

## VI. POLA PERKAWINAN

Banyak pola-pola perkawinan telah dianjurkan untuk pohon-pohon hutan. Tetapi secara umum, pola perkawinan dapat dibedakan menjadi 2 hal :

1. Pola keturunan yang tidak lengkap (incomplete pedigree design) dalam hal ini hanya satu induk yang diketahui
2. Pola keturunan yang lengkap (complete pedigree design) yaitu kedua induk diketahui.

### 6.1. Incomplete Pedigree Design

#### Open Pollinated Mating

Langkah yang paling mudah dan murah untuk menciptakan keturunan dari suatu populasi adalah keturunan yang merupakan hasil dari penyerbukan bebas atau penyerbukan dengan pertolongan angin dari pohon-pohon induk yang terseleksi. Cara yang sederhana ini dimulai dari pengumpulan biji hasil penyerbukan bebas dari pohon-pohon induk yang kemudian dilakukan pengujian. Biji-biji yang dimaksud boleh jadi dikumpulkan dari pohon-pohon induk yang berasal dari tegakan hutan alam, hutan tanaman, tegakan uji provenans, atau dari pohon-pohon penyusun kebun benih yang bergenotipe baik.

Biji hasil penyerbukan bebas sangat bermanfaat dalam menunjang beberapa tujuan breeding. Diantaranya dapat menyediakan suatu fungsi uji keturunan, dengan memberikan estimasi terhadap kemampuan berkombinasi umum dari induk-induknya (parental general combining ability), yang ini sangat diperlukan untuk pelaksanaan kegiatan penjarangan terhadap pohon yang bergenetik jelek dari kebun benih, yang ditujukan untuk produksi. Apabila induk-induk yang berasal dari suatu kebun benih akan diuji keturunannya secara penyerbukan bebas, maka langkah yang paling baik adalah apabila benih-benih yang akan diuji tersebut diambil pada saat kebun benih sedang memproduksi benih

secara besar-besaran. Pada penyerbukan pada kebun benih muda seringkali sangat berbeda dengan pola penyerbukan yang terjadi pada kebun benih yang telah produktif, karena umur yang masih muda hanya sejumlah kecil klon dan seluruh klon penyusun orchard tersebut mampu memproduksi tepungsari. Oleh karena itu biji-biji yang dikumpulkan dari kebun benih yang muda, besar kemungkinannya hanya merupakan hasil pembuahan dari sejumlah kecil pohon penyusun orchard, yang telah memproduksi tepungsari. Kenyataannya, berdasarkan observasi dari beberapa kebun benih Pinus taeda (loblolly pine), telah menunjukkan bahwa di dalam kebun muda, kurang lebih 80% dari seluruh biji yang diproduksi, merupakan hasil dari 20% klon penyusunnya. Keadaan ini berlaku hingga umur 10-12 th. Setelah umur-umur itu hamper seluruh pohon penyusun orchard telah mampu untuk menghasilkan biji.

Breeding value hasil uji keturunan dari suatu kebun benih muda diperkirakan akan bias apabila pola penyerbukan yang terjadi berlangsung secara tidak acak. Sebagai contoh adalah apabila seluruh tepungsari yang ada di dalam suatu kebun benih hanya merupakan hasil dari suatu klon, maka estimasi terhadap kemampuan berkombinasi umum (general combining ability) dari induk-induk yang sedang diuji secara keseluruhan akan dikacaukan dengan kemampuan berkombinasi secara (specific combining ability) diantara induk-induk yang disilangkan dan induk tunggal penghasil tepungsari. Open pollinated test dapat juga digunakan untuk menentukan besarnya variant genetic additive dan nilai heritabilitas terhadap populasi yang sedang diuji. Metode ini tidak dapat digunakan untuk menghitung besarnya varians genetic non additive, karena hanya satu induk saja yang diketahui.

#### Polycross (Pollen Mix) design

Dalam suatu pola polycross, setiap induk betina disilangkan dengan menggunakan campuran tepungsari dari sejumlah pohon-pohon induk. Sebagaimana open pollinated design, polycross design dapat pula

dipergunakan untuk mengestimasi varians genetic additive, heritabilitas, dan breeding value dari induk-induk yang terlibat secara efisien. Tetapi karena identitas dari induk-induk jantannya tidak diketahui, maka estimasi terhadap varians genetic non additive dan specific combining ability tidak mungkin dilakukan. Disamping itu estimasi-estimasi terhadap breeding value yang diperoleh mungkin terlalu bias karena terjadi penyerbukan secara tidak random lewat tepungsari-tepungsari campuran tersebut.

