

**POTENSI PERKAWINAN SILANG PADA PENYERBUKAN TERBUKA DI KEBUN BENIH SEMAI KAYUPUTIH DI PALIYAN, GUNUNGGIDUL**

***(Crossing Potential of Open Pollination in Cajuputi Seedling Seed Orchard at Paliyan, Gunungkidul)***

**Noor Khomsah Kartikawati\* dan Sumardi**

Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan  
Jl. Palagan Tentara Pelajar Km 15, Purwobinangun, Pakem, Sleman, Yogyakarta, Indonesia 55582  
Telp. +62 274 895954 Fax. +62 274 896080

*Article Info*

**Article History:**

Received 18 March 2016;  
received in revised form 06  
December 2016; accepted 20  
December 2016.  
[Available online since 31  
March 2017](#)

**Kata kunci:**

Perkawinan silang  
Pembungaan  
*Melaleuca cajuputi*  
Provenan  
Kebun benih semai

**ABSTRAK**

Penyerbukan terbuka mempunyai dua kemungkinan tipe penyerbukan yaitu penyerbukan silang dan penyerbukan sendiri. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kemungkinan terjadinya perkawinan silang, baik di dalam provenan maupun antar provenan serta perilaku pembungaan pada masing-masing provenan di kebun benih semai (KBS) kayuputih Paliyan, Gunungkidul. Penelitian dilakukan pada KBS kayuputih di Paliyan selama 2 periode pembungaan dengan mengamati waktu mulai berbunga sampai pembungaan berakhir pada semua pohon. Hasil penelitian menunjukkan ras lahan Gundih memiliki nilai potensi perkawinan silang yang tinggi pada semua periode pembungaan, sementara nilai terendah pada provenan Australia Bagian Utara. Meskipun demikian, provenan lain (Masarete, Rat Gelombang, Waipirit, Pelita Jaya, Cotonea, Suli dan Australia Bagian Barat) memiliki nilai potensi perkawinan silang yang cukup tinggi. Periode pembungaan yang menghasilkan potensi perkawinan silang tertinggi adalah periode B (Januari-Februari), dengan jumlah individu berbunga paling banyak. Secara umum potensi perkawinan silang antar provenan cukup tinggi kecuali provenan dari Australia Bagian Utara. Pengamatan intensitas pembungaan menunjukkan pada bulan Januari akhir memiliki intensitas pembungaan tertinggi. Pemanfaatan benih hasil penyerbukan terbuka dari KBS dapat direkomendasikan apabila nilai potensi perkawinan silangnya cukup tinggi.

**Keywords:**

*Crossing potential*  
*Flowering*  
*Melaleuca cajuputi*  
*Provenance*  
*Seedling seed orchard*

**ABSTRACT**

*There are two possibilities on open pollination: cross pollination and self pollination. This research was aimed to identify cross pollination potential within and among provenance, and to determine the flowering behavior of each provenance in seedling seed orchard of cajuputi at Paliyan, Gunungkidul. The research was conducted based on flowering phenology (start of flowering, end of flowering and duration of flowering in one period) for all flowering trees during two flowering periods. The result showed that there was high crossing potential in seedling seed orchard of cajuputi based on flowering synchrony. Land race of Gundih has highest crossing potential due to longevity and intensity of flowering, while the provenance from Northern Australia has the lowest crossing potential. Other provenances (Masarete, Rat Gelombang, Waipirit, Pelita Jaya, Cotonea, Suli and Western Australia) also have high crossing potential at the time when the number of individual was greatest and flowering intensity highest. This research demonstrated that high crossing potential was found within provenance and among provenances except Northern Australia. The implication of this research deployment of improved seed produced from open pollination in seedling seed orchard was recommended for high crossing potential expressed from flowering synchrony.*

\* Corresponding author. Tel.: +62 87878411904  
E-mail address: [aticka\\_kart@yahoo.com](mailto:aticka_kart@yahoo.com) (N. K. Kartikawati)

## I. PENDAHULUAN

Konsep dasar yang dibangun dalam program pemuliaan tanaman adalah bagaimana mendapatkan benih unggul secara kontinu dan efisien. Upaya untuk mendapat benih unggul dapat dilakukan melalui serangkaian uji keturunan sampai terbangunnya kebun benih. Pada tingkatan yang sudah lanjut strategi pemuliaan akan sampai pada penemuan klon-klon unggul dari kebun pangkas (Zobel & Talbert, 1984). Penggunaan benih unggul dalam pembangunan hutan tanaman dapat meningkatkan produktivitas hutan tanaman. Sumber benih unggul dalam bentuk kebun benih merupakan salah satu kunci keberhasilan pembangunan hutan tanaman. Kegiatan pemanenan benih dari kebun benih selama ini dengan mengandalkan hasil penyerbukan alam atau penyerbukan terbuka karena lebih efisien. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka kebun benih dibangun dengan rancangan tertentu untuk mendorong terjadinya penyerbukan terbuka yang bersifat acak (Varghese *et al.*, 2015).

Terdapat 2 (dua) proses penyerbukan yang terjadi di alam, yaitu penyerbukan silang dan penyerbukan sendiri. Tanaman hutan pada penyerbukan terbuka (alam) melangsungkan sistem perkawinan campuran karena sebagian besar perkawinan terjadi secara acak antar individu dewasa yang dimungkinkan melakukan perkawinan dalam populasi (White *et al.*, 2007). Pada umumnya tanaman hutan berkawin silang (*outcrossing*), hanya sedikit yang mampu melakukan kawin kerabat (*inbreeding*) dan tetap menghasilkan keturunan yang viabel. Secara alami, sistem perkawinan terbagi menjadi beberapa kategori: a) perkawinan silang, silang luar atau menyerbuk silang (*outbreeding/outcrossing*); b) perkawinan kerabat, silang dalam atau menyerbuk sendiri (*inbreeding*); c) perkawinan campuran atau kombinasi antara *outbreeding* dan *inbreeding* (*mixed mating*); d) perkawinan dengan preferensi tertentu yang memiliki kemiripan fenotipe atau genotipe (*assortative mating*); e) perkawinan tidak terjadi pada bentuk-bentuk fenotipe atau genotipe tertentu (*dissortative mating*), misalnya pada fenomena *male sterility* dan *self-incompatibility* (*dissortative mating*) (White *et al.*, 2007)

Secara morfologis, tipe pembungaan pada tanaman kayuputih termasuk bunga hermaphrodit (berkelamin dua) sehingga peluang untuk terjadinya perkawinan sendiri sangat besar. Tanaman kayuputih memiliki sebuah mekanisme untuk menolak terjadinya penyerbukan sendiri, yaitu melalui mekanisme *self incompatibility*. Besarnya nilai *indeks self incompatibility* (Indeks ISI) pada tanaman kayuputih adalah 0,05 (sangat

rendah). Hal ini mengindikasikan bahwa jenis kayuputih adalah jenis tanaman yang tidak cocok berkawin sendiri (Kartikawati, 2005).

