

PERTUMBUHAN DAN PARAMETER GENETIK TANAMAN UJI KETURUNAN MINDI (*Melia azedarach* Linn.) DI HUTAN PENELITIAN PARUNG PANJANG, BOGOR

(Growth and Genetic Parameters of Mindi (*Melia azedarach* Linn.) Progeny Test in Parungpanjang Forest Research Station, Bogor)

***Danu, Yulianti Bramasto, dan/and *Dede J. Sudrajat**

Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Perbenihan Tanaman Hutan
Jl. Pakuan Cihuleut PO BOX 105 Bogor, Telp./Fax. 0251 8327768, Jawa Barat, Indonesia
e-mail: danu_bptp@yahoo.co.id

Naskah masuk: 21 April 2021; Naskah direvisi: 6 Juli 2021; Naskah diterima: 25 Agustus 2021

ABSTRACT

Mindi (*Melia azedarach* Linn., family Meliaceae) is a multipurpose forest tree species such as for furniture, vinier and plywood, otherwise the leaves for pesticide and medicine material. Mindi mostly cultivated in a community forest, especially in West Java. This study was aimed to assess the growth performance and genetic parameter of the progeny test of mindi at Parungpanjang Forest Research Station, Bogor, West Java. The progeny test was established by using a randomized complete block design, consisting of 6 blocks and 73 families and each family consisting of 4 trees row-plot. The survival at 7 years old was 57.48%, height was 7.15 m and diameter is 8.59 cm, in average. The height and diameter growths among families showed a significantly different. The best family growth in height and diameter were Sumedang-31 and Bogor-18 families, respectively. The individual and family heritabilities for both stem diameter and tree height characters were still relatively low, with the higher family heritability value than individual heritability. The genetic correlation between total height and stem diameter of 0.57 indicates a strong correlation between the traits.

Keywords: community forest, family, heritability, *Melia azedarach*, variability

ABSTRAK

Mindi (*Melia azedarach* Linn., famili Meliaceae) merupakan jenis pohon hutan serbaguna yaitu kayunya untuk mebel, vinir dan kayu lapis sedangkan daunnya dapat dijadikan bahan untuk pestisida dan obat. Mindi banyak dibudidayakan di hutan rakyat, khususnya di Jawa Barat. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kinerja pertumbuhan dan parameter genetik uji keturunan mindi di Parungpanjang, Bogor. Uji keturunan ini dibangun dengan menggunakan rancangan acak lengkap berblok yang terdiri atas 6 blok, 73 famili dan setiap famili terdiri atas 4 pohon per plot. Tanaman uji keturunan mindi pada umur 7 tahun memiliki persen hidup sebesar 57,48%, tinggi rata-rata 7,15 m, diameter batang 8,59 cm. Pertumbuhan tinggi dan diameter antar family pada tanaman uji keturunan ini memiliki perbedaan yang nyata. Pertumbuhan tinggi dan diameter terbaik adalah famili Sumedang-31 dan Bogor-18. Nilai heritabilitas individu dan famili untuk karakter diameter maupun tinggi masih tergolong rendah, dengan nilai heritabilitas famili yang lebih besar dibandingkan nilai heritabilitas individu. Korelasi genetik antara karakter tinggi dan diameter sebesar 0,57 menunjukkan korelasi yang kuat antara sifat tinggi dan diameter.

Kata Kunci: famili, heritabilitas, hutan rakyat, keragaman, *Melia azedarach*

I. PENDAHULUAN

Mindi (*Melia azedarach* Linn.) merupakan jenis pohon hutan eksotik serbaguna. Jenis ini termasuk keluarga Meliaceae tumbuh tersebar di pulau Jawa,

Bali, Nusa Tenggara Timur dan Nusa Tenggara Barat. Mindi tumbuh baik pada daratan tertier, tanah liat, berbatu atau berpasir, tanah vulkanis, di bukit-bukit rendah sampai dengan ketinggian 1000 m dpl, dengan

*Kontribusi penulis: Danu, Yulianti Bramasto, dan Dede J. Sudrajat sebagai kontributor utama

tipe curah hujan A sampai dengan C (Martawijaya, Kartasujana, Mandang, Prawira, & Kadir, 1989; Yulianti, 2011; Irmayanti, Siregar, & Pamoengkas, 2015). Menurut Pandit, Nandika, & Darmawan (2011), kayu mindi dapat digunakan sebagai komponen rumah, komponen mebel, dan barang kerajinan. Kayu mindi juga dapat digunakan sebagai kayu lapis indah, dan vinir lamina indah (Rambey, Susilowati, & Anna, 2019). Tanaman mindi mengandung zat aktif saponin, alkaloid, fenolik, flavonoid, triterpenoid, steroid, glikosida dan tannin (Sharma & Paul, 2013; Syafii, Sari, & Maemunah, 2014). Zat aktif dari tanaman ini dapat digunakan sebagai antibakteria, anti jamur, insektisida, obat cacing, racun tikus, penyembuhan luka, anti nyeri, antioksidan (Sharma & Paul, 2013; Azam, Mamun-Or-Rasshid, Towfique, Sen, & Nasrin, 2013), pestisida kontak (Hakiki & Suhartini, 2018), mengendalikan hama ulat biji (*Tenebrio molitor*) (Arifin, 2014) dan larva *Spodopera litura* (Hakiki & Suhartini, 2018), obat rematik, demam, bengkak dan radang (Cock, 2014).

Banyaknya kegunaan dari pohon mindi ini mendorong usaha-usaha untuk melestarikan dan memperluas penanamannya. Jenis ini juga banyak digunakan dalam kegiatan pengembangan hutan rakyat dan rehabilitasi lahan. Kebutuhan benih untuk kegiatan penanaman terus meningkat, sementara

sumber benih jenis mindi masih sangat kurang, terutama sumber benih dengan klasifikasi Kebun Benih Semai. Secara genetik mindi memiliki keragaman yang cukup tinggi (Yulianti, Siregar, Wijayanto, Darma, & Syamsuwida, 2011; Irmayanti *et al.*, 2015) sehingga cukup potensial untuk dibangun sumber benih dengan melibatkan keragaman relatif luas. Oleh karena itu telah dibangun tanaman uji keturunan mindi (*Melia azedarach* L.) pada tahun 2011 di Hutan Penelitian Parungpanjang, Kabupaten Bogor. Uji keturunan ini dimaksudkan untuk memperoleh informasi genetik mengenai species yang diuji, bila tanaman uji ini dikonversi menjadi kebun benih dapat menghasilkan benih berkualitas genetik baik dan menyediakan plot permanen konservasi plasma nutfah untuk kegiatan perbenihan selanjutnya (Lindgren, 2016; Ivetić, Devetaković, Nonić, Stanković, & Šijačić-Nikolić, 2016).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kinerja pertumbuhan dan parameter genetik uji keturunan mindi (*Melia azedarach* L.) di Hutan Penelitian Parungpanjang, Kabupaten Bogor.