Penelitian-penelitian perlu dilakukan untuk mengetahui apakah bias yang dimaksud cukup besar pengaruhnya terhadap perkiraan breeding value. Sama halnya dengan open pollinated design, upaya-upaya seleksi yang menggunakan pollen mix biasanya terbatas, karena induk jantannya tidak diketahui dan proporsi dari induk-induk yang luar biasa baik boleh jadi juga sangat dikacaukan oleh satu atau dua induk yang mampu berkombinasi umum secara baik, yang terjadi tanpa disengaja dalam campuran tepungsari tersebut.

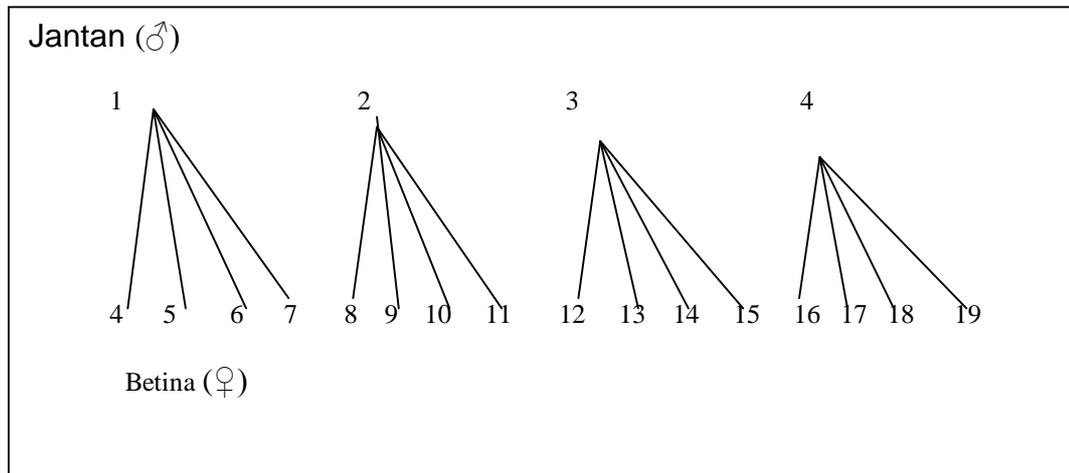
## **6.2. Complete Pedigree Design**

### **1. Nested Design**

Nested design adalah suatu pola penyerbukan terkendali yang telah digunakan didalam pohon-pohon hutan yaitu dengan cara mengawinkan beberapa group pohon induk kelamin tertentu, dengan group-group pohon induk lain yang berlainan. Oleh karena itu uji keturunan dari biji hasil Nested design merupakan uji keturunan famili "full-sib" yaitu keturunan dua induknya diketahui.

Penggunaan Nested Design., memberikan kesempatan bagi para pemulia pohon untuk dapat menaksir besarnya varians genetic, baik additive maupun non additive, dan heritabilitas. Tetapi design ini mempunyai beberapa kelemahan. Sebagaimana digambarkan pada pola di bawah, yaitu bahwa penaksiran terhadap kemampuan berkombinasi umum general combining ability hanya dapat dicapai oleh kelompok

induk yang lebih jarang (rare sex), karena kelompok induk lain lebih diketahui hanya digunakan dalam suatu persilangan tunggal.



Gambar 6.1. Nested design

Keterangan.

Pada bagan diatas 1, 2, 3, 4 digunakan sebagai the rarer sex dan masing-masing dikawinkan dengan 4 induk betina yang berbeda.

## 2. Factorial Design

Factorial mating design, disebut pula dengan istilah Tester Design, yaitu pola penyerbukan terkendali, yang melibatkan beberapa induk jantan sebagai tester disilangkan dengan semua induk-induk betina dalam suatu populasi.

Di bidang kehutanan, induk-induk jantan yang ditetapkan sebagai tester , biasanya 4 sampai 6 induk. Factorial design sangat bermanfaat untuk tujuan uji keturunan, karena breeding value seluruh sifat-sifat genetic didalam populasi yang sedang diuji dapat diperkirakan. Didalam pola ini komponen varians dan heretabilitas juga dapat ditaksir. Demikian pula, dengan persilangan yang telah dibuat tersebut, kemampuan berkombinasi khusus (specific combining ability) dapat pula ditaksir besarnya.

Satu kelemahan pada pola factorial atau tester ini adalah bahwa jumlah keturunan yang tidak berkerabat yang dapat disediakan sebagai induk-induk untuk generasi yang akan datang dibatasi oleh jumlahnya induk yang berfungsi sebagai tester.