Salah satu metode secara morfologis untuk mengidentifikasi pola perkawinan di suatu populasi adalah dengan menghitung besarnya nilai potensi perkawinan silang. Nilai potensi perkawinan silang menggambarkan besarnya kemungkinan individu saling berkawin silang berdasarkan pada fenologi tanaman. Berbagai variasi karakter fenologi dapat mempengaruhi keberhasilan reproduksi dan potensi perkawinan silang termasuk awal pembungaan (Tooke & Battey, 2010) dan sinkroni pembungaan (Alizoti *et al.*, 2010). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi besarnya potensi perkawinan silang dan mengetahui perilaku pembungaan masing-masing provenan di kebun benih semai kayuputih di Paliyan, Gunungkidul.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Lokasi dan Materi Penelitian

Penelitian dilakukan pada kebun benih semai (KBS) kayuputih di Paliyan, Gunungkidul, pada tahun 2010-2011. Letak geografis KBS tersebut adalah 7°59'10,4" LS dan 110°29'10,8" BT, pada ketinggian 150 m di atas permukaan laut, iklim termasuk tipe C menurut Schmidt dan Ferguson, dengan curah hujan rerata 2.100 mm/tahun (Dinas TPP, 2010). KBS kayuputih dibangun pada tahun 1998, terdiri dari 19 famili, 10 blok dan 10 pohon per plot dengan jarak tanam 3 m x 1,5 m. KBS tersebut merupakan konversi dari uji keturunan setelah dilakukan seleksi. Posisi pohon yang masih tertinggal di KBS kayuputih di Paliyan dapat dilihat pada Gambar 1.

### B. Prosedur Pelaksanaan dan Variabel Pengamatan

#### 1. Pengamatan fenologi pembungaan

Status pembungaan dari 160 pohon yang ada di KBS kayuputih diamati selama dua periode pembungaan yaitu Nopember 2010 - Mei 2011 dan Nopember 2011 - Mei 2012. Pengamatan dilakukan pada awal pembungaan sampai dengan akhir pembungaan. Pengamatan dilakukan dua kali seminggu. Data informasi penyusun KBS kayu putih di Paliyan disajikan pada Tabel 1.

#### 2. Potensi perkawinan silang selama periode pembungaan

Penelitian ini menggunakan asumsi bahwa kontribusi pohon dalam lungkang gen jantan dan betina adalah sama dan diprediksi dengan durasi waktu pembungaan dalam satu periode pembungaan. Besarnya kontribusi pohon dalam lungkang gen dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Chaix *et al.*, 2007):

$$P_{jk} = \sum_i D_{ijk} / \sum_j \sum_i D_{ijk} \quad (1)$$

Keterangan:

$P_{jk}$  = kontribusi relatif pada populasi gamet jantan atau gamet betina dari provenan j selama periode k (dengan  $\sum_j P_{jk} = 1$ )

$D_{ijk}$  = durasi pembungaan untuk pohon  $i$  dari provenan  $j$  selama periode  $k$

$\sum_i D_{ijk}$  = total durasi pembungaan untuk provenan  $j$  selama periode  $k$

$\sum_j \sum_i D_{ijk}$  = total durasi pembungaan untuk semua provenan selama periode  $k$

Pada penyerbukan terbuka terdapat dua kemungkinan perkawinan yaitu perkawinan sendiri dan perkawinan silang dengan asumsi tidak ada preferensi untuk memilih pasangan (*random mating*). Peluang terjadinya perkawinan silang diantara dua pohon dari dua provenan selama periode  $k$  adalah sebagai berikut:

$$C_{jjk} = P_{jk}^2 \quad (2)$$

$$C_{jj'k} = 2P_{jk} \times P_{j'k} \quad (3)$$

Dengan

$$\sum C_{jjk} + \sum C_{jj'k} = 1 \quad (4)$$

Sedangkan kontribusi untuk provenan  $j$  dihitung dengan rumus berikut:

$$C_{jjk} = (N_{jk} / \sum_j N_{jk})^2 \quad (5)$$

$$C_{jj'k} = 2 \left( (N_{jk} / \sum_j N_{jk}) (N_{j'k} / \sum_j N_{j'k}) \right) \quad (6)$$

Keterangan:

$C_{jjk}$  = perkawinan dalam provenan selama periode  $k$

$C_{jj'k}$  = perkawinan antar provenan selama periode  $k$

$N_{jk}$  = jumlah total pohon berbunga untuk provenan  $j$  selama periode  $k$

$\sum_j N_{jk}$  = jumlah total pohon berbunga dari seluruh provenan selama periode  $k$

$N_{jk} / \sum_j N_{jk}$  = representasi provenan  $j$  untuk periode  $k$

### 3. Analisis Data

Analisis varian dilakukan dengan menggunakan rancangan acak blok dengan model sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + P_j + \epsilon_{ijk} \quad (7)$$

Keterangan:

$Y_{ijk}$  = Pengamatan pada blok ke  $i$  dan provenan ke  $j$  pada ulangan ke  $k$ ;