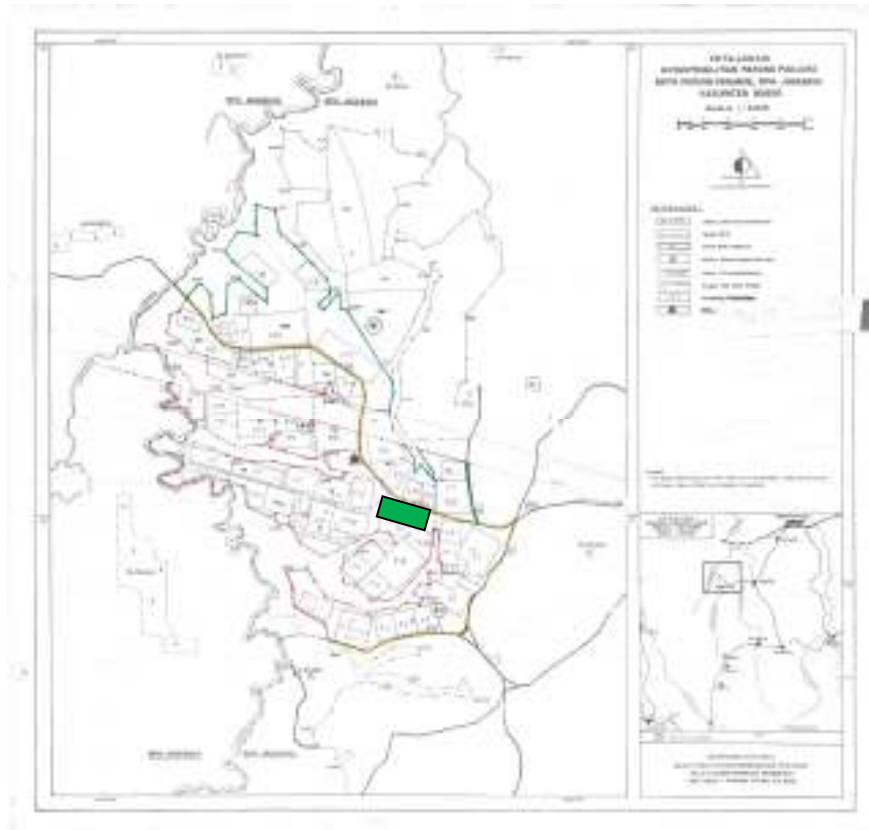
II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Pembangunan uji keturunan mindi dilakukan di Hutan Penelitian Parungpanjang yang terletak di Desa Jagabaya, Kecamatan

Parungpanjang, Kabupaten Bogor. Secara administrasi kehutanan termasuk dalam RPH Jagabaya, BKPH Parungpanjang, KPH Bogor, Perum Perhutani Devisi Regional III Jawa

Barat dan Banten (Gambar 1). Kondisi lingkungan dan kesuburan tanah di Hutan Penelitian Parungpanjang disajikan pada Tabel 1.



Gambar (Figure) 1. Lokasi uji keturunan mindi (tanda hijau) di Hutan Penelitian Parungpanjang, Bogor (*Location of progeny test of mindi (green mark) at Parungpanjang Forest Research Station, Bogor*).

Tabel (Table) 1. Kondisi lingkungan dan kesuburan tanah di Hutan Penelitian Parungpanjang, Bogor (*Environmental and soil chemical conditions in mindi progeny test in Parungpanjang Forest Research Station, Bogor*).

Karakteristik (<i>Characteristics</i>)	Keterangan (<i>Notes</i>)
Lokasi geografis (<i>Geographical location</i>)	06°2' LS, 106°0'BT
Ketinggian tempat (<i>Altitude</i>) (m dpl)	52
Curah hujan (<i>Precipitation</i>) (mm/tahun ⁻¹)	2.000 – 2.500
Suhu rata-rata (<i>Average temperature</i>)	28
pH tanah (<i>Soil pH</i>)	Asam-sangat asam (<i>acid-very acid</i>)
Drainase (<i>Drainage</i>)	Sedang, genangan air sering terbentuk setelah hujan deras (<i>Moderate, puddles often formed after heavy rains</i>)
Kondisi lain (<i>Other conditions</i>)	Area didesain khusus untuk penelitian, relatif datar, pertumbuhan gulma sangat cepat setelah pembersihan lahan (<i>The area is an area designed for research, relatively flat, weed growth is very fast after land clearing</i>)

Sumber (*sources*): Anna, Supriyanto, Karlinasari, Sudrajat, & Siregar (2020) dan Sudrajat, Siregar, Siregar, Mansur, & Khumaida (2016)

Uji keturunan mindi dibangun pada bulan Januari 2011 dengan menggunakan 73 famili dari 5 populasi mindi di Jawa Barat, yaitu Bogor, Sumedang, Purwakarta, Bandung,

dan Kuningan. Kondisi agroklimat serta jumlah famili dari masing-masing populasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel (Table) 2. Kondisi agroklimat dan jumlah pohon induk mindi untuk uji keturunan di Parungpanjang (*Agro-climatic conditions and the number of mother tree of mindi for the progeny test at Parungpanjang, Bogor*)

Lokasi (Location)	Letak geografis (Latitude-longitude)	Ketinggian (Altitude) (m dpl/ m asl)	Suhu (temperature) (°C)	Kelembapan (Humidity) (%)	Curah hujan (Precipitation) (mm thn ⁻¹)	Jumlah Famili (Number of families)
Desa Nagrak, Kecamatan Sukaraja, Bogor, Jawa Barat	106°51'27" BT; 06°6'74" LS	250-350	26-27	70-80	2000 -2500	26
Desa Padasari, Kecamatan Cimalaka, Sumedang, Jawa Barat	06°46'22" LS; 107°55'31" BT	600-700	24-32	80-85	2000-3000	12
Desa Legok Huni, Kecamatan Wanayasa, Purwakarta, Jawa Barat	06°38'8" LS; 107°31'31" BT	600-700	26-28	70-75	2000-3000	25
Desa Gambung, Kecamatan Pasir Jambu, Bandung, Jawa Barat	07°08'49" LS; 107°30'23" BT	1.380	15-28	40-50	2000 - 4000	6
Desa Babakan Rema, Kecamatan Kuningan, Kuningan, Jawa Barat	06° 45' LS; 105°20' BT	417	30-36	50-60	3000 - 4000	4

B. Prosedur Penelitian

Rancangan percobaan untuk kebun benih uji keturunan mindi menggunakan rancangan acak berblok yang terdiri atas 6 blok, 73 famili dan setiap family terdiri atas 4 pohon per plot dengan jarak tanam 4 m x 2 m. Penanaman dilakukan dengan ukuran lubang tanam 30 cm x 30 cm x 30 cm dengan penambahan 3 kg kompos sebagai pupuk dasar. Pemeliharaan tanaman dilakukan dengan pengendalian gulma (2 kali dalam setahun), pendangiran dan pemupukan hingga umur 3 tahun dengan dosis 100 g tahun⁻¹. Pengukuran parameter pertumbuhan pohon (tinggi dan diameter) dilakukan dengan intensitas sampling 100% pada saat tanaman berumur 3 tahun, 5 tahun dan 7 tahun.

