

**SISTEM PERKAWINAN BAKAU BANDUL (*Rhizophora mucronata* Lamk)
BERDASARKAN ANALISIS ISOZIM (*Mating System of Bakau Bandul (Rhizophora
mucronata Lamk) Based on Isozymes Analysis*)***

Oleh/By:

Hamzah¹, Ulfah J. Siregar², dan/and Chairil Anwar Siregar³

¹Fakultas Pertanian Universitas Jambi

Jl. Lintas Jambi Ma. Bulian Km. 15, Mendalo-Jambi; Telp. (0741) 582907; Fax. (0741) 582814

²Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor

Jl. Raya Darmaga, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680; Telp. (0251) 8622642; e-mail: rektor(at)ipb.ac.id

³Pusat Litbang Hutan dan Konservasi Alam

Jl. Gunung Batu No. 5 Po Box 165; Telp. 0251-8633234, 7520067; Fax 0251-8638111 Bogor

*) Diterima : 16 Januari 2009; Disetujui : 19 Agustus 2009

ABSTRACT

Mating system of bakau bandul (Rhizophora mucronata Lamk.) was studied from progenies of selected mother trees of several natural populations in Sumatra and Java, i.e. North Sumatra, Riau, Jambi, Muara Angke, and Ujung Kulon, using isozymes. Isozyme analysis was performed using six enzyme systems, i.e. AAT, ADH, EST, IDH, MDH, and PER. The result showed that bakau bandul has mix mating systems, with predominantly selfing due to lower outcrossing rates (6-32%). Mother trees from relatively better forest condition (North Sumatra, Jambi, and Ujung Kulon) have higher outcrossing rate (32%, 17%, and 19%) compare to mother trees at degraded forests (Riau and Muara Angke) at 13% and 6%, respectively. Pollen ovule ratios vary among loci and alleles, but showed relatively balance formation of male and female gametes. Although predominately selfing bakau bandul does not have preferential mating ($F = -0,197$), because of random association of alleles from ovule and pollen from various trees. Wind and insects seemed to play important role on random mating among trees.

Keywords: Bakau bandul, Rhizophora mucronata Lamk, isozymes, outcrossing rate

ABSTRAK

Derajat perkawinan silang bakau bandul (*Rhizophora mucronata* Lamk.) dari beberapa pohon induk yang tumbuh di hutan alam Sumatera, yaitu Sumatra Utara, Riau, Jambi, dan Jawa, yaitu Muara Angke dan Ujung Kulon, diduga menggunakan isozim. Enam sistem enzim dicobakan dalam penelitian ini, masing-masing AAT, ADH, EST, IDH, MDH, dan PER. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bakau bandul memiliki sistem perkawinan campuran, dengan perkawinan sendiri sebagai sistem perkawinan utama, karena perkawinan silang hanya berkisar antara 6-32%. Populasi-populasi pada hutan yang tidak mengalami kerusakan berat (Sumatera Utara, Jambi, dan Ujung Kulon) memiliki derajat perkawinan silang lebih tinggi (32%, 17%, dan 19%) dibandingkan dengan populasi-populasi yang hutannya mengalami kerusakan berat (Riau dan Muara Angke) yang besarnya masing-masing adalah 13% dan 16%. Rasio polen (serbuk sari) dan *ovule* (sel telur) beragam antar lokus dan alel, tetapi menunjukkan pembentukan gamet jantan dan gamet betina yang berimbang. Bakau bandul walaupun cenderung untuk *selfing* (menyerbuk sendiri), tidak memiliki sistem perkawinan terpilih ($F = -0,197$), karena setiap alel pada *ovule* dan polen dari pohon-pohon bakau bandul yang berlainan berasosiasi secara acak. Angin dan serangga tampaknya berperan penting terhadap terjadinya penyerbukan silang.

Kata kunci: Bakau bandul, *Rhizophora mucronata* Lamk, isozim, derajat perkawinan silang

I. PENDAHULUAN

Tumbuhan bakau bandul (*Rhizophora* spp.) merupakan salah satu komponen penting pada formasi hutan mangrove. Bakau memiliki nilai ekonomis tinggi

serta fungsi fisik dan ekologis yang tinggi. Bakau merupakan penghasil arang dan *chips* (tatal kayu) bermutu tinggi serta sebagai bahan bangunan penting di daerah pesisir. Secara fisik bakau berfungsi sebagai pencegah abrasi, intrusi, dan perlin-

dungan terhadap angin. Bersama tumbuhan mangrove lainnya, bakau berfungsi sebagai tempat berpijah, mencari makan, dan berlindung bagi ikan, udang, kepiting, dan biota air serta habitat bagi hewan darat dan hewan air lainnya.