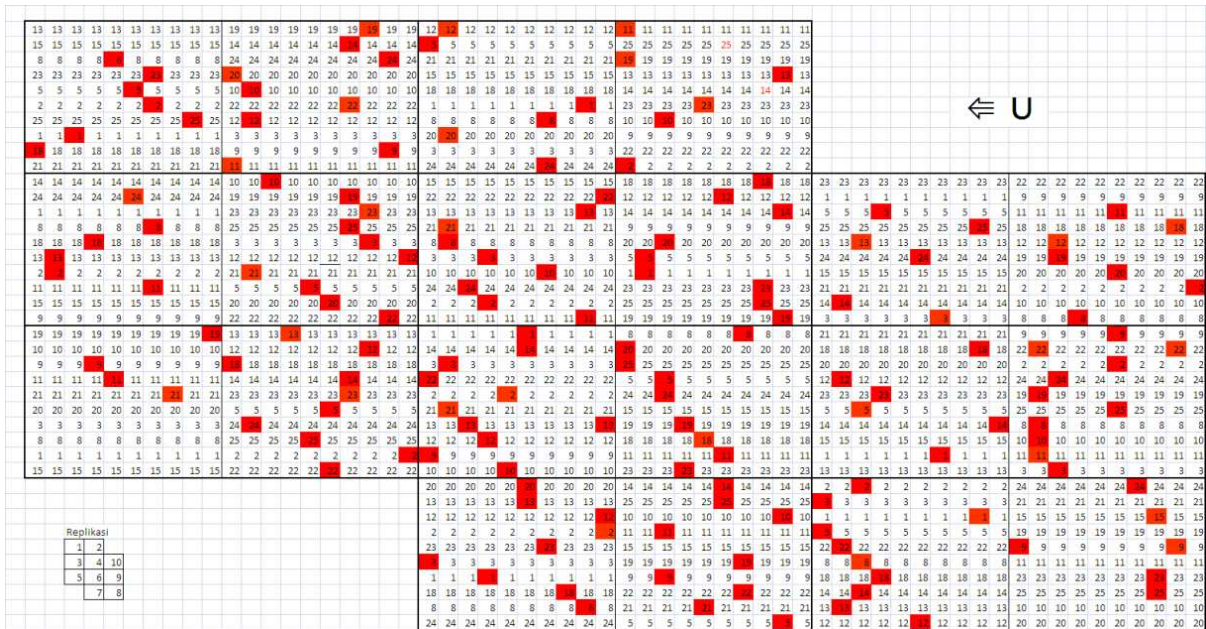
$\mu$  = Nilai rata-rata umum;

$R_i$  = Pengaruh blok ke  $i$

$P_j$  = Pengaruh provenan ke  $j$ ;

$\epsilon_{ijk}$  = Random error pada blok ke  $i$ , provenan ke  $j$  dan ulangan ke  $k$

Apabila hasil analisis ragam menunjukkan perbedaan yang nyata kemudian dilakukan uji lanjut berganda Duncan (DMRT).



**Keterangan:** Blok merah = pohon induk

**Remark:** Red block = mother tree

**Gambar 1.** Posisi pohon induk pada KBS kayuputih di Paliyan.

**Figure 1.** Parent trees position in cajuputi seedling seed orchard at Paliyan

**Tabel 1.** Informasi materi genetik pada KBS kayuputih di Paliyan

**Table 1.** Information of genetic material of cajuputi seedling seed orchard at Paliyan

No.	Provenan/Ras lahan (Provenance/Land race)	Jumlah famili (Number of family)	Garis Lintang (LS) (Longitude)	Garis Bujur (BT) (Latitude)	Tinggi tempat (dpl) m (Altitude)
1.	Masarete, Buru	3	03°22'38"	127°08'12"	20
2.	Rat Gelombang, Buru	2	03°08'33"	126°54'36"	40
3.	Waipirit, Seram	1	03°19'43"	128°20'20"	10
4.	Pelita Jaya, Seram	3	03°03'00"	128°08'00"	100
5.	Cotonea	3	03°04'22"	128°08'00"	30
6.	Suli, Ambon	1	03°37'02"	128°18'40"	60
7.	Australia Bagian Utara	2	13°09'	130°35'	30
8.	Australia Bagian Barat	3	16°58'33"	122°40'04"	10
9.	Gundih, Jawa Tengah	1	07°11'07"	110°54'19"	60

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Perilaku Pembungaan pada KBS Kayuputih

Laju pembungaan menunjukkan kemampuan individu dalam memproduksi bunga dalam satu periode pembungaan. Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan bahwa dalam dua periode pembungaan, rangking laju pembungaan dan kontribusi provenan dalam pembungaan cenderung sama. Provenan dari Australia Bagian Barat dalam dua pengamatan menunjukkan rangking paling bawah. Sementara provenan dari Rat Gelombang (Buru) pada pengamatan kedua terjadi perubahan laju pembungaan.

Pada lahan-lahan yang subur di Pulau Jawa, tanaman kayuputih mulai berbunga pada umur 1,5 tahun. Beberapa penelitian terhadap siklus reproduksi tanaman menyebutkan bahwa keberhasilan reproduksi suatu tanaman

dipengaruhi oleh ukuran dan umur tanaman (Colautti & Barrett, 2010; Pirez-Ramos *et al.*, 2014; Norghauer & Newbery, 2015). Pada saat dilakukan pengamatan, KBS kayuputih di Paliyan berumur 12 tahun dan 13 tahun dan semua provenan dapat menghasilkan bunga dan buah. Terdapat provenan yang masa pembungaannya lebih lambat (Kartikawati, 2015).

#### B. Perilaku Spesifik Provenan

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa masing-masing provenan/ras lahan mempunyai perilaku spesifik. Hasil analisis ragam terhadap perilaku pembungaan menunjukkan perbedaan antar provenan/ras lahan, baik waktu mulai berbunga, akhir berbunga dan lama pembungaan. Hasil uji lanjutan (DMRT) terhadap perbedaan antar provenan/ras lahan disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

**Tabel 2.** Laju pembungaan (%) dan kontribusi pembungaan (%) pada KBS kayuputih di Paliyan dalam 2 periode pembungaan (2010-2011)

**Table 2.** Flowering rate (%) and contribution (%) in cajuputi seedling seed orchard at Paliyan during 2 flowering periods (2010-2011)

