



TAKSONOMI, EKOLOGI DAN SILVIKULTUR

MERBAU

Julius Dwi Nugroho
Irdika Mansur

Editor

Charlie D. Heatubun
Ezrom Batorinding

TAKSONOMI, EKOLOGI DAN SILVIKULTUR
MERBAU

Dr. Ir. Julius Dwi Nugroho, M.Sc
Dr. Ir. Irdika Mansur, M.For.Sc.

Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Provinsi Papua Barat
Gedung Kantor Gubernur Sayap 1 Lt. 2 dan 3
Jl. Brigjen (Purn) Abraham O. Atururi Arfai Manokwari
Papua Barat 98312

MERBAU

Editor

Prof. Dr. Charlie D. Heatubun, S.Hut., M.Si
Ezrom Batorinding, S.Hut., M.Sc

Foto Cover

Alberth Yomo

Desain Cover

J.D.Nugroho

Diterbitkan dan Dicetak oleh

Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Provinsi Papua Barat

ISBN

978-623-93246-5-0



Dicetak dengan Pembiayaan Anggaran

Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah (BALITBANGDA)
Provinsi Papua Barat Tahun 2020

Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

Pasal 1 ayat 1

Hak Cipta adalah hak eksklusif pencipta yang timbul secara otomatis berdasarkan prinsip deklaratif setelah suatu ciptaan diwujudkan dalam bentuk nyata tanpa mengurangi pembatasan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Fungsi dan Sifat Hak Cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi

Pembatasan Perlindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam pasal 23, pasal 24 dan pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- I. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/ atau produk hak terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- II. Penggandaan ciptaan dan atau produk hak terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- III. Penggandaan ciptaan dan atau produk hak terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan fonogram yang telah dilakukan pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- IV. Penggunaan untuk kepentingan Pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu ciptaan dan/ atau produk hak terkait dapat digunakan tanpa izin pelaku pertunjukan, produser fonogram, atau Lembaga penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf i untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/ atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/ atau tanpa izin pencipta atau pemegang hak cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/ atau huruf h untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/ atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah, pada akhirnya kumpulan perjalanan penelitian merbau yang terserak dapat disatukan dalam bentuk buku dengan judul “Taksonomi, Ekologi dan Silvikultur Merbau”. Buku ini merupakan naskah akademik yang dikonstruksi menggunakan berbagai pustaka baik yang berasal dari penulis sendiri maupun dari berbagai pihak yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan.

Buku ini berisikan perkembangan pengetahuan taksonomi, ekologi dan silvikultur merbau yang sangat dibutuhkan berbagai pihak. Dan juga dilengkapi dengan cukup banyak gambar dan grafik yang diharapkan dapat memperkuat penjelasan teks agar pemahaman pengetahuan tentang merbau seperti yang diinginkan dapat terpenuhi. Gambar-gambar dan grafik tersebut berasal dari koleksi pribadi maupun berbagai sumber baik sumbangan multi pihak maupun kutipan seperti tertera pada masing- masing gambar dan grafik. Sekalipun dalam penyajiannya mungkin lebih dirasakan untuk kebutuhan mahasiswa di dalam proses belajar mengajar, namun demikian penulis juga berusaha untuk menyajikan hal-hal praktis terutama dalam hal penerapannya di lapangan, sehingga pengetahuan dalam buku ini juga dapat dimanfaatkan oleh praktisi di bidang kehutanan.

Penerbitan buku ini merupakan bagian dari kerjasama Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Provinsi Papua Barat dan Fakultas Kehutanan Universitas Papua. Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pemerintah Daerah Provinsi Papua Barat melalui Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah (Balitbangda) yang memfasilitasi penerbitan buku ini. Juga kepada Prof. Dr. Charlie D. Heatubun, S.Hut., M.Si. atas saran, arahan dan juga bertindak sebagai penyunting (editor) dan Ir. Max J. Tokede, MS., selaku senior kami yang telah mendorong untuk mewujudkan terbitnya buku ini, sekaligus berkontribusi dalam menelaah isi buku melalui diskusi dan proses editing serta tim editor buku Balitbangda Papua Barat (Prof. Dr. Roni Bawole, M.Si, Dr. Jonni Marwa, S.Hut., M.Si, Dr. Antoni Ungirwalu, S.Hut., M.Sc dan Ezrom Batorinding, S.Hut., M.Sc).

Akhirnya penulis berharap melalui buku ini dapat menyumbangkan secercah pengetahuan untuk kemajuan di dalam pengelolaan hutan alam tropika di Tanah Papua khususnya di dalam pengembangan merbau.

Manokwari, 10 Oktober 2020

Julius Dwi Nugroho
Irdika Mansur

SAMBUTAN

KEPALA BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN DAERAH PROVINSI PAPUA BARAT

Syalom,

Assalamualaikum, Wr. Wb.

Salam Sejahtera bagi kita sekalian,

Pada kesempatan yang berbahagia ini, saya sebagai Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah (BALITBANGDA) Provinsi Papua Barat dan juga sebagai penyunting (editor) menyambut dengan sukacita diterbitkannya Buku **“Taksonomi, Ekologi dan Silvikultur Merbau”** yang ditulis oleh saudara **Dr. Ir. Julius Dwi Nugroho, M.Sc** dan **Dr. Ir. Irdika Mansur, M.For. Sc** berdasarkan naskah akademik yang dikonstruksi menggunakan berbagai pustaka baik yang berasal dari penulis sendiri maupun dari berbagai sumber yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dan menjadi referensi ilmiah yang up to date dan komprehensif namun tetap mudah untuk dipergunakan baik di kelas maupun di lapangan.



Sudah sejak lama merbau dikenal terutama di dunia perdagangan hasil hutan kayu dan menjadi jenis andalan yang diperdagangkan dari Tanah Papua. Eksploitasi yang telah dilakukan selama bertahun-tahun mengkhawatirkan keberlangsungan populasi merbau di hutan alam, dimana tren populasinya menurun sehingga IUCN di tahun 2020 ini, menetapkan status populasinya mendekati terancam (NT - Near Threatened). Namun dibalik kekhawatiran tersebut, peluang untuk melestarikan merbau lewat tindakan silvikultur sangat dimungkinkan dan memberi harapan untuk masa depan merbau di Tanah Papua.

Penerbitan buku **“Taksonomi, Ekologi dan Silvikultur Merbau”** merupakan salah satu bentuk Kerjasama BALITBANGDA Provinsi Papua Barat dan Fakultas Kehutanan Universitas Papua. Buku ini merupakan hasil berbagai penelitian dan pustaka yang dirangkum menjadi satu buku. Saya berharap buku ini dapat bermanfaat sebagai sumber penyedia informasi ilmu pengetahuan dan teknologi terkait pengembangan jenis pohon komersil merbau di Tanah Papua, secara khusus di Provinsi Papua Barat. Buku ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi para akademisi, peneliti, mahasiswa, rimbawan dan para pengguna lainnya

serta juga instansi terkait dalam mengetahui dan mendalami pengetahuan tentang merbau di hutan alam tropika Papuaasia.

Sebagai sebuah institusi riset dan inovasi di daerah dan sekaligus sebagai lembaga akademik di Birokrasi Pemerintahan Daerah, BALITBANGDA Provinsi Papua Barat memiliki tugas dan tanggung jawab untuk mendifusi ilmu pengetahuan, teknologi dan seni yang meliputi diseminasi dan publikasi baik ilmiah maupun populer dalam rangka meningkatkan literasi di masyarakat. Upaya penulisan dan penerbitan di BALITBANGDA Provinsi Papua Barat adalah program utama yang harus terus didukung dan dikembangkan sehingga target untuk menjadikan Papua Barat sebagai “tuan rumah” atau pusat informasi dan rujukan bagi sumber pengetahuan dan informasi tentang Tanah Papua (New Guinea) dapat segera terwujud.

Saya menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada para penulis, editor dan semua yang telah berkontribusi dalam mempersiapkan dan menerbitkan referensi ilmiah mengenai Merbau ini. Semoga buku ini yang merupakan karya monumental dapat bermanfaat dan memberikan khazanah ilmu pengetahuan bagi para pembaca dan masyarakat secara luas.