C. Analisis Data

Analisa data menggunakan model linier sebagai berikut (Mashudi & Baskorowati, 2015):

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + F_j + E_{ij} \dots \dots \dots 1)$$

dimana:

- Y_{ijk} : pengamatan pada individu ke- k dari famili ke- j , dalam blok ke- i ;
- μ : rerata umum hasil pengukuran;
- B_i : pengaruh blok ke- i
- F_j : pengaruh famili ke- j ;
- E_{ijk} : galat

Pengamatan terhadap parameter genetik dilakukan dengan menghitung besarnya nilai heritabilitas dan korelasi genetik antar sifat. Nilai heritabilitas individu (h^2i) dan heritabilitas famili (h^2f) dihitung menggunakan rumus heritabilitas yang telah disusun oleh Zobel dan Talbert (1984):

$$h^2i = \frac{4\sigma^2 f}{\sigma^2 f + \sigma^2 fp + \sigma^2 e} \dots \dots \dots 2)$$

$$h^2f = \frac{\sigma^2f}{\sigma^2f + \frac{\sigma^2fp}{n} + \frac{\sigma^2e}{jn}} \dots\dots\dots 3)$$

Keterangan:

- h^2i : heritabilitas individu
 h^2f : heritabilitas famili
 $4\sigma^2f$: ragam famili
 σ^2fp : ragam interaksi antara famili dan plot/blok
 σ^2e : ragam kesalahan percobaan
 j : jumlah plot /blok
 n : jumlah tanaman per plot

Korelasi genetik antar sifat pertumbuhan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut Zobel dan Talbert (1984):

$$rG = \frac{COVf(xy)}{\sqrt{\sigma^2f(x) \cdot \sigma^2f(y)}} \dots\dots\dots 4)$$

Untuk mendapatkan besarnya komponen kovarian dua sifat x dan y ($COV_{f(x,y)}$) menggunakan rumus (O'Neill, 2010):

$$COV_{f(x,y)} = 0.5(\sigma^2_{f(x+y)} - \sigma^2_{f(x)} - \sigma^2_{f(y)}) \dots\dots\dots 5)$$

Tabel (Table) 3. Rata-rata tinggi dan diameter serta hasil analisis ragam tanaman uji keturunan mindi umur 3, 5, dan 7 tahun di Parungpanjang, Bogor (*The average of height and diameter and the results of variance analysis of mindi progeny testing at 3, 5, and 7 years old in Parungpanjang, Bogor*)

Umur tanaman (Stand age)	Tinggi pohon (tree height) (m)	Diameter batang (stem diameter) (cm)	Tinggi pohon (Tree height)		Diameter batang (Stem diameter)	
			F-hitung (F-test)	Pr>F	F-hitung (F-test)	Pr>F
3 tahun (3 years)	3,7	4,6	6,35**	<0,0001	4,18**	<0,0001
5 tahun (5 years)	5,7	6,7	3,89**	<0,0001	2,47**	<0,0001
7 tahun (7 years)	7,1	8,6	4,11**	<0,0001	2,70**	<0,0001

Keterangan (Remarks): ** sangat berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 99% (Significant difference at 99% confidence level)

Hasil analisis ragam tanaman uji keturunan mindi di Hutan Penelitian Parungpanjang menunjukkan perbedaan yang nyata antara famili untuk respon tinggi dan diameter (Tabel 3). Kondisi pertumbuhan (sebaran) tinggi dan diameter untuk semua famili pada saat umur 3 tahun, 5 tahun dan 7 tahun dapat dilihat pada Gambar 2 yang

dimana $\sigma^2_{f(x+y)}$ = komponen ragam sifat x dan y, $\sigma^2_{f(x)}$ = komponen ragam famili sifat x, $\sigma^2_{f(y)}$ = komponen ragam famili sifat y. Semua pengaruh kecuali rata-rata umum diasumsikan bersifat acak. SAS *procedur* VARCOMP masing-masing digunakan untuk menduga komponen ragam setiap sumber keragaman.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

1. Pertumbuhan tanaman mindi

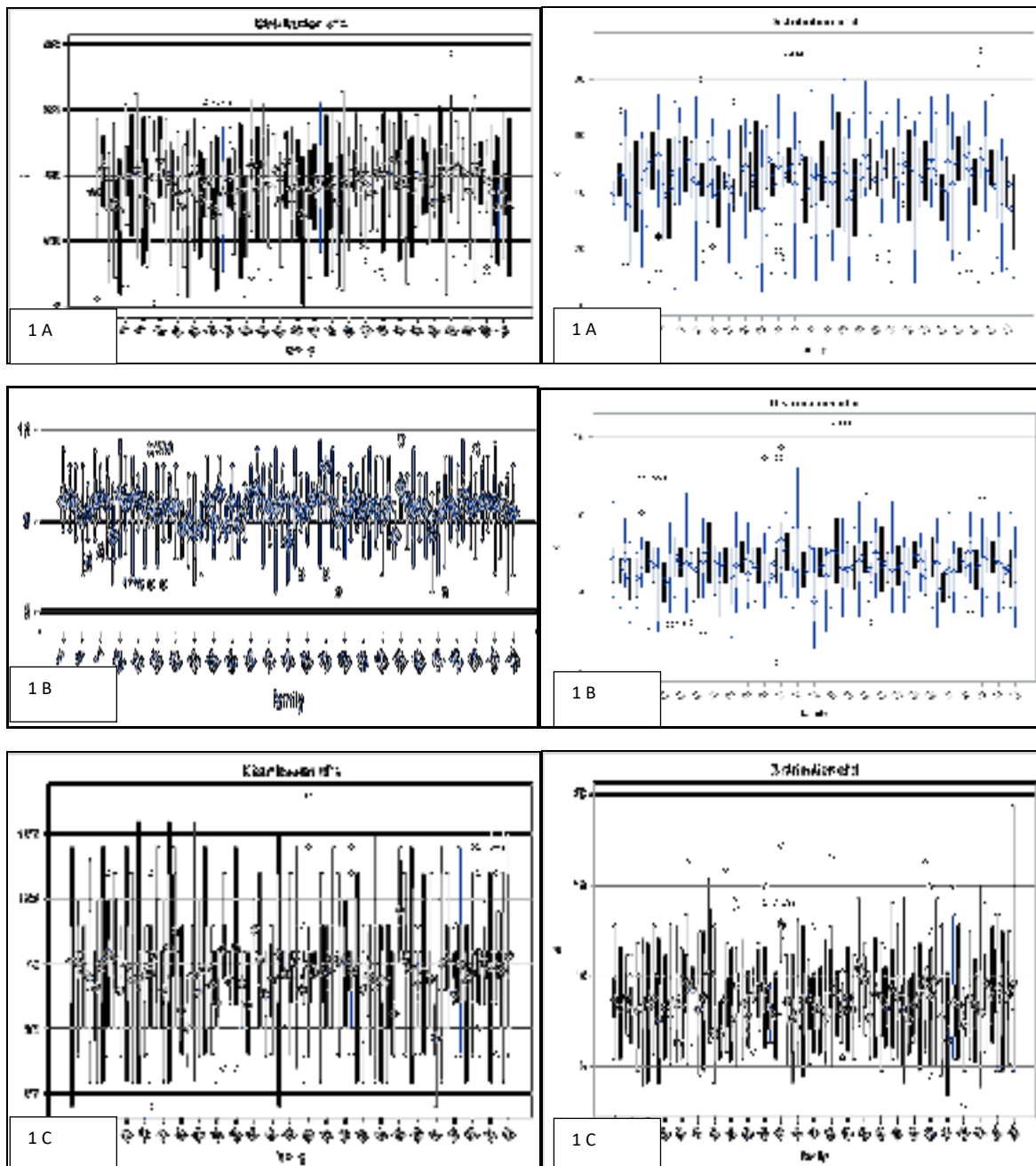
Rata-rata pertumbuhan tinggi dan diameter serta hasil analisis ragam pengaruh famili terhadap parameter pertumbuhan tanaman uji keturunan mindi umur 3 tahun, 5 tahun dan 7 tahun dari 73 famili yang diuji tersaji dalam Tabel 3.