No.	Provenan/Ras lahan (Provenance/Land race)	2010		2011	
		Laju pembungaan (Flowering rate)	Kontribusi (Contribution rate)	Laju pembungaan (Flowering rate)	Kontribusi (Contribution rate)
1.	Masarete, Buru	96,55	17,5	96,55	0,175
2.	Rat Gelombang, Buru	100,00	8,75	92,85	8,125
3.	Waipirit, Seram	100,00	5,62	100,00	5,625
4.	Pelita Jaya, Seram	95,65	13,75	100,00	13,75
5.	Cotonea	96,29	16,25	100,00	16,25
6.	Suli, Ambon	88,88	5,00	100,00	5,62
7.	Australia Bagian Utara	76,47	8,12	76,47	8,12
8.	Australia Bagian Barat	52,17	7,50	63,63	8,75
9.	Gundih, Jawa Tengah	100,00	5,62	100,00	5,625

**Tabel 3.** Rata-rata perilaku spesifik provenan/ras lahan di kebun benih semai kayuputih pada tahun 2010  
**Table 3.** Mean of flowering behavior for each provenance/land race at cajuputi seedling seed orchard in 2010

No.	Provenan/Ras lahan (Provenance/Land race)	Jumlah famili (Number of family)	Waktu mulai berbunga (minggu ke) (Start of flowering)	Waktu berbunga akhir (minggu ke) (End of flowering)	Lama waktu berbunga (minggu) (Duration of flowering)
1.	Masarete, Buru	3	2,6 <sup>bc</sup>	25,0 <sup>b</sup>	23,2 <sup>b</sup>
2.	Rat Gelombeng, Buru	2	4,0 <sup>b</sup>	17,2 <sup>c</sup>	14,2 <sup>c</sup>
3.	Waipirit, Seram	1	2,6 <sup>bc</sup>	15,6 <sup>c</sup>	14,0 <sup>c</sup>
4.	Pelita Jaya, Seram	3	3,0 <sup>bc</sup>	16,8 <sup>c</sup>	14,8 <sup>c</sup>
5.	Cotonea	3	3,1 <sup>bc</sup>	16,2 <sup>c</sup>	14,1 <sup>c</sup>
6.	Suli, Ambon	1	2,3 <sup>bc</sup>	15,2 <sup>c</sup>	13,8 <sup>c</sup>
7.	Australia Bagian Utara	2	7,0 <sup>a</sup>	16,3 <sup>c</sup>	10,3 <sup>d</sup>
8.	Australia Bagian Barat	3	3,0 <sup>bc</sup>	14,4 <sup>c</sup>	12,4 <sup>cd</sup>
9.	Gundih, Jawa Tengah	1	1,5 <sup>c</sup>	28,1 <sup>a</sup>	27,5 <sup>a</sup>

**Tabel 4.** Rata-rata perilaku spesifik provenan/ras lahan di kebun benih semai kayuputih pada tahun 2011.  
**Table 4.** Mean of flowering behavior for each provenance/land race at cajuputi seeding seed orchard in 2011

No.	Provenan/Ras lahan (Provenance/Land race)	Jumlah famili (Number of family)	Waktu mulai berbunga (minggu ke) (Start of flowering)	Waktu berbunga akhir (minggu ke) (End of flowering)	Lama waktu berbunga (minggu) (Duration of flowering)
1.	Masarete, Buru	3	4,2 <sup>bc</sup>	21,2 <sup>a</sup>	18,0 <sup>b</sup>
2.	Rat Gelombeng, Buru	2	5,1 <sup>b</sup>	20,9 <sup>ab</sup>	16,7 <sup>b</sup>
3.	Waipirit, Seram	1	3,0 <sup>c</sup>	20,0 <sup>abc</sup>	18,0 <sup>b</sup>
4.	Pelita Jaya, Seram	3	4,4 <sup>bc</sup>	20,4 <sup>ab</sup>	17,4 <sup>b</sup>
5.	Cotonea	3	4,6 <sup>bc</sup>	19,6 <sup>abc</sup>	16,0 <sup>bc</sup>
6.	Suli, Ambon	1	3,8 <sup>bc</sup>	17,3 <sup>c</sup>	17,2 <sup>b</sup>
7.	Australia Bagian Utara	2	7,9 <sup>a</sup>	17,2 <sup>c</sup>	10 <sup>d</sup>
8.	Australia Bagian Barat	3	5,3 <sup>b</sup>	18,3 <sup>bc</sup>	14 <sup>c</sup>
9.	Gundih, Jawa Tengah	1	1,0 <sup>d</sup>	22,3 <sup>a</sup>	22,3 <sup>a</sup>

Untuk menghasilkan peningkatan genetik yang tinggi sebaiknya KBS dibangun menggunakan materi genetik dengan basis genetik yang luas. Konsekuensinya fenomena yang seringkali ditemukan di lapangan pada KBS yang dibangun dengan sistim populasi tunggal (menggabungkan beberapa provenan dalam satu populasi) adalah masing-masing provenan/ras lahan masih membawa perilaku spesifik dari sebaran asalnya (Pinyopusarerk & Williams, 2000). Kondisi yang sama juga ditemukan pada penelitian ini, pola pembungaan provenan dari Australia Bagian Utara mengalami keterlambatan berbunga dibandingkan dengan provenan lainnya. Fenomena ini kemungkinan karena pola pembungaan suatu jenis dapat bervariasi dari waktu ke waktu dan dari satu tempat ke tempat lain (Khanduri, *et al.*, 2013). Faktor lingkungan abiotik seperti suhu dan ketersediaan air (Lesica & Kittelson, 2010; Giménez Benavides *et al.*, 2010) panjang hari (Richardson *et al.*, 2013) maupun

faktor biotik seperti kelimpahan agen penyerbuk (Kilkenny & Galloway, 2008) dan interaksi keduanya mempunyai pengaruh yang kuat terhadap keberhasilan reproduksi suatu jenis.

Secara umum, pola pembungaan suatu jenis merupakan hasil interaksi antara faktor genetik dan lingkungan (Rosas *et al.*, 2011; Galloway & Burgess, 2012). Sementara penelitian yang dapat memisahkan antara kedua faktor tersebut masih sangat terbatas, terutama untuk jenis-jenis tanaman kehutanan (Johnson, 2007). Pada program pemuliaan, pemahaman variasi genetik yang mengontrol perbedaan karakteritik pembungaan suatu jenis sangat membantu untuk mengidentifikasi dan menyeleksi sifat-sifat penting seperti persentase pembungaan, durasi waktu untuk mencapai tingkat kemasakan benih maupun puncak pembungaan untuk mengetahui persebaran serbuk sari (Jones *et al.*, 2011).