Manokwari, 10 Oktober 2020
Kepala Balitbangda Provinsi Papua Barat

Prof. Dr. Charlie D. Heatubun, S.Hut., M.Si

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	IV
DAFTAR ISI	VI
DAFTAR TABEL	VIII
DAFTAR GAMBAR	X
BAB I. PENDAHULUAN	16
BAB II. TAKSONOMI MERBAU	21
Klasifikasi dan Tatanama Merbau (<i>Intsia</i>)	22
Klasifikasi	22
<i>Intsia bijuga</i> (Colebr.) O. Kuntze	23
<i>Intsia palembanica</i> Miq.	24
Nama Lokal (Vernacular Name)	26
Persebaran Merbau	26
Status Konservasi	28
BAB III. EKOLOGI MERBAU	29
Tempat Tumbuh Merbau	30
<i>Ketinggian Tempat</i>	31
<i>Toleransi terhadap Genangan</i>	31
Struktur Tegakan Alam Merbau	34
<i>Model Struktur Tegakan Merbau</i>	34
<i>Struktur Populasi Merbau Berdasarkan Tingkat Pertumbuhan</i>	35
<i>Nilai Penting Merbau dalam Komunitas Hutan</i>	37
Asosiasi Merbau dengan Jenis Lain	40
Kerapatan Individu dalam Populasi	42
Pola Sebaran Individu Merbau di Alam	43
Ekologi Regenerasi Merbau	45
<i>Kerapatan Regenerasi Merbau</i>	46
<i>Sebaran Regenerasi Merbau dari Pohon Induk</i>	48
<i>Seed Bank, Seedling Bank dan Bukaak Tajuk (Gap)</i>	49
BAB IV. SILVIKULTUR MERBAU	53
Biologi Perkecambahan dan Penanganan Benih Merbau	54
Morfologi dan Variasi Biji Merbau	54
Dormansi dan Biologi Perkecambahan Biji Merbau	55
Pemanenan, Penanganan dan Penyimpanan Benih Merbau	60
Pemanenan Benih	60

Penanganan dan Penyimpanan Benih	60
Perbanyak Tanaman Merbau	61
Perbanyak merbau melalui biji (reproduktif)	61
Prosedur perbanyak merbau menggunakan biji	62
Perlakuan Awal Dalam Perkecambahan Merbau	62
Pengaruh ukuran benih terhadap perkecambahan merbau	66
Perbanyak merbau (intsia bijuga) melalui Penyetekan (cuttings)	69
Prosedur perbanyak merbau melalui stek	70
Media pengakaran stek merbau	70
Bahan stek merbau	71
Pengaruh penggunaan zat pengatur tumbuh dalam pengakaran stek	74
Karakteristik pengakaran pada stek merbau	76
Perbanyak merbau melalui penyambungan (Grafting)	77
Penyiapan bahan tanaman untuk grafting	77
Metode grafting	78
Keberhasilan grafting merbau	79
Perbanyak merbau melalui teknik cabutan dan Puteran alami	79
Perbanyak merbau melalui teknik kultur in vitro	80
Simbiosis fungi ektomikoriza dengan merbau dan Pemanfaatannya	85
Karakter morfologi fungi ektomikoriza Scleroderma SP. dan Morfotipe ektomikoriza pada i. Bijuga	87
Pembangbiakan fungi ektomikoriza Scleroderma SP.	88
Pembangbiakan Scleroderma SP. Secara in vitro	90
Pembangbiakan scleroderma SP. Secara In Vivo	93
Spesifisitas merbau [I. Bijuga (Colebr.) O. Kuntze] dalam pemilihan simbiannya	95
Hama dan penyakit pada merbau	97
Hama dan penyakit merbau	97
Hama penggerek batang merbau (stem borer)	99
Hama pemakan daun merbau (leaf feeder)	103
Hama kutu pengisap cairan (sap sucker)	104
Penyakit pada merbau	105
Status dan siklus unsur hara merbau	106
Keragaman genetik dan sistem breeding merbau	110
Sistem breeding merbau	112
Fenologi dan pertumbuhan merbau	113
Pertumbuhan merbau	115
Pengalaman budidaya merbau	119
Penutup	122
Daftar Pustaka	124

DAFTAR TABEL

Tabel 1.

Kerapatan pohon (N/ha) I. bijuga (Ib) dan I. palembanica (Ip) di beberapa lokasi hutan di Papua dan Papua Barat 42

Tabel 2.

Nilai Frekuensi (F) dan Frekuensi Relatif (FR) I. bijuga (Ip) dan I. palembanica (Ip) tingkat pohon di hutan dataran rendah di Papua dan Papua Barat 44

Tabel 3.

Pola sebaran spasial individu pohon merbau di dalam komunitasnya di hutan hujan tropis Papua berdasarkan indeks Morisita 45

Tabel 4.

Nilai kerapatan dan Frekuensi permudaan I. bijuga (Ib) dan I. palembanica (Ip) di hutan utuh maupun bekas tebangan (LOA) di beberapa daerah Papua dan Papua Barat. 46

Tabel 5.

Pengaruh intensitas naungan dan letak benih merbau terhadap daya perkecambahan (D), laju perkecambahan (L), rata-rata perkecambahan harian (R), diameter (Diam.) dan tinggi (T) 50

Tabel 6.

Benih terimbibisi (%) dan daya kecambah (%) setelah benih merbau (I. bijuga dan I. palembanica) diberi perlakuan awal (pre-treatment). 65

Tabel 7.

Rata-rata benih merbau [Intsia bijuga (Colebr.) O. Kuntze] berimbibisi (%) setelah perlakuan awal pelukaan, perendaman dalam larutan sodium hipoklorit NaOCl 5,25% dan pembakaran pada benih dengan ukuran benih yang berbeda 67

Tabel 8.

Keberhasilan penyetekkan menggunakan ZPT dengan cara celup cepat ke dalam IBA+NAA (1000 ppm/500 ppm) dan cara oles menggunakan pasta Rootone F pada stek merbau asal pohon dewasa berdiameter 35 cm

73

Tabel 9.

Pengaruh Pemberian ZPT auksin IBA+NAA dalam menstimulasi pembentukan akar merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze] 4 minggu setelah tanam

75

Tabel 10.

Karakter biakan *Scleroderma* sp pada media Modified Melin-Norkrans (MMN) padat dan semi-cair (Nugroho 2010)

93

Tabel 11.

Intensitas Serangan dan Jumlah Lubang gerkakan per pohon hasil serangan ngengat *Cossidae* pada merbau

102

Tabel 12.

Perbandingan kandungan kimia serasah *Intsia bijuga* (Ib) yang baru jatuh dibandingkan dengan jenis tanaman hutan lainnya (Pa=*Palaquium amboinensis*, Pc=*Pometia coreaceae*, Vp=*Vatica papuana*, Ah=*Araucaria hunstenii*)

107

Tabel 13.

Perbedaan sifat kimia tanah di bawah tegakan *Intsia bijuga* (Ib) dengan jenis tanaman hutan lainnya (Pa=*Palaquium amboinensis*, Pc=*Pometia coreaceae*, Vp=*Vatica papuana*, Ah=*Araucaria hunstenii*) pada kedalaman tanah yang berbeda. Sifat tanah hutan alam (Nf) yang berada di dekat petak tanaman ke lima jenis tersebut dijadikan sebagai pembanding.

108

Tabel 14.

Panjang waktu setiap tahapan dalam pembungaan dan pembuahan pada *Intsia bijuga*.

114

Tabel 15.

Riap Pertumbuhan Diameter dan Tinggi Tanaman Merbau dari berbagai sumber.

116

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.

Pohon merbau dengan ukuran diameter > 2 m merupakan salah satu jenis penyusun utama dalam ekosistem hutan hujan dataran rendah di Papuaia dan merupakan jenis utama yang dikeluarkan dari hutan untuk diperdagangkan

19

Gambar 2.

Karakter morfologi merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze]. (A) daun majemuk merbau; (B) buah polong merbau saat masih muda dan (C) saat masak dengan (D) biji yang berkulit keras berwarna coklat tua-kehitaman dengan ukuran bervariasi (E) bunga biseksual, (F) batang

24

Gambar 3.

Karakter morfologi *I. palembanica* Miq. (A) anak daun yang menyempit dengan ujung meruncing (acuminate) dengan jumlah anak daun 3 pasang, (B) polong, (C) biji dan karakteristik batang; (E) herbarium *I. palembanica* dengan variasi pada bentuk anak daun yang melebar dan polong lebih panjang (he

25

Gambar 4.

