Tropical Forestry. Proceedings of QFRI-IUFRO Conference. Caloundra. 27October–1 November 1996. Queensland Forestry Research Institute, Queensland.  Pinyopusarerk K & Harwood C.(2010). Advanced-generation Breeding and Deployment ofAcaciaandEucalyptusSpecies and HybridsinSome Asian Countries. In: SimH.C., HongL.T., &JalonenR. (eds.). Extended Abstracs from the International Symposium on Forest Genetic Resources–Conservation andSustainable Utlilization towardsClimate Change Mitigation and Adaptation. 5-9 Oktober 2009, Kuala Lumpur, Malaysia. FRIM, APAFRI and Bioversity International. 104-107. |
| Pook, E. W., Gill, A. M., & Moore, P. H. R. (1997). Long-term variation of litter fall, canopy leaf area and flowering in *Eucalyptusmaculata* forest on the South Coast of New South Wales. *Australian Journal of Botany* 45: 737 – 755. |
| Porter, J. W. (1978). Relationships between flowering and honey production of red ironbark, *Eucalyptus sideroxylon* (A. Cunn.) Benth and climate in the Bendigo district of Victoria. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 815 – 829. |
| Pryor, L. D.(1976). *The Biology of Eucalypts*. Edward Arnold, London. |
| Sedgley, M.,& Griffin, A. R. (1989). *Sexual Reproduction of Tree Crops*. Academic Press, London. |
| Sedgley, M., Harbard, J. & Smith, R. M. (1992). *Hybridisation Techniques for Acacias*. ACIAR Technical Reports No. 20. ACIAR, Canberra. |
| Smith-Ramirez, C., &Armesto, J. J.(1994). Flowering and fruiting in the temperate rainforest of Chiloé, Chile- ecologies and climatic constraints. *Journal of Ecology,* 82: 353 – 365.  Tarigan M., Roux J., Van Wyk M., Tjahjono, B., & Wingfield M.J. (2011). A new wilt and die-back disease ofAcacia mangiumassociated withCeratocystis manginecansandC. acaciivora sp. nov. in Indonesia. South African Journal of Botany, 77, 292-304. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2010.08.006 |
| Tharman, R. R., Lex, A, J., Robin, D., Francis, A., & Craig, R. E. (2006). *Instia bijunga* (vesi). Species Profile for Pacific Island Agroforestry. Available at: [www.tradionaltree.org](http://?), date of accesed 08 January 2015.  Weng Y.H., Tosh K. J., Ark Y. S. P., & Ullarton M. S. F. (2006).Age-related Trends in Genetic Parameters for Jack Pine and Their Implications for Early Selection. Silvae Genetica 56(5), 242-252. |
| Yudohartono, T. P. & Ismail, B. (2013). Adaptabilitas, pertumbuhan dan regenerasi pada plot konservasi ex-situ merbau. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan,*7 (3), 179-195. |