Tabel 2 dan 3 menunjukkan bahwa ras lahan Gundih mempunyai masa pembungaan lebih awal

dibandingkan provenan lain. Masa pembungaan yang relatif lama ini memberikan peluang untuk dapat berkawin silang dengan banyak pohon yang memiliki waktu pembungaan yang sama. Di sisi lain, jika pembungaan provenan ini tidak sinkron dengan provenan lain di kebun benih maka berpotensi terjadinya perkawinan kerabat (*inbreeding*). Provenan dari Australia Bagian Utara menunjukkan perilaku pembungaan yang sangat lambat. Pengamatan dalam dua periode pembungaan menunjukkan konsistensi keterlambatan berbunga pada provenan/ras lahan, hal ini diduga berkaitan dengan adaptasi ekologis. Provenan tersebut memperlihatkan adaptasi ekologis yang rendah terhadap lingkungan tempat KBS ini dibangun. Dalam kaitannya dengan produksi benih dari KBS, pembungaan yang tidak sinkron ini dapat menurunkan kualitas genetik dari benih yang dihasilkan. Pohon-pohon yang pembungaannya lebih awal atau lebih akhir dari pohon-pohon lain dalam suatu populasi, berpotensi terjadinya penyerbukan dalam satu pohon (*geitonogami*) maupun kawin kerabat (*inbreeding*) (Albert *et al.*, 2008).

### **C. Potensi perkawinan silang berdasarkan periode pembungaan**

Potensi perkawinan silang dalam maupun antar provenan/ras lahan berdasarkan periode pembungaan dan probabilitas perkawinan antar provenan/ras lahan sangat dimungkinkan (Lampiran 1 & 2). Seluruh provenan/ras lahan dapat memproduksi bunga selama pengamatan berlangsung. Pada periode A, jumlah pohon berbunga 36-100 pohon. Hal ini menunjukkan perkawinan silang dalam dari 2 (dua) tahun pengamatan (2010-2011) yang paling baik adalah dari ras lahan Gundih. Perkawinan silang antar provenan/ras lahan yang paling baik adalah antara ras lahan Gundih (Jawa Tengah) dengan provenan Masarete (Pulau Buru) dan ras lahan Gundih dengan Pelita Jaya (Seram). Pada periode B dan C, jumlah pohon berbunga mengalami peningkatan menjadi 128-143 pohon dari 160 pohon. Hal ini menunjukkan kenaikan nilai potensi perkawinan silang baik di dalam provenan/ras lahan maupun antar provenan/ras lahan. Sementara periode D, nilai potensi perkawinan silang kembali menurun seiring dengan penurunan jumlah pohon yang berbunga (8-32 pohon).

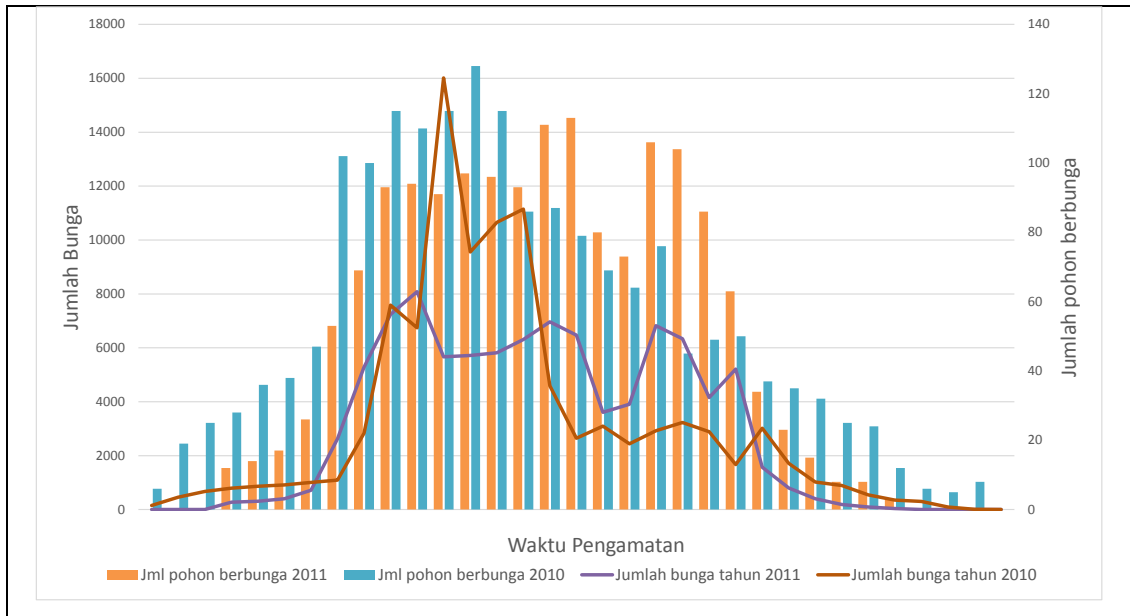
Secara umum, ras lahan Gundih memiliki nilai potensi perkawinan silang yang tinggi pada semua periode, baik di dalam maupun antar provenan/ras lahan. Pembungaan yang melimpah dan durasi waktu yang lama menjadikan ras lahan Gundih memiliki nilai potensi perkawinan silang yang tinggi. Tipe tanah antara Gudih dan

Gunungkidul hampir sama, yaitu tipe grumusol dan mediteran merah-cokelat sehingga ras lahan Gundih dapat mudah beradaptasi. Sementara itu provenan dari Australia Bagian Utara memiliki nilai potensi perkawinan silang yang rendah karena produksi bunga yang sedikit dan keterlambatan berbunga jika dibanding dengan provenan lain. Satu hal yang perlu diperhatikan adalah waktu mulai berbunga pada ras lahan Gundih yang mendahului provenan lain dan keterlambatan berbunga pada provenan Australia Bagian Utara. Nilai perkawinan silang dalam provenan/ras lahan yang tinggi pada ras lahan Gundih sangat dimungkinkan karena terjadinya perkawinan kerabat yang disebabkan oleh jumlah famili dari Gundih hanya satu dengan 10 ulangan dari famili yang sama. Hal ini yang menyebabkan peluang terjadinya kawin kerabat sangat besar.