Di Indonesia, bakau terdiri atas bakau bandul (*Rhizophora mucronata* Lamk), bakau kacang (*R. apiculata* Blume), dan bakau putih (*R. stylosa* Griff.). Kelestarian bakau bandul lebih rentan karena menyebar relatif terbatas pada substrat berlumpur dalam sehingga pada banyak populasi hanya menyebar pada areal sempit di sepanjang pantai atau muara sungai. Eksploitasi oleh manusia membuat populasi bakau ini menurun secara tajam dalam waktu yang singkat. Hutan mangrove Indonesia yang pada tahun 1982 luasnya mencapai 4,25 juta ha, pada tahun 1993 luasnya menjadi 3,74 juta ha (Departemen Kehutanan, 1993).

Pada kegiatan rehabilitasi ekosistem mangrove, bakau bandul sering dipilih karena memiliki *propagule* (buah yang berkecambah) lebih besar dan panjang, sehingga memiliki kemampuan *survival* lebih besar pada tahap awal penanaman. Oleh karena alasan-alasan tersebut diperlukan adanya upaya lebih intensif untuk mengkonservasi hutan mangrove yang masih ada dan merehabilitasi kerusakan yang terjadi. Upaya penting yang perlu dilakukan di antaranya adalah usaha penyediaan bibit unggul dalam jumlah yang cukup banyak, serta menggali potensi dan peluang perbaikan sifat jenis untuk mendapatkan acuan bagi program pelestarian serta pengelolaan guna menghasilkan tegakan yang berkualitas tinggi.

Salah satu upaya untuk mencapai tujuan tersebut adalah melakukan studi sistem perkawinan pada sejumlah provenan (daerah penyebaran geografis) bakau bandul. Sistem perkawinan sangat penting dalam menentukan kualitas benih dan bibit yang dihasilkan, sekaligus kuantitasnya. Menurut Tomlinson (1986) genus *Rhizophora* spp. (bakau) mempunyai bunga hermafrodit, yaitu berbunga sempur-

na, mempunyai bunga jantan dan bunga betina pada satu bunga yang sama, yang berarti tumbuhan ini berumah satu. Bunga kemungkinan bersifat protandri lemah, maksudnya serbuk sari masak sedikit lebih awal dibandingkan dengan sel telur, dan *self-compatible* (Tomlinson, 1986), yaitu serbuk sari bunga sendiri dapat menyerbuki sel telur bunga sendiri, sehingga dengan demikian tidak ada fenomena "*self-incompatibility*". Penyerbukannya dilakukan oleh angin (Tomlinson, 1986), dan hal ini menunjukkan bahwa pada bakau dapat terjadi penyerbukan silang maupun penyerbukan sendiri. Pada penyerbukan oleh angin maka serbuk sari suatu bunga secara acak dapat menyerbuki sel telur bunga sendiri, sehingga terjadi penyerbukan sendiri, maupun sel telur dari bunga tanaman lain, sehingga terjadi penyerbukan silang. Informasi besarnya derajat perkawinan silang pada bakau bandul sangat berguna untuk pendugaan besarnya keragaman genetik dan keberhasilan upaya persilangan buatan dalam rangka perakitan varietas unggul.

Studi tentang sistem perkawinan ini salah satunya dapat dilakukan dengan menggunakan marka genetik isozim. Marka isozim sering digunakan karena lebih murah, sederhana, dan dapat memberikan hasil dalam waktu cepat serta bersifat kodominan (Brown dan Weir, 1983). Sejumlah sistem enzim dari marka ini telah terbukti memberikan hasil yang cukup baik untuk menganalisis keragaman genetik bakau bandul (Hamzah, 1999).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang sistem perkawinan bakau bandul dengan menduga derajat perkawinan silang sejumlah pohon induk dari beberapa populasi bakau bandul di daerah sebaran utama bakau bandul di Sumatera dan Jawa. Derajat perkawinan silang dapat dilihat dari besarnya perkawinan silang *single* lokus (t_s) dan multilokus (t_m), perbedaan t_m - t_s , nilai F tua, rasio serbuk sari dan sel telur serta korelasi p dan korelasi t .

II. METODOLOGI

A. Bahan

Penelitian dilaksanakan terhadap anakan dari pohon-pohon induk bakau bandul dari populasi Sumatera Utara (Langkat), Riau (Indragiri Hilir), Jambi (Lagan Ilir), Ujung Kulon (Banten), dan Muara Angke (DKI Jakarta). Analisis isozim dilaksanakan di laboratorium Silviculture Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Penelitian dimulai pada bulan April 2001 sampai dengan Mei 2004.