menunjukkan adanya keragaman pertumbuhan yang terjadi antar famili yang diuji, sesuai dengan hasil analisis ragam (Tabel 3).

Untuk mengetahui 25 famili terbaik dari 73 famili yang diuji, maka dilakukan perangkingan famili yang masuk dalam 25 famili terbaik, untuk karakter tinggi dan diameter pada saat umur 3 tahun, 5 tahun dan

7 tahun. Hasil perangkungan dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan hasil perangkungan famili untuk karakter tinggi dan diameter, terlihat pada saat umur 3 tahun, terdapat 23 famili yang konsisten masuk dalam 25 famili

terbaik, pada umur 5 tahun terdapat 16 famili dan pada umur 7 tahun terdapat 12 famili. Hal ini memperlihatkan famili-famili tersebut mempunyai keceratan dalam karakter tinggi dan diameter.

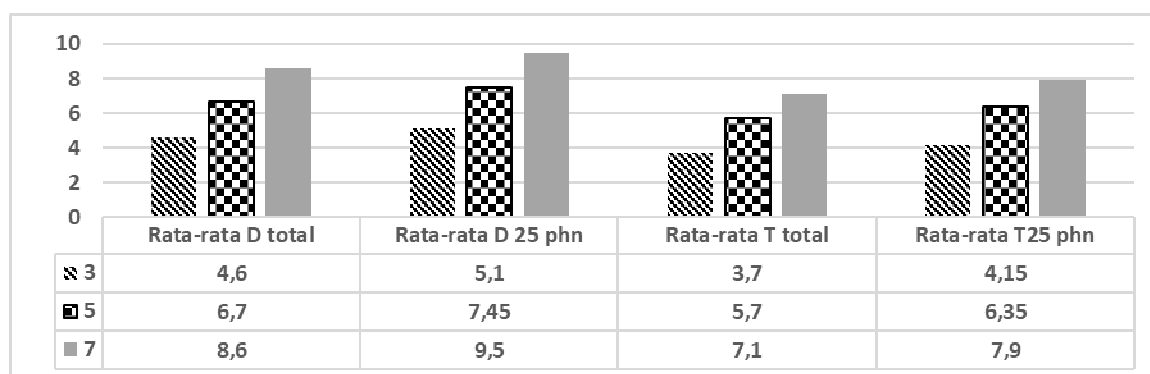


Gambar (Figure) 2. Distribusi pertumbuhan tinggi dan diameter tanaman uji keturunan mindi pada umur 3 tahun (1.A), 5 tahun (1.B) dan 7 tahun (1.C) (*The distribution of growth in height and diameter of mindi progeny test at 3 years old (1.A), 5 years old (1.B) and 7 years old (1.C)*)

Tabel (Table) 4. Dua puluh lima famili terbaik tanaman uji keturunan mindi pada umur 3, 5 dan 7 tahun berdasarkan pertumbuhan tinggi (T) dan diameter (D) (*The twenty five best families of mindi progeny test plantations at 3, 5, and 7 years old based on height and diameter growth*)

Rangking	Umur 3 tahun (3 years old)				Umur 5 tahun (5 years old)				Umur 7 tahun (7 years old)			
	Fam	D (cm)	Fam	T (m)	Fam	D (cm)	Fam	T (m)	Fam	D (cm)	Fam	T (m)
1	12	5,71	53	4,49	31	8,34	43	8,00	31	12,80	55	9,56
2	46	5,37	12	4,44	34	7,90	55	6,88	45	10,46	31	8,80
3	8	5,25	34	4,41	36	7,85	32	6,76	18	10,12	18	8,78
4	52	5,25	30	4,32	65	7,83	26	6,56	59	9,84	17	8,13
5	68	5,24	64	4,31	41	7,78	10	6,54	46	9,71	28	8,12
6	34	5,24	28	4,31	32	7,70	65	6,43	40	9,65	26	8,06
7	64	5,22	61	4,19	40	7,57	31	6,40	68	9,60	7	7,90
8	58	5,21	63	4,19	18	7,57	2	6,38	14	9,57	68	7,89
9	28	5,17	2	4,19	48	7,55	41	6,37	73	9,54	35	7,89
10	2	5,16	32	4,18	46	7,55	48	6,36	57	9,49	8	7,82
11	13	5,16	8	4,18	55	7,52	7	6,34	23	9,46	73	7,82
12	67	5,14	46	4,17	68	7,39	13	6,32	27	9,45	15	7,78
13	18	5,12	68	4,13	12	7,36	42	6,25	70	9,38	56	7,73
14	7	5,10	67	4,12	6	7,34	36	6,22	28	9,33	44	7,72
15	32	5,03	50	4,12	3	7,32	56	6,20	51	9,31	46	7,70
16	61	5,03	65	4,10	49	7,26	68	6,18	15	9,24	63	7,66
17	53	5,00	13	4,08	24	7,25	24	6,16	41	9,10	32	7,66
18	30	4,99	52	4,04	17	7,20	12	6,16	48	9,03	1	7,61
19	63	4,98	18	4,03	1	7,19	1	6,12	56	9,00	45	7,58
20	65	4,90	51	4,01	26	7,15	38	6,05	72	9,00	38	7,58
21	47	4,88	57	4,01	58	7,14	70	6,04	26	8,93	69	7,57
22	24	4,87	6	4,00	7	7,10	44	6,04	58	8,89	48	7,57
23	59	4,87	7	3,98	13	7,09	8	6,04	69	8,87	2	7,54
24	57	4,83	47	3,95	63	7,09	6	6,03	52	8,86	6	7,53
25	50	4,83	11	3,93	28	7,08	63	6,01	36	8,84	62	7,50
Rata-rata (Average)		5,10		4,15		7,45		6,35		9,50		7,90

Nilai rata-rata pertumbuhan tinggi dan diameter tanaman mindi umur 3 tahun, 5 tahun dan 7 tahun berdasarkan 25 famili terbaik dan rata-rata dari seluruh famili dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar (Figure) 3. Rata-rata tinggi (T) dan diameter (D) tanaman uji keturunan mindi dari seluruh famili dan dari 25 famili terbaik (*Average height (T) and diameter (D) of mindi progeny test of all family and from 25 best families*)

Berdasarkan Gambar 3 dapat diperkirakan terjadi pertambahan tinggi dan diameter apabila dilakukan seleksi terhadap 73 famili yang diuji, karena nilai rata-rata pertumbuhan tinggi dan diameter dari seluruh famili lebih rendah dari pada nilai rata-rata dari 25 famili terbaik, baik pada umur 3 tahun, 5 tahun maupun 7 tahun.