Hasil penelitian secara molekuler (Kartikawati *et al.*, 2013) pada KBS yang sama menunjukkan tingkat perkawinan silang (*outcrossing rate = tm*) cukup tinggi yaitu sebesar 0,96. Hasil penelitian tersebut sejalan dengan hasil penelitian ini, yang dilakukan berdasarkan pengamatan fenologi pada KBS kayuputih di Paliyan. Potensi perkawinan silang sangat berkaitan erat dengan sinkronisasi pembungaan dalam suatu populasi (Chen & Hsu, 2011). Sinkronisasi pembungaan di KBS Paliyan dilaporkan relatif serentak, dicerminkan dari kontribusi individu yang cukup tinggi (> 70%) dan nilai indeks *overlapping* rata-rata diatas 0,9 (Kartikawati, 2015). Penelitian serupa pada jenis *Eucalyptus grandis* menunjukkan hasil yang sama baik berdasarkan fenologi maupun molekuler (Chaix *et al.*, 2003; Chaix *et al.*, 2007).

### **D. Intensitas Pembungaan**

Intensitas pembungaan yang diamati dalam 2 periode pembungaan menunjukkan fluktuasi dari waktu ke waktu (Gambar 2). Pengamatan tahun pertama (tahun 2010) intensitas pembungaan tertinggi dicapai pada Januari minggu ke-3 dan terendah pada bulan Juni. Pada tahun kedua, intensitas pembungaan tertinggi terjadi pada bulan Januari minggu ke-2. Hal ini menunjukkan bahwa dalam 2 periode pengamatan pembungaan intensitas pembungaan tertinggi pada tanaman kayuputih pada KBS di Gunungkidul terjadi pada bulan Januari. Gambar 2 menunjukkan bahwa intensitas pembungaan tertinggi tidak selalu terjadi pada saat jumlah individu yang berbunga banyak. Pada pengamatan bulan Januari minggu ke-4 tahun 2010 jumlah individu berbunga mencapai 128 pohon, namun intensitas pembungaan lebih rendah jika dibanding pengamatan pada bulan Januari minggu ke-3.



**Gambar 2.** Intensitas pembungaan dan jumlah pohon berbunga dalam 2 periode pengamatan (tahun 2010 dan tahun 2011) pada KBS kayuputih di Paliyan.

**Figure 2.** Flowering intensity and number of flowering trees at cajuputi seedling seed orchard at Paliyan (2010 and 2011)

Intensitas pembungaan sangat berkaitan erat dengan sinkronisasi pembungaan dan perilaku polinator dalam menyebarkan serbuk sari (Albert *et al.*, 2008). Ketika tanaman-tanaman pada kebun benih memproduksi bunga dalam waktu yang serempak dan jumlah bunga yang melimpah, maka akan menarik bagi polinator untuk datang dan hinggap pada bunga-bunga. Jumlah bunga yang melimpah dan jumlah pohon berbunga yang banyak merupakan sumber makanan dan aktivitas lainnya bagi polinator. Perilaku polinator dalam menghinggap bunga dan mobilitas polinator dari satu pohon ke pohon yang lain sangat berpengaruh terhadap keberhasilan produksi kebun benih.

Selain dipengaruhi oleh faktor lingkungan, produksi bunga dipengaruhi oleh faktor genetik, yaitu hormon sitokinin yang berperan dalam mengendalikan produksi bunga (Bartrina *et al.*, 2011). Hormon ini bekerja sebagai stimulator dalam peningkatan energi metabolisme yang sangat diperlukan dalam pembentukan kuncup bunga. Peningkatan jumlah individu berbunga dalam suatu populasi tidak selalu meningkatkan intensitas pembungaan, tetapi jumlah individu berbunga lebih berpengaruh terhadap keragaman benih yang dihasilkan dari suatu populasi (Chaix *et al.*, 2007). Intensitas pembungaan yang meningkat akan menarik polinator untuk datang dan menyerbuki bunga dalam suatu populasi sehingga potensi perkawinan silang akan meningkat (Kudo, 2014; Petanidou *et al.*, 2014).

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

Potensi perkawinan silang antar provenan/ras lahan di KBS kayuputih cukup tinggi dengan nilai di atas 0.10, laju pembungaan di atas 89%. Secara umum provenan/ras lahan dalam KBS menunjukkan respon adaptabilitas yang bagus, kecuali provenans dari Australia Bagian Utara. Tingginya potensi perkawinan silang mengindikasikan bahwa pengelolaan KBS dengan mengandalkan hasil persilangan terbuka efektif dan efisien dalam produksi benih yang berkualitas.

##### B. Saran

Provenan yang pola pembungaannya tidak sinkron dengan provenan yang lain perlu dilakukan pemberian hormon untuk memacu pembungaan lebih awal sehingga dapat sinkron dengan provenan lain.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr Anto Rimabwanto yang telah membimbing dalam menyusun publikasi, Sunaryanto dan Sunar sebagai petugas lapangan yang telah membantu mengoleksi data selama penelitian ini dilakukan.

#### DAFTAR PUSTAKA

Albert, J. , Iriundo, J. , Escudero, A., & Torres, E. (2008). Dissecting components of flowering pattern: size effect on female fitness. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 156, 227-236.