Dalam satu populasi dari sebuah provenan diseleksi 10 pohon induk, untuk kemudian diambil *propagule*-nya dari masing-masing pohon induk. Setiap *propagule* diberi identitas populasi, nomor pohon induk dan nomor *propagule*, lalu disemai pada kantong plastik (*polybag*) yang telah diberi media tanam dan ditanam dengan paranet 50%. Penanaman di lapang dilakukan setelah bibit berdaun tiga pasang, dengan jarak tanam 2 m x 1,5 m pada plot berukuran 15 m x 10 m. Untuk analisis isozim, sampel daun diambil dari enam bibit anakan yang telah ditanam dari setiap pohon induk.

B. Metode

Analisis isozim dilakukan dengan metode sodium borat untuk sistem enzim PER (*peroxidase*) dan EST (*esterase*), metode litium borat untuk AAT (*aminoacetate transferase*), serta metode Soltis dan Soltis untuk ADH (*alcohol dehydrogenase*), MDH (*malate dehydrogenase*) dan IDH (*isocitrate dehydrogenase*). Enzim setiap individu tanaman diekstrak dari daun yang sudah berkembang penuh. Enzim diserap dengan kertas saring lalu dielektroforesis pada gel pati dengan tegangan 100-150 volt dan arus 40-50 mA. Larutan pewarna isozim dibuat menurut prosedur Arulsekar dan Parfitt (1986) dengan beberapa modifikasi.

Pola pita yang dihasilkan setiap isozim diinterpretasikan ke dalam lokus-lokus dan alel-allel suatu lokus. Alel adalah

bentuk alternatif dari satu gen, sedangkan lokus adalah kedudukan satu gen dalam kromosom. Lokus dengan mobilitas paling lambat diberi kode 1, dan lokus-lokus berikutnya diberi kode 2 dan seterusnya. Demikian pula dengan alel, alel yang paling lambat diberi kode 1 dan selanjutnya 2 atau 3. Dengan asumsi bakau bandul bersifat diploid, genotip setiap individu dapat dikode. Misalnya pada lokus EST-1 dapat terdiri atas genotip 11, 12, 13, 22, 23, dan 33.

Parameter yang diukur adalah derajat penyerbukan silang provenan, frekuensi gen serta penaksiran F tetua, nilai t (multilokus dan *single* lokus), perbedaan t_{ts}, korelasi t dan korelasi p. Semua parameter diduga melalui prosedur pendugaan multilokus dengan program MLTR yang dikembangkan oleh Ritland dan Jain (1981).

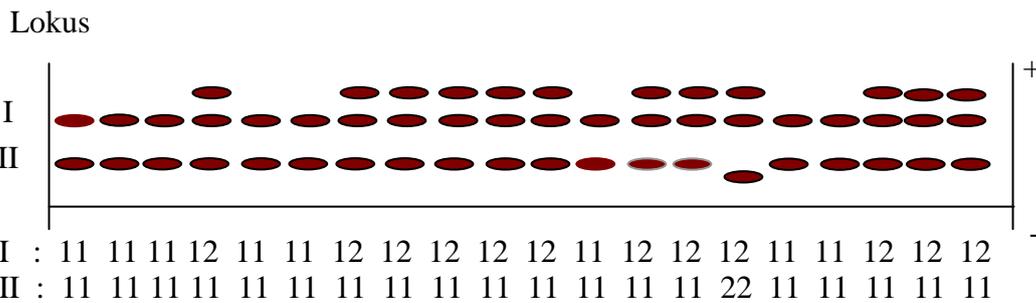
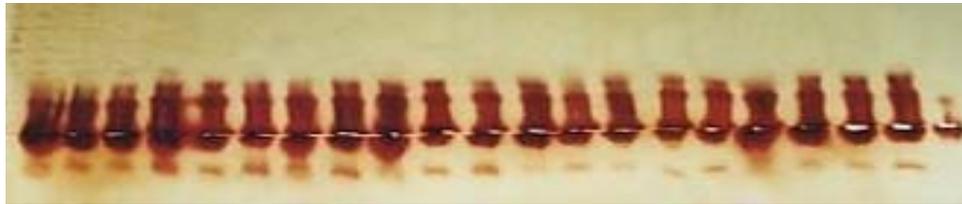
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Isozim PER, EST, dan AAT menghasilkan pola pita yang polimorfik, yang berarti beragam, sedangkan pola pita isozim ADH, IDH, dan MDH bersifat monomorfik, yang berarti seragam. Contoh hasil pola pita isozim dari tiga sistem enzim yang polimorfik dapat dilihat pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3. Pada Gambar 1 terlihat bahwa isozim PER bermigrasi ke arah kutub positif dan negatif dan terdiri atas dua lokus. Isozim EST (Gambar 2) hanya bermigrasi ke arah kutub positif dan terdiri atas tiga lokus. Isozim AAT (Gambar 3) juga hanya bermigrasi ke arah kutub positif dan terdiri atas tiga lokus.