Sebaran geografis *Intsia bijuga* (garis solid) dan *I. palembanica* (garis terputus-putus) di dunia

26

Gambar 5.

Sebaran *I. bijuga* dan *I. palembanica* di Papuaia berdasarkan catatan herbarium_

28

Gambar 6.

Pohon merbau (*Intsia bijuga*) di daerah Agats, Papua yang mati akibat genangan permanen, meninggalkan tunggak-tunggak mati dengan sebagian masih menampakkan adanya trubusan

32

Gambar 7.

Struktur Populasi *Intsia bijuga* dan *I. palembanica*. di Hutan Alam Primer dan LOA di beberapa lokasi di Papua dan Papua Barat, angka dalam kurung merupakan nilai simpangan baku

36

Gambar 8.

Indeks Nilai Penting (INP) merbau (*Intsia bijuga* dan *I. Palembangica*) tingkat pohon pada beberapa lokasi hutan di Papua Barat.

38

Gambar 9.

Kedudukan *Intsia bijuga* di hutan dataran rendah Gunung Meja Manokwari dengan ketinggian tempat 70-174 m dpl yang menempati strata tajuk tengah bersama dengan jenis lainnya yang berasosiasi dengannya

39

Gambar 10.

Kerapatan semai *Intsia bijuga* yang sangat tinggi di sekitar tunggak pohon di areal bekas tebangan LOA 3 tahun. Menunjukkan peran stok benih di lantai hutan (*seed bank*) dalam menghasilkan semai merbau. Semai merespon terjadinya bukaan (*gap*) dan terjadi kompetisi keras antar sesamanya maupun dengan jenis lainnya untuk mendapatkan ruang tumbuh yang dapat menyebabkan kematian sebagian besar semai

47

Gambar 11.

Kerapatan pancang merbau (*Intsia palembanica*) berhubungan erat ($\rho < 0.05$, $n = 10$) dengan jarak dari pohon induk terdekat

48

Gambar 12.

(a) bentuk morfologi biji merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze] bervariasi. Mulai dari gambar atas kanan ke kiri dan gambar bawah kanan ke kiri, biji berbentuk pipih seperti spatula, bulat (globose) hingga oval (eliptikal), mendekati bentuk hati (kordata) hingga mendekati bentuk persegi empat (oblong). (b-c) bentuk dan ukuran biji tergantung letaknya saat terbentuk dalam polong buah merbau.

56

Gambar 13.

Variasi bobot biji merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze]. A-E = lokasi pengambilan biji, dan F merupakan variasi gabungan bobot biji dari seluruh lokasi pengambilan biji. Bar dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji-t ($p < 0,05$).

57

Gambar 14.

Struktur biji dan proses imbibisi pada merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze]. (a) penampakan penampang melintang

biji merbau. T=testa (seed coat), Pl=plumula, Hyp=hipokotil, R=radikula, C=kotiledon dan Hil=hilum; (b) anatomi testa sebelum terjadinya imbibisi Cut=kutikula, MS=sel makroskleroid sel, Os=sel osteoskleroid, Pa=sel parenkim; (c) imbibisi telah terjadi dan tampak pelepasan testa; (d) biji yang telah terimbibisi, (e) kulit terluar telah terlepas menampakkan sebagian testa bagian dalam yang tersisa, demikian pula kotiledon tampak telanjang

58

Gambar 15.

Proses perkecambahan benih merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze]. (a) penampakan embrio setelah perlakuan awal (0 hari); (b) pemanjangan plumula dan radikel terjadi pada 5 hari setelah penyemaian; (c) akar telah ke luar pada 8 hari setelah penyemaian; (d dan e) akar cabang mulai terbentuk dan pemanjangan plumula berlanjut pada 14 hari setelah penyemaian, walau kotiledon masih tertutup; (f) pemunculan daun pertama dari dalam kotiledon pada 16 hari setelah penyemaian .

59

Gambar 16.

Urutan pekerjaan dalam perbanyakan merbau secara vegetatif dimulai dari pengunduhan, ekstraksi dan seleksi biji, perlakuan awal benih (*pre-treatment*) hingga penyapihan hasil perkecambahan

63

Gambar 17.

Pengaruh perlakuan awal benih (P = NaClO 5.25%+air panas; B=bakar+ NaClO 0.525%+air panas; L=pelukaan+NaClO 0.525%+air panas) terhadap daya berkecambah (G), rata-rata benih berkecambah per hari (MDG), rata-rata waktu untuk berkecambah (MGT) dan tinggi kecambah merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze]. Bar dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan (DMRT, $p < 0.05$). Percobaan menggunakan benih yang telah disimpan selama 2 tahun .

64

Gambar 18.

Pengaruh ukuran benih (kecil $< 2,25$ g, sedang $2,25-3,25$ g, besar $> 3,25$ g) terhadap daya berkecambah (G), rata-rata benih berkecambah per hari (MDG), rata-rata waktu untuk berkecambah (MGT) dan tinggi kecambah merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze]. Bar dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan (DMRT, $p < 0,05$). Percobaan menggunakan benih yang telah disimpan selama 2 tahun.

68

Gambar 19.

Keragaan anakan merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze] umur 30 hari setelah tanam yang dihasilkan oleh benih dengan ukuran besar (>3,25 g) jauh lebih baik dibandingkan benih berukuran sedang (2,25-3,25 g) dan kecil (<2,25 g)

69

Gambar 20.

Tahapan pekerjaan penyetekan merbau dari penyiapan alat dan bahan tanaman, perlakuan ZPT hingga penanaman dalam bak penyetekan *non-mist*

71

Gambar 21

Bahan stek diambil dari bagian apikal (ruas 1-3) dan bagian basal (ruas 4-6) pucuk merbau (*I. bijuga*).

72

Gambar 22.

Perbedaan hasil penyetekan merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze] menggunakan auksin sebagai perlakuan setelah 4 minggu ditanam. (a) Kontrol (tanpa auksin); (b) 1000 ppm IBA/500 ppm NAA; (c) 2000 ppm IBA/1000 ppm NAA; (d) 3000 ppm IBA/1500 ppm NAA.

75

Gambar 23.

Karakteristik pengakaran pada stek merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze]. (a) pembentukan kalus merupakan penciri awal dalam pengakaran stek merbau (tanda panah); (b) akar adventif muncul pada ruas stek (internode); (c) tunas tumbuh pada buku (node) bagian basal yang seharusnya diharapkan sebagai tempat munculnya akar. Tanda panah putih buku bagian atas, tanda panah hitam buku bagian basal

76

Gambar 24.

Metode penyambungan (grafting) pada merbau. Keberhasilan grafting sangat ditentukan oleh tingkat juvenilitas tanaman bawah (root stock) maupun tanaman atas (scion)

78

Gambar 25.

Perjalanan perkembangan keberhasilan stek mikro merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze]. (A) inisiasi tunas stek mikro merbau; (B) tunas stek mikro yang telah tumbuh mengalami defoliasi dini; Inisiasi tunas samping terjadi dengan baik pada media DKW diperkaya dengan

BAP 10^{-6} + NAA 10^{-6} M+ ascorbid acid 0,1 g/l; (C) Media multiplikasi dengan formulasi media dasar DKW+BAP 10^{-8} M+NAA 10^{-6} M+ ascorbid acid 0,1 g/l menghasilkan pertumbuhan roset pada eksplan; (D) Inisiasi juga terjadi dengan baik pada media DKW+Kinetin 10^{-8} M 85

Gambar 26.

Sporokarp fungi ektomikoriza yang umum dijumpai berasosiasi dengan tegakan *I. bijuga* di Papua. (A). *Russula sp.*, (B). *Scleroderma sp.*, dan (C). *Ramaria sp.* 86

Gambar 27.

Karakter *Scleroderma sp* (a) sporokarp berbentuk globose hingga tak beraturan; (b) potongan memanjang dari sporocarp memperlihatkan peridium berwarna putih kekuningan mengandung massa spora berwarna coklat terang kekuningan; (c) sporokarp dewasa; dengan massa spora berwarna coklat (d) basidiospora di lihat dengan mikroskop dan (e) basidiospora menampakkan ornamentasi retikulat di bawah *Scanning electron microscope*; (f) sambungan apit 89

Gambar 28.