- Alizoti, P. G., Kilimis, K., & Gallios, P. (2010). Temporal and spatial variation of flowering among *Pinus nigra* Arn. clones under changing climatic conditions. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 786–797. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.06.029>
- Bartrina, I., Otto, E., Strnad, M., Werner, T., & Schmulling, T. (2011). Cytokinin regulates the activity of reproductive meristems, flower organ size, ovule formation, and thus seed yield in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Cell*, 23, 69–80.
- Chaix, Gerber, S., Razafimaharo, V., Vigneron, P., Verhaegen, D., & Hamon, S. (2003). Gene flow estimation with microsatellites in a Malagasy seed orchard of *Eucalyptus grandis*. *Theoretical and Applied Genetics*, 107(4), 705–712. <http://doi.org/10.1007/s00122-003-1294-0>
- Chaix, G., Vigneron, P., Razafimaharo, V., & Hamon, S. (2007). Are phenological observations sufficient to estimate the quality of seed crops from a *Eucalyptus grandis* open-pollinated seed orchard? Consequences for seed collections. *New Forests*, 33(1), 41–52. <http://doi.org/10.1007/s11056-006-9012-9>
- Chen, Y. Y., & Hsu, S. B. (2011). Synchronized reproduction promotes species coexistence through reproductive facilitation. *Journal of Theoretical Biology*, 274(1), 136–144. <http://doi.org/10.1016/j.jtbi.2011.01.013>
- Colautti, R. I., & Barrett, S. C. H. (2010). Natural selection and genetic constraints on flowering phenology in an invasive plant. *International Journal of Plant Sciences*, 171(9), 960–971. <http://doi.org/10.1086/656444>
- Dinas Tanaman Pangan dan Perikanan, (2010). Data Curah Hujan Kabupaten Gunungkidul. Gunungkidul.
- Galloway, L. & Burgess, K. (2012). Artificial selection on flowering time; influence on reproductive phenology across natural light environments. *Journal of Ecology*, 100, 852–861. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2012.01967.x>
- Giménez-Benavides, L., García-Camacho, R., Iriando, J. M., & Escudero, A. (2010). Selection on flowering time in Mediterranean high-mountain plants under global warming. *Evolutionary Ecology*, 25(4), 777–794. <http://doi.org/10.1007/s10682-010-9440-z>
- Johnson, M. T. (2007). Genotype-by-environment interactions leads to variable selection on life-history strategy in common evening primrose (*Oenothera biennis*). *J. Evol. Biol.*, 20, 190–200.
- Jones, R. C., Vaillancourt, R. E., Gore, P. L., & Potts, B. M. (2011). Genetic control of flowering time in *Eucalyptus globulus* ssp *globulus*. *Tree Genetics & Genomes*, 7(6), 1209–1218. <http://doi.org/10.1007/s11295-011-0407-1>
- Kartikawati, N.K. (2005). Tingkat inkompatibilitas bersilang sendiri pada tanaman kayuputih. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 2(3), 141–147.
- Kartikawati, N.K. (2015). Indeks overlap dan sinkroni pembungaan dalam kebun benih kayuputih Paliyan, Gunungkidul. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*, 9(2), 103–115.
- Kartikawati, N.K., Naiem, M., Hardiyanto, & Rimbawanto, A. (2013). Improvement of seed orchard management based on mating system of cajuputi trees. *Indonesian Journal of Biotechnology*, 18(1), 26–35.
- Khanduri, V.P., Sharma, C. M., Kumar, K. S., & Ghildiyal, S. K. (2013). Annual variation in flowering phenology, pollination, mating system, and pollen yield in two natural populations of *Schima wallichii* (DC.) korth. *The Scientific World Journal*, 2013. <http://doi.org/10.1155/2013/350157>
- Kilkenny, F., & Galloway, L. (2008). Reproductive success in varying light environments: direct and indirect effect of light on plants and pollinators. *Oecologia*, 155, 247–255.
- Kudo, G. (2014). Vulnerability of phenological synchrony between plants and pollinators in an alpine ecosystem. *Ecological Research*, 29(4), 571–581. <http://doi.org/10.1007/s11284-013-1108-z>
- Lesica, P., & Kittelson, P. M. (2010). Precipitation and temperature are associated with advanced flowering phenology in a semi-arid grassland. *Journal of Arid Environments*, 74(9), 1013–1017. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.02.002>
- Norghauer, J. M., & Newbery, D. M. (2015). Tree size and fecundity influence ballistic seed dispersal of two dominant mast-fruiting species in a tropical rain forest. *Forest Ecology and Management*, 338, 100–113. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.11.005>
- Petanidou, T., Kallimanis, A. S., Sgardelis, S. P., Mazaris, A. D., Pantis, J. D., & Waser, N.M. (2014). Variable flowering phenology and pollinator use in a community suggest future phenological mismatch. *Acta Oecologica*, 59, 104–111. <http://doi.org/10.1016/j.actao.2014.06.001>
- Pinyopusarerk, K., & Williams, E.R. (2000). Range-wide provenance variation in growth and morphological characteristics of *Casuarina equisetifolia* grown in Northern Australia. *Forest Ecology and Management*, 134(1-3), 219–232. [http://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00260-1](http://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00260-1)
- Pirez-Ramos, I. M., Aponte, C., Garcia, L. V., Padilla-Diaz, C. M., Maranon, T., & Delzon, S. (2014). Why is seed production so variable among individuals? A ten-year study with oaks reveals the importance of soil environment. *PLoS ONE*, 9(12), 1–18. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0115371>
- Richardson, A., Keenana, T., Migliavaccab, M., Ryua, Y., Sonnentaga, O., & Toomeya, M. (2013). Climate change, phenology, and phenological control of vegetative feedbacks to the climate system. *Agric. For, Meteorol*, 169, 156–157.



- Rosas, M., Ollerton, J., & Tabla, V. (2011). Phenotypic selection on flowering phenology and size in two dioecious plant species with different pollen vector. *Plant Species Biology*, 26, 205–212.
- Tooke, F., & Battey, N. (2010). Temperate flowering phenology. *Journal of Eksperimental Botany*, 61(11), 2853–2862.
- Varghese, C., Varghese, E., Jaggi, S., & Bhowmik, A. (2015). Eksperimental design for open pollination in polycross trials. *Journal of Applied Statistic*, 42(11), 2478–2484.
- White, T.L., Adams, W. T., & Neale, D. B. (2007). *Forest Genetics*. Oxfordshire: CABI Publishing.
- Zobel, B. J., & Talbert, J. (1984). *Applied forest tree improvement*. New York: John Wiley and Sons.