2. Komponen ragam dan nilai heritabilitas

Keragaman pertumbuhan tinggi dan diameter diantara 73 famili yang diuji merupakan hasil interaksi faktor lingkungan dan genetik. Untuk mengetahui seberapa besar masing-masing faktor tersebut

mempengaruhi keragaman pada umur 3 tahun, 5 tahun dan 7 tahun maka dilakukan analisis terhadap parameter genetik pada setiap tingkat umur tersebut. Parameter genetik yang dianalisis adalah heritabilitas individu, heritabilitas famili serta korelasi genetik antara karakter tinggi dan diameter. Analisis dilakukan menggunakan analisis varian yaitu untuk mengetahui varian dari setiap komponen parameter genetik. Rangkuman hasil analisis varian dapat dilihat pada Tabel 5. Nilai heritabilitas untuk tinggi dan diameter pada setiap tingkat umur tanaman uji keturunan mindi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel (Table) 5. Rangkuman hasil analisis komponen ragam tinggi dan diameter pada umur 3 tahun, 5 tahun dan 7 tahun tanaman uji keturunan mindi (*The summary of analysis the variance components of height and diameter at the age of 3 years, 5 years and 7 years old of mindi progeny test*)

Komponen ragam (Variance component)	Umur 3 tahun (3 years old)		Umur 5 tahun (5 years old)		Umur 7 tahun (7 years old)	
	Diameter (Diameter)	Tinggi (Height)	Diameter (Diameter)	Tinggi (Height)	Diameter (Diameter)	Tinggi (Height)
Var (Rep)	33,803	1969,200	0,156	0,744	0,660	2,158
Var (famili)	1,903	287,201	0,021	0,009	0,043	0,042
Var (Rep*famili)	92,387	7049,300	0,984	1,065	1,547	1,343
Var (Error)	115,900	5603,900	2,224	1,490	3,142	1,640

Tabel (Table) 6. Nilai heritabilitas individu dan famili untuk tinggi dan diameter tanaman uji keturunan mindi pada umur 3 tahun, 5 tahun dan 7 tahun (*Individual and family heritabilities of height and diameter of progeny test of mindi at 3, 5, and 7 years old*)

Umur (Age)	Respon (Response)	Heritabilitas individu (Individual heritability)(h ² i)	Heritabilitas famili (Family heritability) (h ² f)
3 tahun (3 years old)	Diameter (Diameter)	0,009	0,018
	Tinggi (Height)	0,023	0,036
5 tahun (5 years old)	Diameter (Diameter)	0,007	0,017
	Tinggi (Height)	0,004	0,008
7 tahun (7 years old)	Diameter (Diameter)	0,009	0,023
	Tinggi (Height)	0,014	0,029

Keterangan (Remarks) : Kategori nilai heritabilitas berdasarkan Cotterill dan Dean (1990): heritabilitas <0,1 = rendah, 0,1-0,3 = sedang, dan >0,3 = tinggi

Nilai heritabilitas individu maupun family untuk sifat tinggi dan diameter pada umur 3 tahun, 5 tahun dan 7 tahun tanaman uji keturunan mindi di Parungpanjang sangat rendah, dengan rata-rata di bawah 5%, yaitu antara 0,004-0,023 untuk heritabilitas individu dan 0,008-0,036 untuk heritabilitas famili (Tabel 6). Untuk mengetahui keeratan genetik antara sifat tinggi dan diameter, maka dilakukan analisis korelasi genetik pada umur 7 tahun. Hasil analisis korelasi genetik antara karakter tinggi dan diameter adalah sebesar 0,574 atau keeratan genetik karakter tinggi dan diameter adalah $\pm 57\%$, menunjukkan korelasi yang cukup kuat antara tinggi dan diameter.

B. Pembahasan

Pembangunan sumber benih jenis mindi merupakan salah satu solusi dalam penyediaan benih bermutu, maka sebagai langkah awal perlu dilakukan uji keturunan untuk selanjutnya dilakukan seleksi terhadap famili-famili yang unggul tersebut dan dikembangkan menjadi sumber benih. Untuk mengetahui hasil kinerja genetik dari tanaman uji keturunan ini telah dilakukan evaluasi pada umur 3 tahun, 5 tahun dan 7 tahun, adapun karakter yang diuji adalah tinggi dan diameter, parameter ini menjadi salah satu indikator keunggulan untuk kayu pertukangan.

Berdasarkan hasil analisis ragam (Tabel 3), terdapat perbedaan yang nyata antar famili yang diuji dalam pertumbuhan tinggi dan diameter, pada umur 3 tahun, 5 tahun dan 7

tahun. Rata-rata tinggi dan diameter pada umur 3 tahun untuk semua famili adalah 3,7 m dan 4,6 cm, adapun pada saat umur 5 tahun terjadi peningkatan, yaitu rata-rata tinggi dan diameter adalah 5,7 m dan 6,7 cm. Demikian pula terjadi peningkatan pertumbuhan pada umur 7 tahun yaitu rata-rata tinggi dan diameter menjadi 7,1 m dan 8,6 cm. Hasil penelitian uji keturunan mindi umur 8 tahun di India pada ketinggian tempat tumbuh 247 m dpl dengan rata-rata curah hujan 604,88 mm tahun⁻¹, mempunyai rata – rata tinggi dan diameter masing-masing 8,26 m $\pm$ 0,76 m dan 9,48 cm $\pm$ 1,47 cm (Meena, Kumar, Sharma, Chauhan, & Bhargava, 2014). Hasil ini apabila dibandingkan dengan pertumbuhan tanaman uji keturunan mindi umur 7 tahun di Parungpanjang (ketinggian 51,71 m dpl dan curah hujan 2.000 mm tahun⁻¹ – 2.500 mm tahun⁻¹) mempunyai nilai yang tidak jauh berbeda. Demikian pula apabila dilihat dari nilai rata-rata pertumbuhan tinggi dan diameter per tahun, riap pertumbuhan rata-rata tinggi dan diameter adalah 1,01 m tahun⁻¹ dan 1,22 cm tahun⁻¹ pada umur 7 tahun untuk mindi di Parungpanjang. Adapun hasil penelitian (Meena *et al.*, 2014) menunjukkan riap pertumbuhan rata-rata tinggi dan diameter adalah 1,03 m tahun⁻¹ dan 1,185 cm tahun⁻¹ pada umur 8 tahun. Berdasarkan kedua data tersebut terlihat tidak terlalu berbeda pertumbuhan rata-rata tinggi dan diameter mindi di kedua tempat tersebut. Hal ini

menunjukkan bahwa kondisi tempat tumbuh di Parungpanjang masih sesuai untuk pertumbuhan tanaman mindi.