Penampakan Ektomikoriza pada merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze] bentuk asosiasi dengan *Scleroderma sp.* (a) percabangan monopodial pinnate pada sistem akar berektomikoriza merbau; (b) Penampakan ujung akar berektormikoriza merbau dengan ayaman miselia yang rapat dilihat di bawah *Scanning electron microscope* (SEM); (c) Mantel ektomikoriza yang tebal pada akar bermikoriza merbau; (d) morfotipe mantel dengan tipe jaringan mantel pseudoparenchymatous. M=matel, HN=hartig net, E=sel epidermis, C=sel kortek, En=Sel Endodermis 90

Gambar 29.

Karakter kultur *in vitro Scleroderma sp.* (a) kultur berumur 2 bulan pada media agar Modified Melin-Norkrans (MMN) padat, tampak atas, dengan agregat miselia berwarna putih kekuningan dan berstruktur halus, (b) tampak bawah, berwarna coklat tua kekuningan dengan pinggir putih kekuningan (c) eksudat yang dihasilkan berwarna kuning kecoklatan; (d) Gumpalan-gumpalan agregat miselium hasil dari kultur berumur 2 bulan pada media MMN semi cair (agar 0.3%) 92

Gambar 30.

Pembentukan ektomikoriza dan badan buah *Scleroderma sp* pada

rhizofir anakan merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze] dalam kontainer kaca yang diinokulasi menggunakan inokulum suspensi spora. (a) ujung akar bermikoriza mulai tampak saat anakan berumur 4 bulan setelah tanam, (b) ektomikoriza muncul di permukaan tanah dekat pangkal batang saat 5 bulan setelah tanam, (c) ujung akar bermikoriza saat 5 bulan setelah tanam, (d) ujung akar bermikoriza saat 8 bulan setelah tanam, (e) sporokarp *Scleroderma* sp. (tanda panah) terbentuk saat 8 bulan setelah tanam, dan (f) pembentukan ektomikoriza telah merata pada seluruh perakaran satu tahun setelah tanam

95

Gambar 31.

Kerusakan benih merbau (*Intsia bijuga*) yang ditinggalkan kumbang Anobiid saat penyimpanan benih

97

Gambar 32.

Karakteristik kumbang betina dewasa *anobiid*. (A) tampak bagian lateral; (B) tampak bagian dorsal; (C) prosternum menunjukkan adanya coxa cavities(cxc) yang tertutup dengan sterna (stn); (D) abdomen bagian basal, tampak bagian ventral yang menunjukkan karakter Polyphaga yaitu posisi hind coxa (hc) terhadap abdominal sterna (as); (E) ciri bentuk kepala dan pronotum; (F) mandibel; (G) pola pubescent elytra; (H) Antena tipe *capitate* dengan tiga segmen membesar (tiga *clubs*) pada ujungnya; (I) kaki belakang; (J) tarsus terdiri atas tiga segmen dengan segmen terakhir berukuran lebih kecil

98

Gambar 33.

Ngengat Cossidae pada fase imago, larva dan Pupa

100

Gambar 34.

(A) Larva Cossidae dalam lubang gerakannya yang dapat mencapai bagian pith; (B) pupa pada posisi lubang ke luar; (C) Serangan Cossidae yang ditandai adanya cairan coklat tua ke luar dari batang (E dan D) pola gerakan melingkar dengan pembengkakan batang

101

Gambar 35.

Grafik sebelah atas (A=tanaman muda dan B=tanaman dewasa) menunjukkan preferensi ngengat Cossidae yang cenderung menginventasi tanaman merbau muda; grafik sebelah atas menunjukkan kecenderungan ngengat Cossidae memilih batang utama merbau sebagai tempat larva berkembang

102

Gambar 36.

Eurema hecabe, hama pemakan daun merbau pada saat fase pupa dan dewasa (♀)

103

Gambar 37.

Infestasi kutu putih (*Dysmicoccus brevipes*) pada merbau bukan saja pada bagian tajuk, namun sampai daerah perakaran

104

Gambar 38.

(a) Serangga pengisap *Insnesia glabrascuta* dewasa meletakkan telurinya pada batang dan daun; (b) nimfa *Insnesia glabrascuta* dengan densitas tinggi mengisap cairan jaringan tanaman .

105

Gambar 39.

Penyakit yang terbawa oleh benih merbau ataupun media persemaian saat melakukan pekerjaan penyemaian

105

Gambar 40.

Pertumbuhan merbau: (A-B) I. *bijuga* saat berkecambah (berumur 30 hari); (C) anakan I. *bijuga* umur 2 tahun di persemaian dengan tinggi 30-50 cm, (D) pohon I. *bijuga* berumur 48 tahun dengan diameter 80 cm di Arboretum Universitas Papua; (E) I. *bijuga* umur 3 tahun yang ditanam di tempat terbuka di PT. Bukit Asam; (F) anakan I. *palembanica* saat berkecambah (berumur 30 hari), (G) anakan I. *palembanica* saat berumur 2 tahun dengan tinggi > 100 cm.

118

Gambar 41.

Pengalaman budidaya *Intsia bijuga*. (A) Bibit siap tanam di persemaian di PT. Bukit Asam; (B) Penyiapan bibit melalui puteran di PT. AMNT; (C) Kebun Benih di PT. Bukit Asam; (D) Dr. Jesus C. Fernandez menunjukkan merbau umur 2 tahun yang ditanam di tempat terbuka telah berbuah; (E) bibit yang ditanam di bawah naungan sengon (*Falcataria moluccana*) mampu menunjukkan pertumbuhan tinggi yang normal; (F) penanaman merbau di antara tanaman kayu putih (*Melaleuca leucadendron*).

120

A photograph of a tall, slender tree trunk in a dense, lush green forest. The tree trunk is the central focus, extending from the bottom towards the top of the frame. The surrounding foliage is thick and vibrant green, with various leaf shapes and textures visible. Sunlight filters through the canopy, creating a dappled light effect. A semi-transparent white rectangular box with a thin black border is centered over the tree trunk, containing the text 'BAB I PENDAHULUAN' in a bold, black, serif font.

**BAB I
PENDAHULUAN**

Merbau (*Intsia* spp.) tergolong dalam family *Fabaceae*, subfamily *Caesalpinioideae* (PROSEA 1994; Thaman *et al* 2004; UNEP 2005). Merbau di Indonesia terdiri atas tiga jenis, yaitu *Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze, *Intsia palembanica* Miq. (PROSEA 1994), yang dalam perdagangan tidak dibedakan satu sama lainnya. Kedua jenis ini sering dijumpai dengan ukuran pohon yang besar dan tinggi dalam formasi di hutan alam dataran rendah tropika basah. Kedua jenis tersebut paling banyak dikeluarkan dari dalam hutan alam Papua dibandingkan jenis pohon lainnya. (PROSEA 1994; Thaman *et al.* 2004).

Kayu merbau saat ini dianggap sebagai salah satu jenis kayu yang paling berharga di daerah Asia Tenggara karena kekuatan dan keawetannya. Kayu merbau memiliki kelas kuat I-II yang cocok untuk kontruksi berat dan kelas awet I tahan terhadap serangan cendawan, maupun serangga perusak kayu termasuk *marine borer* (Tokede *et al.* 2013). Kayu gergajian dan kayu bulat merbau hingga tahun 2009 dihargai sebesar US\$ 850 per meter kubik dan US\$ 360 per meter (Kementerian Kehutanan Republik Indonesia 2009). Jenis kayu ini banyak digunakan untuk bahan konstruksi umum, papan *flooring* dan *furniture*. Secara tradisional jenis kayu ini juga banyak digunakan oleh masyarakat lokal untuk bahan ukiran, perahu, tombak, panah, peralatan rumah tangga maupun bahan bangunan rumah tradisional (PROSEA 1994).