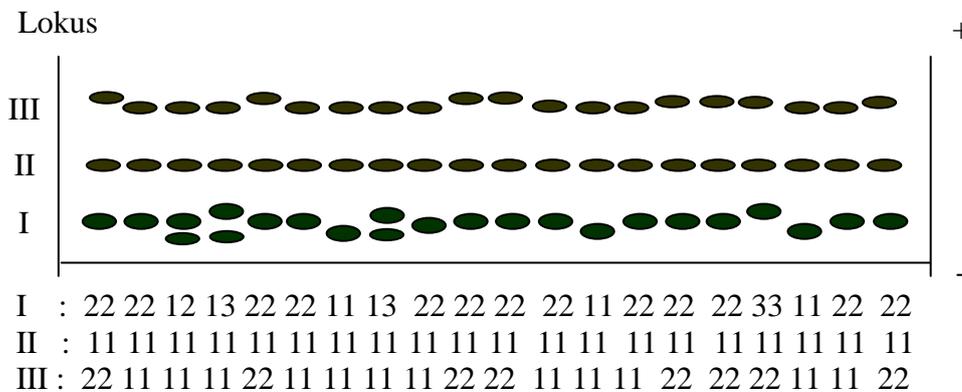
Pendugaan derajat perkawinan silang didasarkan pada asumsi perkawinan campuran (*mixed mating*). Asumsi ini digunakan karena perkawinan dapat terjadi perkawinan sendiri (*selfing*, s) dan dapat pula terjadi secara perkawinan silang (*outcrossing*, t) serta dapat pula terjadi gabungan antara perkawinan sendiri dan perkawinan silang, di mana $t + s = 1$.

Pendugaan besarnya perkawinan silang hanya didasarkan atas lokus-lokus yang bersifat polimorfik dari setiap sistem enzim. Hasil pendugaan derajat perkawinan silang multilokus (t_m) pada setiap prove-

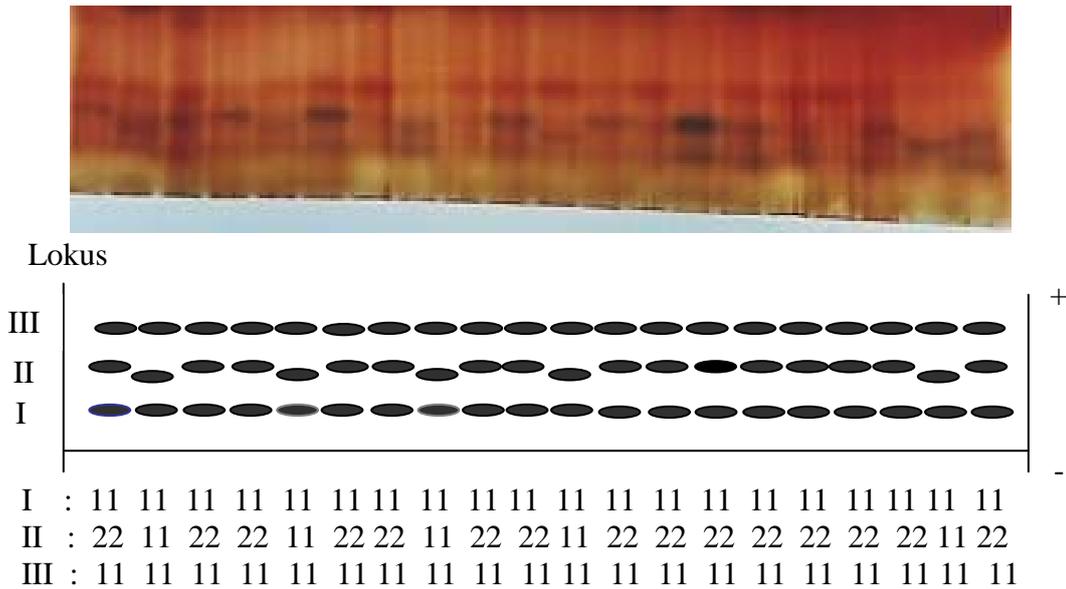
nan, yang dilakukan menggunakan program komputer yang dikembangkan oleh Ritland dan Jain (1981) dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar (Figure) 1. Pola pita isozim PER pada anakan bakau bandul, di mana pola skematis dan genotip pada bagian bawah foto merujuk pada foto di bagian atas (*PER banding pattern of bakau bandul seedlings, of which schematic patterns and genotypes below the photograph referred to the above photograph*)



Gambar (Figure) 2. Pola pita isozim EST anakan bakau bandul, di mana pola skematis dan genotip pada bagian bawah foto merujuk ke foto di bagian atas (*EST banding pattern of bakau bandul seedlings, of which schematic patterns and genotypes below the photograph referred to the above photograph*)