Persentase peningkatan tinggi dan diameter tanaman mindi di Parungpanjang dari umur 3 tahun ke 7 tahun adalah 91,89% dan 86,95%. Berdasarkan hasil tersebut apabila dilihat dari persentase peningkatan pertumbuhan tinggi dan diameter dari umur 3 tahun ke 7 tahun, cukup baik, berarti tanaman tumbuh dengan baik. Tujuan akhir dari uji keturunan adalah terpilihnya famili-famili terbaik untuk dikembangkan menjadi sumber benih, sehingga pada penelitian ini telah dilakukan perangkingan nilai untuk 25 famili terbaik dari 73 famili yang diuji pada umur 3 tahun, 5 tahun dan 7 tahun. Berdasarkan hasil perangkingan tersebut (Tabel 4), famili yang konsisten terdapat dalam 25 famili terbaik (untuk pertumbuhan tinggi dan diameter) pada umur 3 tahun sebanyak 23 famili, pada umur 5 tahun terdapat 16 famili dan pada umur 7 tahun 12 famili yang tetap konsisten.

Famili-famili yang konsisten berada di dalam 25 famili terbaik pada umur 3 tahun, 5 tahun dan 7 tahun untuk pertumbuhan diameter (Tabel 4) adalah famili F18 (asal Bogor). F28 (asal Sumedang), F46 dan F 58 (asal Purwakarta) serta F 68 (asal Bandung). Adapun untuk pertumbuhan tinggi, famili yang konsisten pada umur 3 tahun, 5 tahun dan 7 tahun adalah F2, F6, F7 dan F8 (asal Bogor),

F32 (asal Sumedang), F63 (asal Purwakarta) dan F68 (asal Bandung). Hanya ada 1 famili yang konsisten berada di dalam 25 famili terbaik pada umur 3, 5 dan 7 tahun untuk pertumbuhan diameter maupun tinggi yaitu F 68 yang berasal dari Bandung, walaupun nilainya bukan yang tertinggi. Apabila dilihat dari nilai tertinggi, pada umur 3 tahun untuk karakter tinggi adalah F 53 (asal Purwakarta) dan untuk karakter diameter adalah F12 (asal Bogor), pada umur 5 tahun untuk karakter tinggi adalah F43 (asal Purwakarta) dan untuk karakter diameter adalah F31 (asal Sumedang), adapun famili dengan nilai tertinggi pada umur 7 tahun untuk karakter tinggi adalah F55 (Purwakarta) dan untuk karakter diameter adalah F31 (asal Sumedang). Benih asal Purwakarta yaitu F53, F43 dan F55 merupakan famili-famili dengan nilai terbesar untuk karakter tinggi pada saat umur 3 tahun, 5 tahun dan 7 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa famil-famili asal Purwakarta mampu memberikan pertumbuhan terbaik untuk karakter tinggi. Adapun untuk karakter diameter F31 asal Sumedang memberikan pertumbuhan diameter tertinggi pada umur 5 dan 7 tahun, namun tidak tertinggi pada umur 3 tahun.

Asal benih dari Purwakarta dan Sumedang, memberikan respon terbaik untuk pertumbuhan tinggi dan diameter pada tanaman uji keturunan mindi di Parungpanjang

hingga umur 7 tahun. Kondisi tempat tumbuh di Purwakarta dan Sumedang (Tabel 2) cukup berbeda jika dilihat dari ketinggian, tinggi tempat, kedua lokasi tersebut berada pada ketinggian antara 600 m-700 m dpl, sedangkan lokasi Parungpanjang terletak pada ketinggian <100 m dpl. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman mindi mampu tumbuh pada rentang ketinggian dan curah hujan yang cukup lebar. Informasi ini sangat penting untuk pengembangan jenis mindi lebih lanjut. Adanya famili-famili yang sama masuk dalam 25 famili terbaik untuk karakter tinggi dan diameter, mengindikasikan ada keceratan yang positif antara kedua karakter tersebut.

Informasi keceratan antar karakter yang diamati penting untuk diketahui, karena akan berkaitan dengan kegiatan seleksi, untuk mendapatkan famili-famili terbaik yang akan dikembangkan menjadi sumber benih. Namun untuk mengetahui apakah karakter tersebut dipengaruhi oleh faktor lingkungan atau genetik maka perlu dilakukan penghitungan nilai heritabilitas individu dan famili untuk kedua karakter tersebut, serta korelasi genetik antar kedua karakter tersebut. Hasil penghitungan nilai heritabilitas individu dan famili untuk karakter tinggi dan diameter pada tanaman uji keturunan mindi umur 3 tahun, 5 tahun dan 7 tahun, menunjukkan nilai yang berbeda. Hal ini sesuai dengan pendapat (Indriko, Hardiwinoto, & Purwanta, 2016) yang menyatakan bahwa pendugaan nilai

heritabilitas tidak dapat bersifat umum, atau hanya berlaku untuk satu kurun waktu tertentu pada populasi tertentu. Pendugaan nilai heritabilitas adalah menduga seberapa besar proporsi pengaruh genetik atau lingkungan terhadap suatu karakter.

Nilai heritabilitas individu (h^2_i) untuk karakter tinggi dan diameter pada umur 3 tahun adalah 0,009 dan 0,023, sedangkan nilai heritabilitas famili (h^2_f) untuk karakter tinggi dan diameter adalah 0,018 dan 0,036. Heritabilitas individu dan famili untuk tinggi dan diameter pada umur 5 tahun masing-masing adalah 0,004 dan 0,008 (tinggi), serta 0,007 dan 0,017 (diameter), adapun nilai pendugaan heritabilitas individu dan famili pada umur 7 tahun adalah 0,014 dan 0,029 (tinggi) serta 0,009 dan 0,023 (diameter). Cotterill dan Dean (1990) menyatakan bahwa nilai heritabilitas individu (h^2_i) dikatakan rendah apabila $h^2_i \leq 0,1$, dikategorikan moderat/sedang apabila $h^2_i = 0,1-0,3$ dan dikategorikan tinggi apabila $h^2_i > 0,3$, adapun untuk heritabilitas famili kategori rendah apabila $h^2_f \leq 0,4$, kategori moderat/sedang apabila $h^2_f 0,4-0,6$ dan kategori tinggi apabila $h^2_f > 0,6$. Berdasarkan hasil perhitungan pendugaan heritabilitas mindi pada umur 3, 5, dan 7 tahun, maka karakter tinggi dan diameter mempunyai nilai pendugaan heritabilitas individu kategori rendah (kisaran h^2_i antara 0,004-0,023) atau $h^2_i \leq 0,1$, demikian pula dengan nilai pendugaan heritabilitas famili

termasuk kategori rendah (kisaran h^2f antara 0,008-0,036) atau $h^2f \leq 0,4$.