Potensi tegakan merbau Indonesia terutama dijumpai di bagian Timur Indonesia, yaitu di Pulau Sulawesi, Kepulauan Maluku dan terbesar di Papua. Merbau sebenarnya menyebar cukup luas dari Madagaskar hingga ke Kepulauan Pasifik, namun menariknya habitus terbaik jenis ini didapati di daerah Pulau New Guinea (PNG dan Papua, Indonesia). Merbau dijumpai memiliki ukuran *merchantable* yang besar dengan diameter dan tinggi bebas cabang yang sulit untuk dibandingkan dengan pertumbuhan merbau yang dijumpai di daerah lain (Gambar 1). Keadaan demikian menyebabkan daerah Papua merupakan sentra utama penghasil kayu merbau yang mensuplai kebutuhan kayu dunia.



Gambar 1. Pohon merbau dengan ukuran diameter > 2 m merupakan salah satu jenis penyusun utama dalam ekosistem hutan hujan dataran rendah di Papuaasia dan merupakan jenis utama yang dikeluarkan dari hutan untuk diperdagangkan

Sejarah pemanfaatan merbau sebagai penghasil kayu bagi tujuan ekspor dimulai sekitar tahun 1970 an, saat dicanangkannya sistem HPH dalam pengelolaan hutan alam oleh pemerintah. Sebenarnya potensi merbau terutama di daerah Papua sudah diketahui sejak lama. Pada tahun 1938, E.M. Dress telah melakukan survei telaah diskripsi botanis *Intsia* spp. dan menyatakan adanya potensi ekonomi yang tinggi pada jenis ini untuk dikembangkan. Ironisnya, setelah penjajahan Belanda perhatian terhadap merbau oleh pemerintah tidak terlalu intensif. Pengembangan merbau sejak meningkatnya kegiatan HPH, hanya lebih terfokus kepada pemanfaatan secara ekonomi yaitu dengan mengeksploitasi hutan alam yang memiliki potensi jenis tersebut.

Perkembangan penelitian jenis merbau sangat lambat kemajuannya dan tidak ditetapkan secara strategis sasarannya untuk menjawab tantangan ke depan. Penelitian-penelitian yang ada lebih terpusat pada jenis *Intsia bijuga* (Colebr) O. Kuntze dan sebagian kecil dari kerabat dekatnya *Intsia palembanica* Miq. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan juga terfragmentasi pada lembaga-lembaga penelitian maupun pendidikan tinggi yang sebagian besar tidak dipublikasikan. Berbagai kelemahan tersebut disebabkan kurangnya koordinasi penelitian antar lembaga di tingkat nasional yang juga menyebabkan sering terjadi duplikasi topik penelitian yang menyebabkan inefisiensi dalam pengembangan merbau.

Keterbatasan informasi yang dapat diakses oleh pengguna yang memerlukan bagi pengembangan jenis merbau menjadi suatu kendala dalam penanganan merbau secara serius. Di lain pihak hasil-hasil penelitian tentang merbau baik yang dipublikasi maupun tidak tersebar di berbagai institusi dan media terbitan. Padahal untuk mengembangkan merbau ke depan, baik untuk mempertahankan kelestariannya di alam maupun untuk pembangunan hutan tanaman, penguasaan pengetahuan tentang merbau mutlak diperlukan dan melalui buku ini merupakan suatu awal usaha untuk mengumpulkan dan menyediakan informasi tentang taksonomi, silvikultur dan ekologi/ekofisiologi merbau.yang selama ini telah diketahui tetapi tidak dipublikasikan. Bahasan dalam buku ini lebih banyak mengacu pada referensi khusus merbau asal Papua.

A photograph of a large tree trunk in a dense forest. The tree trunk is the central focus, showing a rough, textured bark. The surrounding forest is lush with green foliage, including various leaves and branches. The lighting is natural, suggesting a sunny day with some shade. A semi-transparent white rectangular box is overlaid on the tree trunk, containing the text "BAB II TAKSONOMI MERBAU".

BAB II
TAKSONOMI MERBAU

KLASIFIKASI DAN TATANAMA MERBAU (*INTSIA*)

KLASIFIKASI

Intsia di dunia terdiri atas 8 jenis yang dapat dijumpai menyebar dari Afrika Timur, Madagaskar hingga Melanesia, Mikronesia dan Australia Utara. Di Malesia tercatat 3 jenis yaitu *I. Intsia bijuga*, *I. Intsia palembanica* dan *I. acuminata*. Jenis *I. bijuga* merupakan jenis yang memiliki penyebaran paling luas. Di Papua dan Papua Barat dijumpai jenis *I. bijuga*, *I. palembanica* dan kemungkinan *I. acuminata*, walaupun demikian keberadaan *I. acuminata* perlu ada telaah lebih lanjut untuk memastikan kebenarannya (PROSEA 1994). Pada telaah taksonomi lebih lanjut *I. acuminata* dianggap sebagai sinonim dari *I. palembanica* (Hou 1994).

Merbau (*Intsia* spp.) tergolong dalam famili *Fabaceae*, subfamily *Caesalpinioideae* (Thaman *et al.* 2004; UNEP 2005), yang berkerabat dekat dengan genera *Pahudia* Mig. (Malesia) dan *Afzelia* J.E. Sm. (Afrika) (Hou 1994). Klasifikasi tatanama botanis secara lengkap adalah sebagai berikut:

Kingdom: Plantae (tumbuhan)
 Subkingdom: Tracheobionta (berpembuluh)
 Kelas: Magnoliopsida (berkeping dua/dikotil)
 Ordo: Fabales
 Familia: Fabaceae
 Genus: *Intsia* Thouars
 Species: *Intsia bijuga*, *Intsia palembanica*

Hou (1994) memberikan kunci jenis untuk membedakan antara *I. bijuga* dan *I. palembanica* yang bertumpu pada karakteristik daun, bunga dan buah sebagai berikut:

1a. Daun 2- (atau 3-) pasang, jarang 1-pasang ke arah ujung batang atau bawah. **Pembungaan.** Hypanthium 6-10 (-16) mm panjangnya, umumnya sama panjangnya dengan calyx lobes. Style c. 4 cm. Polong (Pods) 8.5-15 (-28) X 4-5 (-7.2) cm1. **I. bijuga**

1b. Daun 4-pasang, jarang memiliki 2-, 3- atau 5-pasang. **Pembungaan** Hypanthium 3-4 mm panjangnya, lebih pendek dari calyx lobes (umumnya panjang 6-8 mm). Style 2-3.5 cm. Polong (Pods) 15-19 (-40) x 6-7 (-9) cm

..... 2. **I. palembanica**

INTSIA BIJUGA (COLEBR.) O. KUNTZE

Sinonim: *Intsia amboinensis* DC (1826), *Afzelia bijuga* (Colebr.) A. Gray (1854), *Intsia retusa* (Kurz) O. Kuntze (1891). Merbau merupakan pohon berukuran besar, saat dewasa di daerah Pasifik dapat mencapai tinggi bebas cabang 7-25 m dengan diameter 0,5 – 1 m (Thaman *et al.* 2004). Bahkan di hutan alam Papua, merbau dapat dijumpai memiliki ukuran raksasa, dengan tinggi bebas cabang lebih dari 30 m dan diameter batang >200 cm (Untarto 1998). Merbau memiliki batang tidak silindris sempurna, tidak tegak lurus sempurna, dan memiliki banir hingga 2 m tingginya (Dinas Kehutanan Irian Jaya 1976). Kulit batang dilapisi semacam sisik yang bila terlepas akan meninggalkan cekungan kecil dan dangkal berbentuk sirkular.

Daun hijau muda mengkilat, berupa daun majemuk berpasangan (pinata), anak daun berjumlah 2 (jarang), 4-6, panjang 8-15 cm, elip lebar, asimetrik. Anak daun terminal menggantung. Petiole dan rhachis (1.5—) 2.5—11.5 cm long, glabrous. Leaflets (melebar) elliptic, ovate, obovate, jarang suborbiculate, (2.5—) 5—10 (—18) by (1.5—)4—6(—12) cm; bagian apex obtuse, bulat, kadang acuminate pendek, jarang agak berlekuk; bagian basal acute, cuneate, atau obtuse, sering agak asimetrik; petiolules 2-6 mm. Infloresensia hingga 10 (—17) cm panjangnya, memiliki pubescent, glabrescent, atau glabrous; pedicels 7-12 mm (Hou 1994).

Bunga biseksual, 4 sepal berwarna kehijauan, korola tereduksi menjadi satu petal yang besar, memiliki 3 stamen dengan 7 staminod. Petal warna putih atau merah jambu hingga ungu atau merah, dengan bagian tengahnya berwarna merah. Bunga-bunga tumbuh dari bagian aksilar atau terminal *corymbose panicle*.