**Lampiran 1.** Potensi perkawinan silang di kebun benih semai kayuputih, Paliyan pada pengamatan tahun pertama (2010)

**Appendix 1.** Crossing potential at cajuputi seedling seed orchard (2010)

Periode	Provenans	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	1	0.0188								
	2	0.0150	0.0030							
	3	0.0263	0.0105	0.0092						
	4	0.0375	0.0150	0.0263	0.0188					
	5	0.0263	0.0105	0.0184	0.0263	0.0092				
	6	0.0263	0.0105	0.0184	0.0263	0.0184	0.0092			
	7	0.0075	0.0030	0.0053	0.0075	0.0053	0.0053	0.0008		
	8	0.0188	0.0075	0.0131	0.0188	0.0131	0.0131	0.0038	0.0047	
	9	0.0788	0.0315	0.0552	0.0788	0.0552	0.0552	0.0158	0.0394	0.0828
B	1	0.0190								
	2	0.0271	0.0097							
	3	0.0379	0.0271	0.0190						
	4	0.0271	0.0193	0.0271	0.0097					
	5	0.0379	0.0271	0.0379	0.0271	0.0190				
	6	0.0379	0.0271	0.0379	0.0271	0.0379	0.0190			
	7	0.0063	0.0045	0.0063	0.0045	0.0063	0.0063	0.0005		
	8	0.0253	0.0181	0.0253	0.0181	0.0253	0.0253	0.0042	0.0084	
	9	0.0379	0.0271	0.0379	0.0271	0.0379	0.0379	0.0063	0.0253	0.0190
C	1	0.0183								
	2	0.0438	0.0263							
	3	0.0219	0.0263	0.0066						
	4	0.0365	0.0438	0.0219	0.0183					
	5	0.0313	0.0376	0.0188	0.0313	0.0134				
	6	0.0292	0.0351	0.0175	0.0292	0.0250	0.0117			
	7	0.0073	0.0088	0.0044	0.0073	0.0063	0.0058	0.0007		
	8	0.0219	0.0263	0.0131	0.0219	0.0188	0.0175	0.0044	0.0066	
	9	0.0417	0.0501	0.0250	0.0417	0.0358	0.0334	0.0083	0.0250	0.1257
D	1	0.0392								
	2	0.0523	0.0262							
	3	0.0262	0.0174	0.0785						
	4	0.0785	0.0523	0.0262	0.0392					
	5	0.0262	0.0174	0.0087	0.0262	0.0044				
	6	0.0112	0.0075	0.0037	0.0112	0.0037	0.0008			
	7	0.0262	0.0174	0.0087	0.0262	0.0087	0.0037	0.0044		
	8	0.0187	0.0125	0.0062	0.0187	0.0062	0.0027	0.0062	0.0022	
	9	0.0785	0.0523	0.0262	0.0785	0.0262	0.0112	0.0262	0.0187	0.0392
semua periode	1	0.0459								
	2	0.0432	0.0072							
	3	0.0475	0.0139	0.0047						
	4	0.1207	0.0352	0.0352	0.0252					
	5	0.1921	0.0560	0.0560	0.1281	0.0333				
	6	0.1358	0.0396	0.0396	0.0905	0.1075	0.0040			
	7	0.2236	0.0652	0.0652	0.1491	0.1771	0.0745	0.0044		
	8	0.2236	0.0652	0.0652	0.1491	0.1771	0.0745	0.0280	0.0067	
	9	0.4752	0.1386	0.1386	0.3168	0.3762	0.1584	0.0594	0.1584	0.0063

**Lampiran 2.** Potensi perkawinan silang di kebun benih kayuputih, Paliyan pada pengamatan tahun kedua (2011)

**Appendix 2.** Crossing potential at cajuputi seedling seed orchard (2011)

Periode	Provenans	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	1	0.0130								
	2	0.0148	0.0042							
	3	0.0259	0.0148	0.0130						
	4	0.0389	0.0222	0.0389	0.0291					
	5	0.0185	0.0106	0.0185	0.0278	0.0066				
	6	0.0185	0.0106	0.0185	0.0278	0.0132	0.0066			
	7	0.0074	0.0042	0.0074	0.0111	0.0053	0.0053	0.0011		
	8	0.0222	0.0127	0.0222	0.0333	0.0159	0.0159	0.0063	0.0095	
	9	0.0555	0.0317	0.0555	0.0833	0.0397	0.0397	0.0159	0.0476	0.0595
B	1	0.0169								
	2	0.0339	0.0169							
	3	0.0339	0.0339	0.0169						
	4	0.0339	0.0339	0.0339	0.0169					
	5	0.0339	0.0339	0.0339	0.0339	0.0169				
	6	0.0271	0.0271	0.0271	0.0271	0.0271	0.0108			
	7	0.0097	0.0097	0.0097	0.0097	0.0097	0.0077	0.0014		
	8	0.0203	0.0203	0.0203	0.0203	0.0203	0.0163	0.0058	0.0061	
	9	0.0339	0.0339	0.0339	0.0339	0.0339	0.0271	0.0097	0.0203	0.0169
C	1	0.0196								
	2	0.0392	0.0196							
	3	0.0392	0.0392	0.0196						
	4	0.0392	0.0392	0.0392	0.0196					
	5	0.0336	0.0336	0.0336	0.0336	0.0144				
	6	0.0157	0.0157	0.0157	0.0157	0.0134	0.0031			
	7	0.0112	0.0112	0.0112	0.0112	0.0096	0.0045	0.0016		
	8	0.0235	0.0235	0.0235	0.0235	0.0202	0.0094	0.0067	0.0071	
	9	0.0392	0.0392	0.0392	0.0392	0.0336	0.0157	0.0112	0.0235	0.1242
D	1	0.0211								
	2	0.0304	0.0304							
	3	0.0304	0.0219	0.0423						
	4	0.0423	0.0304	0.0304	0.0211					
	5	0.0237	0.0170	0.0170	0.0237	0.0066				
	6	0.0203	0.0146	0.0146	0.0203	0.0114	0.0049			
	7	0.0169	0.0122	0.0122	0.0169	0.0095	0.0081	0.0034		
	8	0.0254	0.0183	0.0183	0.0254	0.0142	0.0122	0.0101	0.0076	
	9	0.0592	0.0426	0.0426	0.0592	0.0331	0.0284	0.0237	0.0355	0.0414
semua periode	1	0.0451								
	2	0.0344	0.0096							
	3	0.0323	0.0119	0.0035						
	4	0.1116	0.0411	0.0353	0.0214					
	5	0.1568	0.0578	0.0495	0.1568	0.0377				
	6	0.1108	0.0408	0.0350	0.1108	0.1108	0.0044			
	7	0.2053	0.0756	0.0648	0.2053	0.2053	0.0864	0.0041		
	8	0.2053	0.0756	0.0648	0.2053	0.2053	0.0864	0.0324	0.0075	
	9	0.3878	0.1429	0.1224	0.3878	0.3878	0.1633	0.0612	0.1837	0.0053