Gambar (Figure) 3. Pola pita isozim AAT anakan bakau bandul, di mana pola skematis dan genotip pada bagian bawah foto merujuk ke foto di bagian atas (AAT banding pattern of bakau bandul seedlings, of which schematic patterns and genotypes below the photograph referred to the above photograph)

Tabel (Table) 1. Derajat perkawinan silang populasi bakau bandul (Outcrossing rates of several bakau bandul populations)

Populasi (Population)	Derajat perkawinan silang t_m (Outcrossing rate, t_m) (%)
Sumatera Utara	32
Riau	13
Jambi	17
Ujung Kulon	19
Muara Angke	6
Rata-rata (Average)	17,4

Pada Tabel 1 dapat dilihat derajat perkawinan silang bakau bandul populasi Sumatera Utara jauh lebih tinggi dibanding populasi-populasi lainnya. Sebaliknya derajat perkawinan silang pada populasi Muara Angke jauh lebih rendah dibanding populasi-populasi lainnya. Populasi bakau bandul Sumatera Utara ada pada kawasan hutan mangrove yang kondisinya relatif tidak rusak. Pohon induk yang relatif besar dapat menghasilkan bunga dalam jumlah yang besar pula dan kondisi tegakan yang cukup rapat secara akumulatif menghasilkan jumlah bunga total yang besar. Jarak antar pohon yang

relatif dekat dan jumlah bunga yang besar mendukung terjadinya transfer tepung sari dari satu pohon ke pohon-pohon lainnya sehingga persilangan cukup banyak terjadi. Kondisi seperti ini sejalan dengan yang dikemukakan Finkeldey (2003) bahwa sistem perkawinan tidak sepenuhnya ditentukan oleh sifat genetik populasi atau spesies tetapi ditentukan juga oleh faktor-faktor lingkungan seperti kerapatan populasi, struktur spasial populasi, perkembangan tegakan, fenologi bunga, dan perilaku vektor penyerbuk.

Populasi bakau bandul Ujung Kulon dan Jambi memiliki derajat perkawinan silang yang hampir sama, berturut-turut 19% dan 17%. Populasi bakau bandul Ujung Kulon merupakan provenan yang relatif tidak terganggu oleh aktivitas manusia sehingga kerapatan, struktur spasial, dan perkembangan tegakannya cukup baik. Demikian pula populasi bakau bandul Jambi, walaupun terdapat penebangan dalam jumlah kecil, tegakan bakau masih cukup baik, pohon-pohonnya sudah cukup besar dan kerapatan cukup tinggi.

Pada populasi bakau bandul Riau, derajat perkawinan silangnya (13%) lebih

disebabkan intensifnya penebangan sehingga mengurangi dengan drastis pohon-pohon induk yang sudah besar. Kondisi tersebut membatasi jumlah bunga total yang dihasilkan dan membatasi terjadinya perkawinan silang.

Pada populasi bakau bandul Muara Angke, derajat perkawinan silang yang rendah disebabkan oleh rendahnya jumlah individu dalam populasi. Kawasan hutan lindung Muara Angke luasnya sekitar 40 ha yang sebagian besar berupa bekas tambak dan tumbuhan bakau tumbuh pada tanggul-tanggul tambak. Kondisi ini juga menyebabkan jumlah total bunga yang dapat menghasilkan *ovule* serta tepung sari terbatas sehingga transfer tepung sari antar pohon menjadi rendah.

Secara keseluruhan, populasi bakau memiliki derajat penyerbukan silang rata-rata sebesar 17,4%. Angka ini masih lebih besar dibanding derajat penyerbukan silang pada bakau merah (*Rhizophora mangle*) di Florida (81°-83° BB dan 24°-26° LU) dan San Salvador (17° LU dan 87°40' BB) yang besarnya 4,8%, akan tetapi lebih rendah dibanding bakau merah di Puerto Rico (23° LU dan 66° BB) yang besarnya 28,8% (Klekowski *et al.*, 1994). Perkawinan silang pada bakau merah di Puerto Rico lebih tinggi dibanding di Florida dan San Salvador disebabkan oleh pohon-pohon bakau merah di Puerto Rico lebih besar (Klekowski *et al.*, 1994). Derajat perkawinan silang yang relatif besar pada provenan Sumatera Utara, Jambi, dan Ujung Kulon juga disebabkan diameter pohon-pohon induk yang relatif lebih besar dengan kerapatan yang cukup tinggi sehingga jumlah bunga per pohon dan secara keseluruhan pada populasi cukup besar.