Pendugaan nilai heritabilitas pada saat tanaman uji keturunan mindi umur 3 tahun, 5 tahun dan 7 tahun, menunjukkan proporsi pengaruh genetik terhadap karakter tinggi dan diameter tergolong rendah, sehingga diduga keragaman antar famili untuk karakter tinggi dan diameter mindi di Parungpanjang hingga umur 7 tahun sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Nilai pendugaan ini berbeda dengan nilai heritabilitas tanaman uji keturunan mindi umur 8 tahun di daerah Punjab, India, yaitu nilai pendugaan h^2i untuk karakter tinggi dan diameter adalah 0,31 dan 0,37 dan nilai pendugaan h^2f masing-masing 0,281 dan 0,285 (Meena *et al.*, 2014). Nilai tersebut masuk kategori moderat untuk h^2i dan kategori rendah untuk h^2f sesuai pendapat (Cotterill & Dean, 1990). Hasil ini menunjukkan bahwa proporsi pengaruh genetik terhadap karakter tinggi dan diameter pada mindi masih dalam kategori rendah hingga sedang, dan kemungkinan keragaman lebih dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tempat tumbuh.

Analisis keragaman genetik tanaman mindi pada 6 populasi mindi di hutan rakyat di Jawa Barat, dengan menggunakan metode RAPD, menunjukkan bahwa keragaman genetik mindi termasuk kategori moderat (He: 16% -19%), dan sumbangan terbesar terhadap

adanya keragaman tersebut adalah keragaman genetik dalam populasi sebesar 69% dan 31% adalah keragaman genetik antar populasi (Yulianti *et al.*, 2011). Apabila dikaitkan dengan hasil penelitian uji keturunan mindi di Parungpanjang, yang asal benihnya semua berasal dari populasi mindi di Jawa Barat, lebih menegaskan bahwa tanaman mindi yang ada di Jawa Barat mempunyai keragaman genetik yang tidak luas (*narrow genetic base*). Namun hasil analisis keragaman genetik mindi dari 3 populasi mindi di Sumatera Utara, menggunakan metode SSR, menunjukkan nilai keragaman genetik lebih tinggi dibandingkan dengan populasi di Jawa Barat, yaitu nilai H_e berkisar 0,24-0,27 (Rambey *et al.*, 2019). Oleh karena itu untuk memperluas keragaman genetik tanaman mindi, maka perlu dilakukan infuse genetik, atau famili yang diuji berasal dari populasi di Jawa Barat dan populasi di luar Jawa Barat.

Parameter genetik lainnya yang dihitung dalam penelitian ini adalah korelasi genetik (rG) antara karakter tinggi dan diameter, hasil analisis korelasi antara kedua karakter tersebut adalah $rG = 0,574$. Nilai korelasi genetik antara tinggi dan diameter untuk uji keturunan mindi umur 8 tahun di Punjab, India, adalah $rG = 0,64$ (Meena *et al.*, 2014). Nilai ini menunjukkan keeratan yang cukup tinggi antara tinggi dan diameter, dan sejalan dengan hasil uji keturunan mindi di Parungpanjang.

Nilai korelasi genetik yang diperoleh tersebut menunjukkan adanya keterkaitan genetik yang cukup erat diantara kedua karakter tersebut. Informasi ini cukup penting dalam kegiatan seleksi, karena perbaikan dalam karakter tinggi akan diikuti perbaikan dalam karakter diameter. Penghitungan nilai korelasi genetik pada uji keturunan tanaman kehutanan telah banyak dilakukan. Secara umum beberapa penelitian menyatakan nilai korelasi genetik antara tinggi dan diameter batang cukup tinggi (nyata), seperti pada *Tectona grandis* umur 5 tahun sebesar 0,83 (Adinugraha, Pudjiono, & Mahfudz, 2013), *Melaleuca cajuputi* pada umur 2 tahun sebesar 0,57 (Sumardi, Kartikawati, Prastyono, & Rimbawanto, 2018), *Instia bijuga* pada umur 1,5 tahun di dua lokasi berbeda sebesar 0,96 dan 0,92 (Mahfudz, 2013), *Ficus variegata* umur 1 tahun di dua lokasi berbeda sebesar 0,58 dan 0,8 (Haryjanto, Prastyono, & Yuskianti, 2014), dan *Aucaria cunninghamii* pada umur 5 dan 10 tahun sebesar 0,62 dan 0,82 (Setiadi & Fauzi, 2015). Jenis tanaman hutan lainnya yang telah diukur korelasi genetik tinggi dan diameter adalah *Alstonia scholaris* umur 2 tahun $rG = 0,94$ (Mashudi & Baskorowati, 2015), *Diospyros rumphii* umur 1 tahun $rG = 0,89$ (Kinho, Halawane, Irawan, & Kafiar, 2015), *Neolamarckia cadamba* umur 1 tahun $rG = 0,56$ (Sudrajat, 2015), dan *Nauclea orietalis* umur 5 tahun $rG = 0,75$ (Riany, Siregar, & Sudrajat, 2018). Berdasarkan hasil penelitian

beberapa jenis tanaman hutan yang telah disebutkan sebelumnya, terlihat karakter tinggi dan diameter untuk jenis-jenis tanaman kehutanan mempunyai nilai korelasi genetik yang cukup tinggi, sehingga mengindikasikan bahwa keeratan kedua karakter tersebut disebabkan oleh faktor genetik dan diwariskan oleh induk kepada keturunannya (Gapare, Baltunis, Ivković, & Wu, 2009).

IV. KESIMPULAN

Perbedaan famili pada uji keturunan mindi di Parungpanjang, Bogor pada umur 3, 5, dan 7 tahun berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan tinggi dan diameter tanaman. Famili-famili dari Purwakarta dan Sumedang memberikan pertumbuhan tinggi dan diameter terbaik pada umur 3, 5, dan 7 tahun. Pendugaan nilai heritabilitas pada tanaman uji keturunan mindi umur 3, 5, dan 7 tahun, menunjukkan proporsi pengaruh genetik terhadap karakter tinggi dan diameter tergolong rendah dengan nilai heritabilitas famili yang lebih tinggi dibanding heritabilitas individu sehingga seleksi famili akan memberikan kemajuan genetik yang lebih tinggi. Tinggi dan diameter pohon mempunyai nilai korelasi genetik nyata (0,57) yang mengindikasikan adanya keeratan hubungan kedua karakter tersebut secara genetik dan seleksi dapat didasarkan pada salah satu parameter.