Apabila 5 induk yang digunakan, seperti yang dilukiskan pada bagan dibawah, maka hanya 5 famili tidak berkerabat yang dapat dihasilkan, tanpa memperlihatkan jumlah induk-induk betina yang digunakan pada program persilangan tersebut.

		Induk Jantan (♂)				
		1	2	3	4	5
Induk Betina (♀)	6	X	X	X	X	X
	7	X	X	X	X	X
	8	X	X	X	X	X
	9	X	X	X	X	X
	10	X	X	X	X	X
	11	X	X	X	X	X
	12	X	X	X	X	X
	13	X	X	X	X	X

Keterangan:

- a. 1, 2, 3, 4, 5 adalah induk jantan sebagai “tester”.
- b. X adalah tanda persilangan antara induk-induk tersebut.

Gambar 6.2. Gambar Bagan Factorial Design

Derivat dari factorial mating design telah pula dikenal, yaitu disconnected factorial design. Metode ini adalah membagi breeding population menjadi beberapa kelompok induk dan didalam setiap kelompok tetap menggunakan pola faktori ‘factorial design’, dapat dibagi menjadi 3 kelompok yang masing-masing terdiri dari 6 induk. Selanjutnya dari 6 induk tersebut, 3 induk merupakan induk jantan dan difungsikan

sebagai tester dan 3 induk yang lain merupakan induk betina yang akan digunakan obyek persilangan, sebagaimana bagan dibawah ini.

Disconnected factorial design mempunyai keuntungan dalam hal menaikkan jumlah famili-famili yang tidak berkerabat yang dapat diciptakan. Tetapi disconnected factorial design ternyata tidak seefisien tester design untuk tujuan uji keturunan karena individu yang berbeda dalam suatu kelompok dikawinkan dengan induk-induk yang berbeda. Sehingga taksiran general combining ability induk-induk yang terlibat akan bias, induk-induk yang terdapat dalam masing-masing kelompok mempunyai kualitas sifat genetic yang berbeda.

		Induk Betina (♂)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Induk Betina (♀)	10	X	X	X						
	11	X	X	X						
	12	X	X	X						
	13				X	X	X			
	14				X	X	X			
	15				X	X	X			
	16							X	X	X
	17							X	X	X
	18							X	X	X

Gambar 6.3. Gambar Bagan-Bagan Disconnected Factorial Design

Breeding population dibagi menjadi kelompok-kelompok kecil tersebut menggunakan pola factorial. Pada bagan ini digunakan suatu breeding population dengan 18 induk.

### 3. Single Pair Mating

Pada metode single Pair mating, masing-masing induk dikawinkan pada satu induk yang lain dalam suatu populasi. Cara ini dapat menciptakan jumlah famili-famili yang berkerabat dalam setiap generasi

menjadi maksimum, dari sejumlah hasil proses persilangan. Single pair mating dengan induk-induk yang telah terbukti baik secara genetic akan sangat bermanfaat pada program-program pemuliaan untuk menghasilkan populasi-populasi yang bermanfaat pada seleksi generasi tingkat lanjut.

		Induk Betina (♂)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Induk Betina (♀)	1		X								
	2										
	3				X						
	4										
	5						X				
	6										
	7								X		
	8										
	9										X
	10										

Gambar 6.4. Gambar Bagan Single-Pair Mating

Pada bagan ini menunjukkan setiap induk dikawinkan dengan satu induk yang dalam populasi. Dalam bagan tersebut, 10 induk telah disilangkan secara tunggal menghasilkan 5 persilangan. Induk-induk yang disajikan dalam contoh dianggap dari species monoceious, sehingga induk-induk tersebut dapat difungsikan baik sebagai induk jantan atau betina dalam skema persilangan.

#### 4. Full Diallel

Sistem perkawinan yang paling luas dan sesuai adalah full diallel yaitu dengan mengawinkan masing-masing induk dengan induk-induk yang lain, dalam suatu kombinasi penuh termasuk persilangan resiprokal. Persilangan resiprokal (reciprocal crosses) adalah dua perkawinan yang

didalamnya melibatkan dua induk. Pada perkawinan pertama induk pertama difungsikan sebagai induk betina, adapun induk kedua, berfungsi sebagai induk jantan. Sebaliknya pada perkawinan ke dua, induk pertama sebagai induk jantan dan induk kedua sebagai induk betina. Apabila digambarkan adalah sebagai berikut :  $A \text{ ♀} \times B \text{ ♂}$  ;  $B \text{ ♀} \times A \text{ ♂}$ . Suatu full diallel yang menggunakan 10 induk digambarkan sebagai berikut :

		Induk Betina (♂)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Induk Betina (♀)	10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	8	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	7	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Gambar 6.5. Gambar Bagan Full Diallel

Keterangan:

Bagan : Seluruh induk saling dikawinkan termasuk selfing. Sehingga dari 10 induk, menghasilkan 100 persilangan.