Perbedaan derajat perkawinan silang antar populasi pada suatu spesies mangrove, selain pada bakau bandul dan bakau merah, ditemukan pula pada tumu (*Bru-guiera gymnorrhiza*) yang juga termasuk famili Rhizophoraceae. Tumbuhan tumu di Cina memiliki derajat perkawinan silang yang berbeda antar populasi (kawas-

an hutan mangrove). Pada populasi Fugong (24°24' LU) derajat perkawinan silangnya 84,5%, populasi Shenzhen (22°32' LU) 56,1%, populasi Guangxi (21°28' LU) 82,0%, dan populasi Hainan (19°51' LU) 26,7% (Ge *et al.*, 2003). Perbedaan derajat perkawinan silang antar populasi tersebut berkaitan erat dengan kondisi populasi dan lingkungannya. Pada tumu di Cina perbedaan derajat perkawinan silang antar populasi dipengaruhi oleh kerapatan tegakan, struktur tegakan, adaptabilitas, dan aktivitas polinator serta terdapat atau tidaknya inkompatibilitas inbreeding (silang dalam) (Ge *et al.*, 2003).

Perbedaan besarnya penyerbukan silang antar populasi juga terjadi pada *Kandelia candel*, yang juga termasuk famili Rhizophoraceae dan memiliki bunga, buah, dan *propagule* mirip dengan bakau bandul. Sun *et al.* (1998) mendapatkan bahwa dua populasi *K. candel* di pantai Hongkong memiliki derajat perkawinan silang yang berbeda. Populasi pertama memiliki perkawinan silang $t_m = 0,697$ sedangkan pada populasi kedua $t_m = 0,797$. Perbedaan besarnya derajat perkawinan silang antara dua populasi ini berkaitan erat dengan kondisi tegakan dan polinator pada setiap populasi.

Populasi yang kerapatannya tinggi memiliki derajat perkawinan silang yang tinggi karena terjadi hubungan yang erat antar tanaman. Populasi tanaman yang sebagian terdiri atas pohon-pohon yang berdiameter besar menghasilkan jumlah bunga yang lebih banyak sehingga derajat perkawinan silang tinggi. Daya adaptabilitas dan aktivitas polinator yang tinggi dapat meningkatkan jarak yang ditempuhnya sehingga transfer tepung sari lebih menyebar. Adanya inkompatibilitas silang dalam mencegah tanaman mengadakan penyerbukan sendiri sehingga tumbuhan cenderung melakukan penyerbukan silang.

Persilangan pada bakau diperkirakan dibantu oleh hasil aktivitas sejumlah kecil polinator serta akibat kondisi kepala putik (stigma) suatu bunga yang tidak reseptif

hingga setelah serbuk sari masak dan dilepaskan (disebut sebagai protandri lemah, seperti telah dijelaskan di muka) (Tomlinson, 1986). Aktivitas polinator mencari nektar pada bunga dapat membawa polen dari satu pohon ke pohon lain sehingga terjadi penyerbukan silang. Sifat protandri (serbuk sari masak terlebih dahulu dibandingkan sel telur) mencegah terjadinya penyerbukan sendiri (*selfing*) sehingga bersifat mendukung terjadinya penyerbukan silang, karena struktur temporal bunga menunjang terjadinya penyerbukan silang (Boshier, 2000). Dengan adanya fenomena protandri ataupun protandri lemah pada bakau, maka dapat dipastikan adanya fenomena dichogamy (penyerbukan antar bunga pada pohon yang berbeda) pada bakau, yang mencegah terjadinya silang dalam.

Selain aktivitas polinator, angin juga merupakan faktor penting untuk terjadinya penyerbukan silang. Penyerbukan oleh angin lebih banyak terjadi pada tumbuhan angiospermae tropis, termasuk bakau bandul, dibanding penyerbukan oleh hewan (Bullock dan Bawa, 1994 *dalam* Boshier, 2000). Serbuk sari bakau bandul yang ringan dan jumlahnya yang besar (rasio serbuk sari terhadap sel telur tinggi) merupakan sifat yang mendukung terjadinya penyerbukan silang dengan bantuan angin. Angin banyak bertiup melewati kawasan hutan mangrove, baik berupa angin darat dan angin laut yang setiap hari terjadi maupun angin lainnya tentunya berperan penting terhadap terjadinya perkawinan silang pada bakau bandul.

Hasil penaksiran frekuensi gen (serbuk sari dan sel telur) dari setiap lokus isozim dapat dilihat pada Tabel 2. Lokus PER1 alel 1, frekuensi serbuk sari lebih besar daripada frekuensi sel telur, sedangkan pada alel 2 terjadi sebaliknya. Pada lokus PER2 alel 1, frekuensi serbuk sari lebih besar daripada sel telur sedangkan pada alel 2 frekuensi serbuk sari dan sel telur relatif seimbang. Pada lokus EST1 alel 1, frekuensi sel telur lebih tinggi dari serbuk sari, pada alel 2 terjadi sebaliknya.