Gambar 2. Karakter morfologi merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze]. (A) daun majemuk merbau; (B) buah polong merbau saat masih muda dan (C) saat masak dengan (D) biji yang berkulit keras berwarna coklat tua-kehitaman dengan ukuran bervariasi (E) bunga biseksual, (F) batang (Sumber Foto: Nugroho 2010)

Buah merbau merupakan buah polong yang tebal dan kaku, panjang ± 10 cm dengan lebar mencapai 30 cm. Setiap polong buah berisi 2-8 biji berwarna coklat gelap, pipih dengan lebar 2-4 cm dan berkulit keras (Thaman *et al.* 2004). Polong akan pecah saat matang. Dalam satu polong, biji dapat bervariasi bentuknya mulai dari bulat (globose), spatula, oval (eliptikal), mendekati bentuk hati (kordata) hingga mendekati bentuk persegi empat (oblong) (Nugroho 2010).

INTSIA PALEMBANICA MIQ.

Sinonim: *Azfelia palembanica* (Miq.) Baker (1879), *Intsia bakeri* (Prain) Prain (1901), *Intsia plurijuga* Harms (1917), *Intsia acuminata* auct non Merr. (1979). Pohon berukuran sedang hingga besar dengan tinggi hingga 50 m dan tinggi bebas cabang mencapai 22 m. Batang dapat lurus atau agak bengkok. Diameter batang dapat mencapai >150 cm, kadang berbanir hingga 7 m tingginya. Kulit batang agak halus, tanpa retakan, bersisik (PROSEA 1996 & Hou 1994).

Daun 4-pasang, beberapa 2-, 3-, atau 5-pasang; petiole and rachis (3.5—9.5—17.5(—26) cm, keduanya puberulous, glabrescent. Anak daun ovate, elliptik, terkadang ovate lebar atau elips, atau suborbicular, jarang obovate atau lanceolate, (3—)10—13.5(—18.5) x (3—)5—7.5(—10.5) cm; bagian apex obtuse atau bulat, kadang agak berlekuk, acuminate (pendek); bagian basal obtuse, membulat, cuneate, agak jarang yang truncate atau subcordate, kadang-kadang asymmetrik; nerves 6-10 setiap sisi; petiolules 2-5 mm.

Infloresensia hingga 10 cm panjangnya, pubescent, glabrescent; pedicels 3-12 mm. Hypanthium 3-4 mm panjangnya. Calyx lobes (melebar) ellipsis, ovate, atau agak obovate, 6—8(—12) x 3-6.5(-8) mm. Petal kuning pucat atau putih, pink, atau merah; lamina 3-6(-10) x 3-6.5(-8) mm; claw 2-5 mm long. Fertile stamens; filaments 2-4 cm; anthers c. 2 mm long; staminodes 4-10 mm. Ovary panjang 5-6 mm; style 2-3.5 cm. Pods 15—19(—40) x 5.5-7(-9) cm. Biji 3-4.5 x 1.5-3 cm, tebal 0.5-1.2 cm. Polong halus berwarna coklat atau hitam saat masak. Biji coklat gelap atau kemerahan (Hou 1994)



Gambar 3. Karakter morfologi *I. palembanica* Miq. (A) anak daun yang menyempit dengan ujung meruncing (acuminate) dengan jumlah anak daun 3 pasang, (B) polong, (C) biji dan karakteristik batang; (E) herbarium *I. palembanica* dengan variasi pada bentuk anak daun yang melebar dan polong lebih panjang (herbarium diambil dari GBIF 2019)

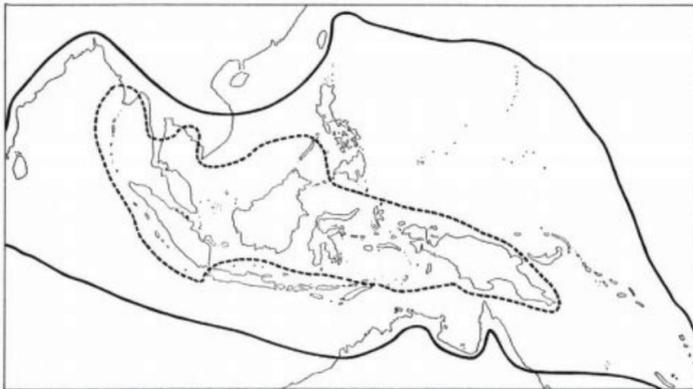
NAMA LOKAL (VERNACULAR NAME)

Di Indonesia dalam perdagangan *Intsia bijuga* dikenal sebagai merbau. Secara lokal di Papua maupun Maluku, jenis ini lebih banyak dikenal dengan sebutan kayu besi karena kayunya yang keras. Nama merbau ataupun kayu besi meliputi pula kerabat dekatnya *I. palembanica* Miq.

Merbau dikenal pula dengan sebutan kwila (PNG dan daerah Pasifik), ipil dan ipil laut (Filipina), ipil, ipil tandok, ipeh, malapari, merbau ayer, merbau changkat dan merbau laut (Malaysia), praduu-thale dan lumpho-thale (Thailand) (PROSEA 1994; Dinas Kehutanan Irian Jaya 1976).

PERSEBARAN MERBAU

Secara geografis merbau di dunia tersebar di daerah tropika dengan cakupan cukup luas. *I. bijuga* memiliki penyebaran geografis dari Madagaskar, kepulauan di Lautan India, daerah tropika Asia, dari Malesia hingga Australia Utara, Melanesia dan Mikronesia. Cakupan penyebaran *I. bijuga* lebih luas di dibandingkan jenis *I. palembanica* (Gambar 11.4).



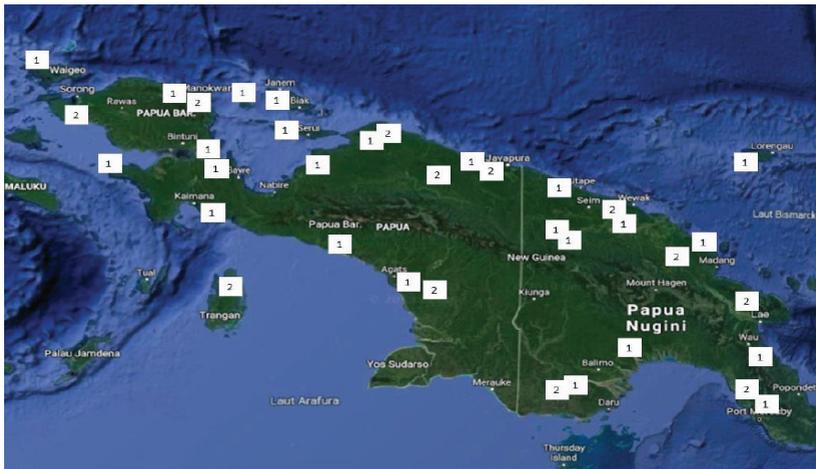
Gambar 4. Sebaran geografis *Intsia bijuga* (garis solid) dan *I. palembanica* (garis terputus-putus) di dunia (Sumber: Hou 1994)

Dari telaah herbarium *Intsia* asal specimen dari kawasan Papuaasia yang ada dalam koleksi herbarium Manokwariense diperoleh informasi sebaran di wilayah Papuaasia sebagai berikut: Mimika, 16 Juni 1941, H.E Luinquist, 104. B.B. 32.823; Mimika, 21 Juni 1941, H.E Luinquist, 134. B.B. 32. 853; Waigeo, Raja Ampat, 12 Juni 2007, Ekspedisi Widya Nusantara, 296; Salawati (Raja Ampat), 1985, Teysmans, 7000; Soemberbaba, Kep. Japen, 13 Juli 1961,