Berdasarkan hasil analisis yang menunjukkan adanya korelasi genetik yang

kuat antara tinggi pohon dan diameter batang maka seleksi dapat didasarkan diameter batang yang relatif memiliki tingkat ketelitian lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Bapak Nurkim Nurochim, Hasan Royani, Aa Husna H., Adim, Maman, dan Muhamad atas perannya dalam pembangunan, pengukuran dan pemeliharaan plot uji keturunan mindi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinugraha, H. A., Pudjiono, S., & Mahfudz. (2013). Variasi pertumbuhan dan parameter genetik uji keturunan jati umur 5 tahun di Gunung Kidul, Yogyakarta. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*, 7(3), 167–178.
- Anna, N., Supriyanto, Karlinasari, L., Sudrajat, D. J., & Siregar, I. Z. (2020). The growth, pilodyn penetration, and wood properties of 12 *Neolamarckia cadamba* provenances at 42 months old. *Biodiversitas*, 21(3), 1091–1100. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210332>
- Arifin, R. N. (2014). *Pembuatan pestisida alami, campuran ekstrak daun mindi (Melia azedarach L.) dan kulit buah jengkol (Pithecellobium jiringa) untuk pengendalian ulat biji (Tenebrio molitor)*. Surakarta.
- Azam, M. M., Mamun-Or-Rasheed, A. N. M., Towfique, N. M., Sen, M. K., & Nasrin, S. (2013). Pharmacological potentials of *Melia azedarach* L. - A review. *American Journal of BioScience*, 1(2), 44–49. <https://doi.org/10.11648/j.ajbio.20130102.13>
- Cock, I. E. (2014). *Medicinal and aromatic plants – Australia*. (In Ethnop). Australia: EOLSS Publishers.
- Cotterill, P. P., & Dean, C. A. (1990). *Successful tree breeding with index selection*. Victoria, Australia: CSIRO Publishers.
- Gapare, W. J., Baltunis, B. S., Ivković, M., & Wu, H. X. (2009). Genetic correlations among juvenile wood quality and growth traits and implications for selection strategy in *Pinus radiata* D. Don. *Ann. For. Sci.*, 66(6), 1–9.
- Hakiki, N., & Suhartini. (2018). Uji efektivitas pestisida nabati campuran biji koro benguk (*Mucuna pruriens* L.), biji legundi (*Vitex trifolia* L.) dan biji mindi (*Melia azedarach* L.) untuk pengendalian hama *Spodoptera litura* pada tanaman sawi (*Brassica juncea* L.). *Jurnal Prodi Biologi*, 7(5), 326–336.
- Haryjanto, L., Prastyono, & Yuskianti, V. (2014). Variasi pertumbuhan dan parameter genetik pada tiga plot uji keturunan nyawai (*Ficus variegata* Blume) di Bantul. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*, 8(3), 137–151.
- Indriko, S., Hardiwinoto, S., & Purwanta, S. (2016). Peningkatan kualitas jati pada pertanaman uji keturunan di perum perhutani KPH Ngawi dan KPH Cepu. In *Prosiding Symbion (Symposium on Biology Education)* (Vol. 1, pp. 133–144).
- Irmayanti, L., Siregar, I. Z., & Pamoengkas, P. (2015). Keragaman genetik mindi (*Melia azedarach* L.) pada hutan rakyat di Jawa Barat dengan penanda mikrosatelit. *Jurnal Silviculture Tropika*, 6(1), 1–8.
- Ivetić, V., Devetaković, J., Nonić, M., Stanković, D., & Šijačić-Nikolić, M. (2016). Genetic diversity and forest reproductive material - From seed source selection to planting. *IForest*, 9(5), 801–812. <https://doi.org/10.3832/ifer1577-009>
- Kinho, J., Halawane, J., Irawan, A., & Kafiar, Y. (2015). Evaluasi pertumbuhan tanaman uji keturunan eboni (*Diospyros rumphii*) umur satu tahun di persemaian. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*, 1(4), 800–804. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010422>
- Lindgren, D. (2016). The role of tree breeding in reforestation. *Reforesta*, 1, 221–237. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21750/R EFOR.1.11.11>

- Mahfudz. (2013). Variasi pertumbuhan pada kombinasi dua uji keturunan merbau (*Intsia bijuga* O. Ktze) di Sobang, Banten Dan Bintuni, Papua Barat. *INFO BPK Manado*, 3(2), 131–146.
- Martawijaya, A., Kartasujana, I., Mandang, Y. I., Prawira, S. A., & Kadir, K. (1989). *Atlas Kayu Jilid II*. Bogor: Badan Litbang Kehutanan, Departemen Kehutanan.
- Mashudi, & Baskorowati, L. (2015). Estimasi parameter genetik pada uji keturunan pulau (*Alstonia scholaris*) di Gunungkidul, Yogyakarta. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*, 9(1), 1–11.
- Meena, H., Kumar, A., Sharma, R., Chauhan, S. K., & Bhargava, K. M. (2014). Genetic variation for growth and yield parameters in half-sib progenies of *Melia azedarach* (Linn.). *Turk J Agric For*, 38(1), 531–539. <https://doi.org/10.3906/tar-1307-40>
- O'Neill, M. (2010). *ANOVA & REML: a guide to linear mixed models in an experimental design context*. Statistical Advisory & Training Service Pty Ltd.
- Pandit, I. K. N., Nandika, D., & Darmawan, I. W. (2011). Analisis sifat dasar kayu hasil hutan tanaman rakyat. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 16(2), 119–124.
- Rambey, R., Susilowati, A., & Anna, N. (2019). Genetic diversity of mindi (*Melia azedarach*) from community forest in Deli Serdang, North Sumatra, Indonesia revealed by microsatellite marker. *Biodiversitas*, 20(6), 1708–1712. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200629>
- Riany, F., Siregar, I. Z., & Sudrajat, D. J. (2018). The growth and genetic potentials of gempol (*Nuclea orientalis* L.) as shading trees in urban landscapes. In *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 203 (2018) 012002 (pp. 1–14). [https://doi.org/10.1088/1755-1315-1315/203/1/012002](https://doi.org/10.1088/1755-1315/203/1/012002)
- Sharma, D., & Paul, Y. (2013). Preliminary and pharmacological profile of *Melia azedarach* L.: An overview. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 3(12), 133–138. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2013.31224>
- Sudrajat, D. J. (2015). *Keragaman populasi, uji provenansi dan adaptasi jabon (Neolamarckia cadamba (Roxb.) Bosser)*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sudrajat, Dede J, Nurhasbi, Siregar, I. Z., Siregar, U. J., Mansur, I., & Khumaida, N. (2016). Intraspecific variation on early growth of *Neolamarckia cadamba* MIQ. in provenance-progeny tests in West Java province, Indonesia. *Biotropia*, 23(1), 10–20. <https://doi.org/10.11598/btb.2016.2>
- Sumardi, Kartikawati, N. K., Prastyono, & Rimbawanto, A. (2018). Seleksi dan perolehan genetik pada uji keturunan Generasi kedua kayu putih (*Melaleuca cajuputi* subsp. *cajuputi*) di Gunungkidul. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*, 12(1), 65–73.
- Syafii, W., Sari, R. K., & Maemunah, S. (2014). Uji bioaktivitas zat ekstraktif pohon mindi (*Melia azedarach* Linn.) dengan Metode Brine Shrimp Lethality Test. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kayu Tropis*, 12(1), 48–55.
- Yulianti. (2011). *Strategi pengembangan sumber benih mindi (Melia azedarach L.) di hutan rakyat Provinsi Jawa Barat*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Yulianti, Siregar, I. Z., Wijayanto, N., Darma, I. G. K. T., & Syamsuwida, D. (2011). Genetic variation of *Melia azedarach* in community forests of West Java assessed by RAPD. *Biodiversitas*, 12(2), 64–69. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d120202>
- Zobel, B., & Talbert, J. (1984). *Applied Forest Tree Improvement*. Illinois, USA: Wave Land Press, Inc.