Pada lokus EST3 alel 1 maupun alel 2 frekuensi serbuk sari dan sel telur relatif seimbang. Pada lokus AAT2 alel 1, frekuensi serbuk sari lebih besar daripada sel telur, pada alel 2 terjadi sebaliknya. Pada lokus AAT3 alel 1 maupun alel 2, frekuensi serbuk sari dan sel telur relatif seimbang.

Tabel (Table) 2. Penaksiran frekuensi gen pada anakan bakau bandul (*Estimation of gene frequency in bakau bandul seedlings*)

Lokus (Locus)	Alel (Allele)	Serbuk sari (Pollen)	Sel telur (Ovule)
PER1	1	0,697	0,089
PER1	2	0,312	0,911
PER2	1	0,108	0,010
PER2	2	0,892	0,990
EST1	1	0,247	0,480
EST1	2	0,753	0,520
EST3	1	0,362	0,370
EST3	2	0,638	0,630
AAT2	1	0,769	0,630
AAT2	2	0,231	0,370
AAT3	1	0,625	0,610
AAT3	2	0,375	0,390

Berdasarkan estimasi frekuensi serbuk sari dan sel telur pada setiap lokus isozim, terdapat beragam proporsi serbuk sari dan sel telur pada setiap alel. Pada seluruh lokus yang terdiri atas dua alel, jika pada alel 1 frekuensi serbuk sari lebih tinggi maka pada alel 2 frekuensi sel telur lebih tinggi atau sebaliknya. Walaupun frekuensi serbuk sari dan frekuensi sel telur tidak benar-benar sama pada alel-alel setiap lokus, pola sebaran atau frekuensi serbuk sari dan sel telur seperti demikian menciptakan keseimbangan fungsi serbuk sari dan sel telur pada individu tanaman dan populasi.

Pola sebaran frekuensi serbuk sari dan sel telur yang relatif seimbang tersebut menunjukkan tumbuhan bakau bandul membentuk gamet jantan dan betina secara seimbang dan terus-menerus dari satu generasi ke generasi selanjutnya. Produksi serbuk sari dan sel telur menjamin terjadinya proses fertilisasi guna menghasilkan keturunan (progeni) baru. Dengan demikian sebaran frekuensi

serbuk sari dan sel telur yang seimbang akan menjamin kelestarian jenis.

Nilai-nilai F tetua, t multi lokus, t *singlelocus*, perbedaan $t_m - t_s$, korelasi nilai t, dan korelasi nilai p juga merupakan parameter yang perlu diketahui pada analisis perkawinan silang. Nilai-nilai parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa penaksiran terhadap F tetua, korelasi t, dan korelasi p memiliki nilai negatif. Penaksiran t multi lokus lebih tinggi daripada t *singlelocus*. Pada penaksiran nilai $t_m - t_s$, nilai perbedaan keduanya sebesar 0,018.

Tabel (Table) 3. Penaksiran F tetua, t, perbedaan $t_m - t_s$, dan korelasi t serta p pada anakan bakau bandul (*Estimation of parental F, t, $t_m - t_s$ difference, and correlation of t and p in bakau bandul seedlings*)

Parameter (Parameter)	Hasil penaksiran (Estimates)
F tetua	- 0,197
t multi lokus	0,050
t <i>singlelocus</i>	0,032
Perbedaan $t_m - t_s$	0,018
korelasi t	- 0,875
korelasi p	- 0,184

Nilai F tetua yang lebih kecil dari nol (-0,197) menunjukkan bahwa pada tetua bakau bandul perkawinan cenderung terjadi secara acak. Perkawinan pada tetua terjadi secara bebas di mana serbuk sari dapat menyerbuki sel telur mana saja tanpa ada penghalang (*barier*) tertentu dan sel telur reseptif terhadap semua serbuk sari dari berbagai pohon induk lain. Dapat dikatakan tidak terdapat preferensi tepung sari untuk membuahi sel telur tertentu.

Akan tetapi jika dilihat berdasarkan nilai perbedaan antara $t_m - t_s$, perkawinan pada bakau bandul cenderung mengarah pada sistem perkawinan tertentu. Perbedaan $t_m - t_s$ pada bakau bandul sebesar 0,018. Perbedaan $t_m - t_s$ yang lebih besar dari nol menunjukkan bahwa perkawinan pada tetua bakau bandul bersifat silang dalam (Ge *et al.*, 2003). Jika dilihat dari

besarnya penyimpangan dari angka nol maka kecenderungan ke arah perkawinan yang bersifat random (nilai F = - 0,197) lebih besar daripada kecenderungan tetua bersifat silang dalam ($t_m - t_s = 0,018$). Adanya indikator yang berlawanan ini menunjukkan bahwa tumbuhan bakau bandul termasuk sistem perkawinan campuran (*mixed mating system*).