X = hasil persilangan

Dengan full Diallel seluruh informasi dari induk-induk yang digunakan terutama tentang general combining ability dari semua induk, specific combining ability dan seluruh hasil persilangan dan komponen varians dapat disajikan. Full Diallel juga menghasilkan famili-famili yang tidak berkerabat dalam jumlah yang besar, sehingga cocok untuk seleksi dimasa mendatang. Jadi Full Diallel mungkin dapat menjadi pola mating

yang ideal. Satu kelemahan dalam full Diallel adalah karena banyaknya jumlah induk yang harus disilangkan, maka untuk pelaksanaan pola ini sangat mahal membutuhkan banyak waktu. Contohnya dengan 10 induk, pada Full Diallel dihasilkan 100 hasil persilangan. Sehingga bila melibatkan 200 induk, maka 40.000 hasil persilangan akan diperoleh. Untuk memecahkan masalah ini, beberapa modifikasi telah diajukan , yang dimaksud untuk memperkecil jumlah hasil persilangan yang diperoleh secara umum pola diallel tidak dapat digunakan untuk species-species yang diocious, karena pola ini memerlukan individu-individu yang dapat berfungsi sebagai induk betina dan induk jantan.

#### 5. Half Diallel

Pola ini mirip dengan pola Full Diallel, tetapi tidak menggunakan reciprocal crosses termasuk selfing Half Diallel hamper memberikan informasi sekomplit Full Diallel, padahal biaya yang diinvestasikan untuk itu dan langkah yang dibuat adalah adalah hanya separohnya. Namun hasil persilangan yang akan diperoleh dari metode ini dirasa masih cukup besar apabila induk yang terlibat cukup banyak. Apabila sebanyak 200 induk digunakan, maka hasil persilangan yang akan dicapai tidak termasuk selfing adalah  $\frac{n(n-1)}{2} = 19.900$  individu. Adapun bagan dari Half Diallel adalah sebagai berikut :

		Induk Betina (♂)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Induk Betina (♀)	1		X	X	X	X	X	X	X	X	X
	2			X	X	X	X	X	X	X	X
	3	Tidak ada persilangan resiprokal			X	X	X	X	X	X	X
	4				X	X	X	X	X	X	
	5				X	X	X	X	X		
	6				X	X	X	X			
	7				X	X	X				
	8				X	X					
	9				X						
	10										

Gambar 6.6. Bagan Modified diallel mating design

Keterangan:

Bagan : Half Diallel hanya saja tiak terjadi reciprocal crosses maupun selfing

X = hasil persilangan

## 6. Partial Diallel

Beberapa modifikasi terhadap pola diallel yang paling menguntungkan, kiranya telah dikembangkan, dalam bentuk Partial Diallel. Salah satu tipe partial diallel diantaranya systematic atau progressive mating scheme yang disajikan berikut ini :

Denga pola ini persilangan dibuat pada diagonal-diagonal tertentu. Diagonal dipilih sedemikian sehingga tidak ada 1 induk yang terlibat dalam banyak persilangan. Metode ini banyak mempunyai keuntungan dibandingkan dengan Full Diallel maupun Half Diallel terutama dalam kaitannya dengan usaha menciptakan hasil persilangan individu-individu yang tidak berkerabat dalam jumlah maksimum, memungkinkan untuk melakukan taksiran terhadap general combining ability dari setiap induk,

estimasi terhadap varians additive dan non additive , dan taksiran nilai specific combining ability terhadap setiap individu yang berkombinasi.

Tipe Partial Diallel yang lain adalah Disconnected Diallel sebagaimana bagan berikut :

		Induk Betina (♂)																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Induk Betina (♀)	1		X	X					X	X	X							X	X
	2			X	X					X	X	X							X
	3				X	X					X	X	X						
	4					X	X					X	X	X					
	5						X	X					X	X	X				
	6							X	X					X	X	X			
	7								X	X					X	X	X		
	8									X	X					X	X	X	
	9										X	X					X	X	X
	10	X										X	X					X	X
	11	X	X										X	X					X
	12	X	X	X										X	X				
	13		X	X	X										X	X			
	14			X	X	X										X	X		
	15				X	X	X										X	X	
	16					X	X	X										X	X
	17						X	X	X										X
	18							X	X	X									

Gambar 6.7. Gambar Bagan Progressive mating scheme

Merupakan modifikasi dari Full Diallel, dalam hal ini perkawinan hanya dibuat pada diagonal tertentu. Suatu progressive mating scheme dengan 18 induk melibatkan masing-masing induk dalam 10 persilangan (diagonal persilangan).