CH. Koster, 111 58; Sidey, Manokwari, 24 September 1957, CH. Koster, BW. 4423; Ransiki, Kep. Meoswar, Manokwari, 30 Juni 1956, CH. Koster, BW. 1302; Salawati (Raja ampat), 09 Oktober 1956, CH.Koster, BW. 1388; Kep. Aroe, Merauke, 29 Juli 1938, P. Buawalda, 455.66.25.484; Pulau Wamar, 11 November 1994, M. Van Balgooy, 6918; Pulau Mikor,Manjau, 04 November 1994, M. Van Balgooy, 6824; Mamberamo, 07 Oktober1982, Laumoiner, TFB. 3764; Pulau Meoswar, Ransiki, Manokwari, 26 Juni 1956, CH. Koster, BW. 3604; Hamadi, Jayapura, 13 September 1956, C. Kahlman, BW. 3604; Pulau Meoswar, Wandoswar, 23 Juni 1965, Chr. Versteegh, BW. 3853; Danau Sentani, Jayapura, 04 September 1956, Chr. Versteegh, BW. 3923; Danau Sentani, Jayapura, 05 April 1957, Chr. Versteegh, BW. 4271; Pulau Rauki, Raja ampat, 29 Januari 1955, P. Van Royen, 5372; Ruffei, Sorong, 18 Mei 1954, P.Van Royen, 4094; Pulau Adi, Kaimana, 24 Februari 1961, V.W. Moll, BW. 9825;Pulau Adi, Kaimana, 13 Maret 1961, V.W. Moll, BW. 9950; Argumi, Kaimana, 30 Maret 1955, F.W. Rappard, BW. 693; Holtekang, Jayapura, 19 September 1956, F.Schram, BW. 2831; Holtekang, Jayapura, 20 September 1956, F. Schram, BW.2835; Manokwari, 1913, R.F. Janowsky, 522; Kep. Japen(Serui), 09 April 1939,Aei dan Idjan, 789; Jayapura, 06 Juli 1938, Coll. E. Meijer, 192. BB; BB. 25.074;Jayapura, 19 Juni 1938, Coll. E. Meijer, 1 BB 25.012; Jayapura, 02 Juli 1910, Coll. K. G. Jellerup, 177; Holtekang, Jayapura, 20 September 1956, Coll. F. Schram, BW. 2839; Wandamen, Wasior, Tel. Wondama, 21 Maret 1962, F. Schram, BW.14897; Holtekang, Jayapuaara, 20 September 1956, F. Schram, BW. 2836; Holtekang, Jayapura, Oktober 1953, Chr. Verteegh, BW.47; Holtekang, Jayapura, 20 September 1956, F. Schram, BW. 2838; Holtekang, Jayapura, 19 September 1956, F. Schram, BW. 2829; Holtekang, Jayapura, 19 September 1956, F. Schram, BW. 2830; Fak-Fak, 09 Mei 1941, H. E. Lundquist, 96.32.648; Jayapura, 29 Juli 1938, E. Meijer, 420. BB. 25.704; Wasior, 23 Agustus 1948, A. Kostermans, 33.682; Anjai Kebar, 07 September 1959, G. Th. Iwanggin, BW. 9098; Anjai Kebar, 05 September 1959, G. Th. Iwanggin, BW. 9083; Mamberamo, 07 Oktober1982, Laumoiner, FFB. 3759; Sungai Mamberamo, 11 Oktober 1982, Laumoiner,FFB. 3817; Amban, Manokwari, 30 Mei 1961, Ch. Koster, BW. 11084; Kebar, 30Oktober 1958, Ch. Koster, BW. 7206; April 1913, J. J. Brase dan Chr. Verteegh,13542; Ransiki, Manokwari, 20 Juli 1948, Soehanda dan Ilham, 33. BB. 33. 280; Agats, Merauke, 28 Oktober 1992, E.A. Widjaja, 6357; Pami, Manokwari, 17 September 1931, J. Tehlepta, 3BB. 15887; Ransiki, Manokwari, 16 Juli 1948, A.Kosterman, BB. 33.253; Maroeni dan Andai, Manokwari, 06 Desember 1961, Ch.Koster, BW.

11998; Pulau Salawati, Raja ampat, 26 Oktober 1956, Ch. Koster, BW. 4247; Masni, Manokwari, 17 Februari 1961, Ch. Koster, BW. 11.000. Madang, 16 Juni 1969, J. Van Denberg dan E. Mann, 42269; Distrik Morobe, 24 September 1945, F. T. Vickery, NBF 1430; Distrik Morobe, November 1945, F. T. Vickery, NBF. 1430; Pulau Kar-kar (Dist. Madang), Februari 1945, K. Mair, NGF. 1818; Sepik Maer, 13 September 1949, J.S.W, NGF.3789; Sungai Oriomo, 26 Februari 1953, A. J. Hart, 5014 (Yarangga 20013).

Sebaran *I. bijuga* dan *I. palembanica* di Papuaasia yang diberikan oleh Yarangga (2013), Tokede *et al.* (2013) dan GBIF (2019) memperlihatkan bahwa kedua jenis *Intsia* tersebut menyebar merata di seluruh daerah Papua (New Guinea) baik di bagian Selatan maupun bagian Utara, kecuali di bagian tengah yang merupakan daerah pegunungan (Gambar 3).



Gambar 5. Sebaran *I. bijuga* dan *I. palembanica* di Papuaasia berdasarkan catatan herbarium (sumber: Yarangga 2013, Tokede *et al.* 2013, GBIF 2019)

STATUS KONSERVASI

The International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) mengategorikan *I. bijuga* dan *I. palembanica* sebagai jenis yang berisiko punah karena eksploitasi komersial. Di lain pihak, The Convention of International Trade in Endangered Species of Wild Flora and Fauna (CITES) menyebutnya sebagai jenis yang rawan (*vulnerable*) (CITES Appendix III); sedangkan The World Conservation Monitoring Centre (WCMC) memasukkannya sebagai jenis yang terancam (*threatened*) (UNEP 2005).

A photograph of a large tree trunk in a dense forest. The tree trunk is the central focus, showing a rough, textured bark. The surrounding forest is lush with green foliage, including various leaves and branches. Sunlight filters through the canopy, creating a dappled light effect. A semi-transparent white text box is overlaid on the tree trunk, containing the text "BAB III EKOLOGI MERBAU".

**BAB III
EKOLOGI MERBAU**

TEMPAT TUMBUH MERBAU

Keberadaan merbau pada suatu ekosistem hutan sangat bergantung pada kesesuaiannya terhadap tempat tumbuh. Demikian pula keberhasilan pertumbuhan dan perkembangan merbau di dalam hutan adalah merupakan hasil kerja dari faktor biofisik (biotik dan abiotik) dan faktor klimatik yang menyusun ekosistem hutan bersangkutan. Oleh karena itu pemahaman tempat tumbuh alami merbau sangat diperlukan dalam pengelolaan dan usaha pengembangan jenis ini, baik dalam bentuk hutan alam maupun hutan tanaman. Berikut akan diuraikan bahasan habitat alami merbau yang ditekankan pada karakteristik faktor-faktor biofisik dan klimatik.

TANAH

Pohon merbau tumbuh secara alami di hutan hujan tropika dataran rendah bercampur dengan jenis pohon-pohon lain (Tokede *et al.* 2013). Penelitian secara spesifik yang mengkaitkan kelimpahan individu maupun perkembangan dan pertumbuhan merbau dengan sifat-sifat edafis belum banyak dilakukan. Walaupun demikian, dari beberapa penelitian ekologi menampakkan adanya kecenderungan populasi merbau lebih banyak terjadi pada tempat tumbuh tertentu yang sesuai baginya.

Pohon merbau dapat dijumpai hampir di semua jenis tanah, walaupun pada umumnya lebih menyukai tumbuh pada tanah-tanah yang berdrainase baik seperti tanah kapur, tanah-tanah berbatu, dan berpasir. Pohon merbau dapat pula tumbuh di hutan-hutan di belakang hutan mangrove ataupun di sepanjang sungai, dataran genangan banjir dan rawa. Sering pula merbau hadir di areal tanah marginal yang sedang mengalami suksesi, tumbuh bersama dengan jenis-jenis vegetasi pionir lainnya (PROSEA 1994; Thaman *et al.* 2004; Tokede *et al.* 2013).

Intsia bijuga seringkali dijumpai tumbuh melimpah di daerah berlereng dengan batuan karang dengan tingkat kemiringan tinggi yang hampir tidak memiliki solum tanah. Jenis ini juga sering dijumpai di tanah-tanah tergenang atau bahkan bergaram. Sebaliknya *I. palembanica* lebih cenderung menghindari daerah-daerah dengan tanah yang basah atau terlalu kering (Hou 1994).