Korelasi t dan p yang masing-masing bernilai negatif berarti, baik pada derajat perkawinan silang (t) maupun pada besarnya transfer tepung sari (p), faktor yang berpengaruh pada masing-masing parameter tersebut tidak saling mendukung terjadinya perkawinan silang dan transfer tepung sari. Kedua parameter ini memperkuat hasil analisis sebelumnya bahwa tumbuhan bakau bandul memiliki sistem perkawinan campuran, dengan sistem perkawinan utamanya melalui penyerbukan sendiri (*selfing*).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Tumbuhan bakau bandul (*Rhizophora mucronata* Lamk) dari populasi-populasi yang kondisinya relatif tidak rusak memiliki derajat perkawinan silang yang lebih tinggi dibanding populasi yang telah mengalami kerusakan. Tumbuhan bakau memiliki sistem perkawinan campuran, dengan perkawinan sendiri sebagai sistem perkawinan utama. Perkawinan silang pada bakau bandul sebanding dengan perkawinan silang pada bakau merah (*Rhizophora mangle*).
2. Rasio serbuk sari dan sel telur beragam antar lokus dan alel, tetapi menunjukkan pembentukan gamet jantan dan gamet betina yang berimbang. Bakau bandul memiliki sistem perkawinan yang acak di mana setiap *ovule* reseptif terhadap semua polen dari seluruh pohon. Angin dan serangga berperan penting terhadap proses penyerbukan silang yang terjadi.

B. Saran

Disarankan untuk melakukan studi derajat perkawinan silang populasi-populasi bakau bandul pada penyebaran utama lainnya. Penambahan populasi yang diteliti dimaksudkan agar informasi derajat perkawinan silang yang diperoleh akan semakin banyak.

UCAPAN TERIMAKASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari Hibah Penelitian Dasar tentang Keragaman Genetik Mangrove, yang dibiayai oleh DIKTI, Depdiknas tahun 2004. Ucapan terimakasih atas bantuan sebagian bahan penelitian disampaikan kepada Dr. Ir. Iskandar Zulkarnain Siregar, M.For.Sc. melalui *Shorea Project* tahun 2004. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Cecep Kusmana, M.S. dan Prof. Dr. Ir. Amris Makmur, M.Sc. atas kritik dan saran-sarannya untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arulsekhar, S. and D. E. Parfitt. 1986. Isozyme Analysis Procedures for Stone Fruits, Almond, Grape, Walnut, Pistachio, and Fig. *Hort. Sci.* 21 (4): 928-9333.
- Boshier, D. H. 2000. Mating Systems. *In* A. Young, D. H. Boshier, and T. Boyle (eds). *Forest Conservation Genetics: Principles and Practice*: 63-79. CSIRO Publishing, Collingwood.
- Brown, A. D. H., and B. S. Weir. 1983. Measuring Genetic Variability in Plant Population. *In* S. D. Tanksley and T. J. Orton (eds). *Isozymes in Plant Genetics and Breeding. Part A*: 219-240. Elsevier, Amsterdam.
- Departemen Kehutanan. 1993. Hasil Penafsiran Luas Areal Hutan dari Citra Landsat MSS Liputan Tahun 1986-1991. Direktorat Jenderal Inventarisasi dan Tata Guna Hutan. Jakarta.
- Finkeldey, R. 2003. An Introduction to Tropical Forest Genetics. Institute of Forest Genetics and Forest Tree Breeding, Georg-August University, Gottingen.
- Ge, J., B. Cai, dan P. Lin. 2003. Mating System and Outcrossing Rates of Four *Bruguiera gymnorrhiza* Populations of Mangrove, China. *Nature and Science* 1 (1): 42-48.
- Hamzah. 1999. Studi Keragaman Genetik *Rhizophora mucronata* Lamk. Berdasarkan Analisis Isozim. Tesis Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Klekowski, E. J., R. Jr. Lowenfeld, dan P. K. Hepler. 1994. Mangrove Genetics II: Outcrossing and Lower Spontaneous Mutation Rates in Puerto Rican *Rhizophora*. *Int. J. Plant Sci.* 155 (3): 372-381.
- Ritland, K. and S. K. Jain. 1981. A Model for Estimation of Outcrossing and Gene Frequencies Using Independent Loci. *J. Hered.* 47: 235-237.
- Sun, M., K. C. Wong, and J. S. Y. Lee. 1998. Reproductive Biology and Population Genetic Structure of *Kandelia candel* (Rhizophoraceae), A Viviparous Mangrove Species. *American J. of Botani* 85 (11): 1631-1637.
- Tomlinson, P. B. 1986. *The Botany of Mangroves*. Cambridge University Press. Cambridge.