X = hasil persilangan.

		Induk Betina (♂)																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Induk Betina (♀)	1		X	X	X	X	X												
	2			X	X	X	X												
	3				X	X	X												
	4					X	X												
	5						X												
	6																		
	7								X	X	X	X	X						
	8									X	X	X	X						
	9										X	X	X						
	10											X	X						
	11												X						
	12																		
	13														X	X	X	X	X
	14															X	X	X	X
	15																X	X	X
	16																	X	X
	17																		X
	18																		

Gambar 6.8. Gambar Bagan Disconnected Diallel

Dalam bagan ini populasi dibagi menjadi kelompok-kelompok, kemudian pada masing-masing kelompok diperlakukan pola half diallel. Dari bagan terlihat bahwa 3 kelompok dari 6 induk menghasilkan 45 hasil persilangan. X = hasil persilangan.

Dengan pola ini induk-induk dibagi menjadi 5 = 10 induk atau group dan dalam group-group tersebut diperlakukan dengan pola diallel atau half diallel. Modal ini paling menguntungkan dan merupakan diallel yang lebih komplit, tetapi hasil persilangan yang diperoleh akan berkurang jumlahnya. Sebagai contoh, suatu full diallel dengan 18 induk akan diperoleh sebanyak  $n^2 = 18^2 = 324$  hasil persilangan. Half diallel jumlah induk yang sama dan tidak termasuk selfing akan menghasilkan

$\frac{n(n-1)}{2} = 153$  hasil persilangan. Tetapi dengan disconnected diallel yang menggunakan 3 kelompok dan 6 induk untuk masing-masing kelompok, akan diperoleh  $\frac{n(n-1)}{2} = \frac{6(6-1)}{2} = 15$  hasil persilangan per kelompok atau diallel atau 45 hasil persilangan untuk tehnik induk (18 induk).

### Multiple Population System

Satu pola breeding yang saat ini sedang popular diantaranya para ahli pemulia pohon (tree breeders), ialah multiple population breeding. MPS sebenarnya bukanlah suatu pola mating, karena pola ini dapat melibatkan satu atau beberapa pola mating yang telah dikupas terdahulu. Menurut pola ini suatu breeding population yang besar dibagi kedalam sejumlah kelompok-kelompok breeding yang lebih kecil. Persilangan hanya dilakukan didalam masing-masing kelompok. Kecuali pembangunan, bentukan sifat genetik dari individu-individu dalam kelompok breeding tetap dipelihara, individu-individu yang terseleksi harus selalu tetap untuk kelompok breeding yang sama tanpa menghiraukan apakah itu pada generasi 1, 2 ataupun generasi-generasi selanjutnya. Masing-masing kelompok breeding biasanya terdiri dari 25 individu, dan karena jumlahnya yang kecil tersebut, maka inbreeding didalam masing-masing kelompok menjadi hal yang biasa.

Suatu contoh penggunaan multiple population breeding adalah sublining. Sistem ini dirancang dengan tujuan untuk menghindari inbreeding secara permanent didalam suatu kebun benih. Dengan sistem ini dibuat sejumlah banyak kelompok-kelompok breeding. Walaupun inbreeding didalam kelompok akan segera terjadi, tetapi untuk tujuan kebun benih, hanya akan ditanam individu-individu yang terbaik dari masing-masing kelompok breeding. Sistem sublining breeding telah dikembangkan untuk beberapa jenis species penting, seperti *Juglans nigra* (black walnut) dari *Pinus taeda* (loblolly pine). Suatu contoh dari

sublining breeding yang digunakan untuk *Juglans nigra* (black walnut) yang melibatkan 16 kelompok breeding, masing-masing kelompok terdiri dari 25 induk, digambarkan pada bagan berikut. Ada beberapa problem yang muncul, dalam pelaksanaan sublining sistem. Pertama adalah adanya kesulitan sewaktu melakukan seleksi terhadap individu pohon yang terbaik dari setiap kelompok, karena banyaknya jumlah perkawinan kerabat (related mating) yang terjadi. Kedua, pohon-pohon intred yang digunakan dalam kebun benih, untuk beberapa species ternyata menghasilkan pertumbuhan yang lambat, dan tidak banyak memproduksi organ-organ reproduktif.

Gambar Sublining