KETINGGIAN TEMPAT

Jenis *Intsia bijuga* lebih banyak tumbuh di daerah dataran rendah dengan ketinggian 0–450 m d.p.l., walaupun demikian terkadang dapat dijumpai tumbuh hingga ketinggian 600 m d.p.l. (PROSEA 1994, Hou 1994). *I. palembanica* sering dijumpai pada daerah yang lebih tinggi hingga 850 m d.p.l (Hou 1994). Pada ketinggian 500-600 m d.p.l. *I. palembanica* masih banyak dijumpai populasinya, sebaliknya *I. bijuga* sulit dijumpai pada ketinggian tersebut (Lekitoo *et al.* 2005). Dari beberapa catatan herbarium diperoleh data bahwa *I. bijuga* di daerah Papua dijumpai tumbuh pada ketinggian 0-600 m, sedangkan *I. palembanica* dijumpai pada ketinggian 0-850 m (Yarangga 2013, GBIF 2019). Walaupun demikian pada hutan dataran rendah seringkali dijumpai kedua jenis merbau tersebut bercampur, seperti pada hutan dataran rendah Mamberamo pada ketinggian 300 m dpl. (Lestari 2011).

TOLERANSI TERHADAP GENANGAN

Pohon *Intsia bijuga* dapat dijumpai pada daerah genangan temporer pada daerah banjir atau berawa, namun jenis pohon ini dapat mati bila genangan tersebut menjadi genangan permanen akibat sumbatan buangan aliran air (Gambar 6.). Marler & Guzman (1996) melalui percobaannya memperlihatkan bahwa *I. bijuga* termasuk jenis yang memiliki toleransi sedang terhadap genangan.

Berdasarkan percobaannya, *I. bijuga* segera bereaksi menurunkan pertukaran gas pada daunnya setelah tergenang 5-6 hari. Lentisel hipertropik berkembang pada batang sebatas air tergenang dan terjadi pergerakan anak daun menjadi parahelitropik yang ditampakkan pada hari ke 17 penggenangan. Selanjutnya pada hari ke 30 penggenangan, akar adventif tumbuh pada batang di atas batas genangan dan terjadi gugur daun yang dipercepat. Pada percobaan dengan waktu penggenangan lebih dari 3 bulan, akar dan trubusan mampu tumbuh kembali setelah 2 minggu genangan dihilangkan.



Gambar 6. Pohon merbau (*Intsia bijuga*) di daerah Agats, Papua, yang mati akibat genangan permanen, meninggalkan tunggak-tunggak mati dengan sebagian masih menampilkan adanya trubusan (Foto: Soetjipto Moelyono)

TOLERANSI TERHADAP NAUNGAN

Pohon-pohon yang menempati strata tajuk teratas akan mempengaruhi pohon yang berada pada strata tajuk di bawahnya melalui penciptaan iklim mikro terutama pencahayaan dan kelembaban udara. Pada hutan yang utuh hanya sekitar 0,1-0,05% dari total intensitas cahaya surya yang mampu menembus hingga ke lantai hutan di sepanjang hari (Kimmin 1997). Dengan semakin lebat tutupan tajuk, intensitas cahaya di bawah tutupan tajuk akan menurun, sebaliknya kelembaban udara cenderung relatif lebih tinggi di dibandingkan dengan areal yang tidak memiliki tutupan tajuk.

Setiap jenis tumbuhan akan memberikan kepekaan yang berbeda terhadap kondisi pencahayaan yang kurang di bawah tutupan tajuk. Reaksi kepekaan terhadap pencahayaan disebut sebagai toleransi terhadap naungan. Jenis-jenis tumbuhan yang mampu bertahan hidup di bawah keteduhan disebut dengan jenis toleran (*shade tolerance species*) sedangkan yang tidak mampu bertahan disebut sebagai jenis intoleran (*light demanding species*).

Pentingnya radiasi cahaya bagi pertumbuhan pohon di hutan berhubungan dengan kebergantungan tumbuhan berkhlorofil terhadap proses fotosintesis. Pada kondisi penyinaran sangat redah di dalam hutan, fotosintesis gagal dalam menggunakan semua karbon dioksida yang tersedia untuk memproduksi karbon yang cukup bagi kebutuhan energi pertumbuhannya. Dalam kondisi demikian, karbondioksida lebih banyak dikeluarkan ke atmosfer melalui respirasi dibandingkan yang diserap dari atmosfer melalui fotosintesis. Tingkat penyinaran pada titik mana terjadi antara fiksasi karbondioksida melalui fotosintesis dan kehilangan karbondioksida melalui respirasi sama jumlahnya disebut sebagai titik kompensasi cahaya (*light compensation point*). Dengan demikian, pada hutan yang sangat lebat, fotosintesis bersih (*net photosynthesis*) hanya akan terjadi bila daun terkena cahaya yang melewati tajuk (*sunflecks*) (Spurr & Barners 1973; Kimmin 1997).

Berdasarkan karakteristik struktur populasi merbau di hutan alam Sirami *et al.* (2018) menggolongkan merbau sebagai jenis tumbuhan semitoleran. Jenis yang tergolong semitoleran memerlukan naungan tidak terlalu berat dan memerlukan intensitas cahaya sedang untuk beregenerasi. Simulasi permudaan *I. bijuga* (Waimbo 2013) memperlihatkan bahwa permudaan merbau terbaik terjadi pada kondisi pemberian naungan sedang (70 - 75%) demikian pula Simangunsong *et al.* (2006) menyatakan bahwa pertumbuhan bibit *I. palembanica* baik pada intensitas naungan 55% sebaliknya di atas 65% telah terjadi penurunan penambahan berat kering pucuk bibit.

Berdasarkan sifat reaksi merbau terhadap cahaya yang tergolong semitoleran dan sifat interaksi komplemen maupun fasilitasi produksi dari jenis lain, Sirami *et al* (2018) memilih beberapa jenis yang dapat dijadikan sebagai pohon penaung (*shade trees*). Interaksi komplemen yang dimaksud adalah sifat komplementer suatu jenis pohon yang mampu menurunkan persaingan melalui penggunaan air, cahaya dan nutrisi dengan efisien; sedangkan jenis yang dapat memfasilitasi

produksi adalah jenis-jenis pohon dominan yang mampu memfasilitasi pertumbuhan jenis lain dalam interaksinya dengan sesama individu pada suatu komunitas hutan.

Jenis-jenis yang tergolong pohon penaung utama (*main shade species*) bagi merbau, yaitu: *Pometia coriacea*, *Pimeledendron amboinicum*, *Palaquium amboinense*, *Spathiostemon javensis*, dan *Lepiniopsis ternatensis*; sedangkan pohon-pohon yang termasuk penaung alternatif (*alternative shade species*) adalah *Streblus elongatus*, *Sterculia macrophylla*, *Haplolobus celebicus*, *Haplolobus lanceolatus*, *Pertusadina multifolia*, *Dysoxylum mollissimum*, *Horsfieldia irya*, *Haplolobus laevigata*, *Prunus costata*, dan *Geijera salicifolia*. Selanjutnya jenis-jenis tersebut, dapat dipergunakan sebagai pohon penaung, didampingkan dengan merbau dalam skenario pengembangan hutan campuran (Sirami *et al* 2018).

STRUKTUR TEGAKAN ALAM MERBAU

Struktur tegakan dapat digambarkan secara horizontal, yaitu melalui distribusi diameter pohon atau secara vertikal melalui distribusi kelas tinggi pohon. Kedua cara penggambaran struktur tegakan tersebut sering disebut sebagai diagram profil. Penggambaran struktur tegakan secara horizontal lebih umum dilakukan dibandingkan cara vertikal.

Sering pula struktur populasi hutan didekati dengan menggambarkan distribusi kelas umur dalam suatu populasi hutan, walaupun penerapannya pada hutan alam sulit dilakukan karena sulitnya menentukan umur pohon. Oleh karena itu untuk kemudahan, sering dilakukan pengelompokan individu species pohon berdasarkan tingkat pertumbuhan, yaitu semai (*seedling*) dengan tinggi <30 cm, pancang (*sapling*) dengan Φ <10 cm dan tinggi >30 cm, tiang (*pole*) dengan Φ 10 - 20 cm) dan pohon (*tree*) dengan Φ >20 cm.

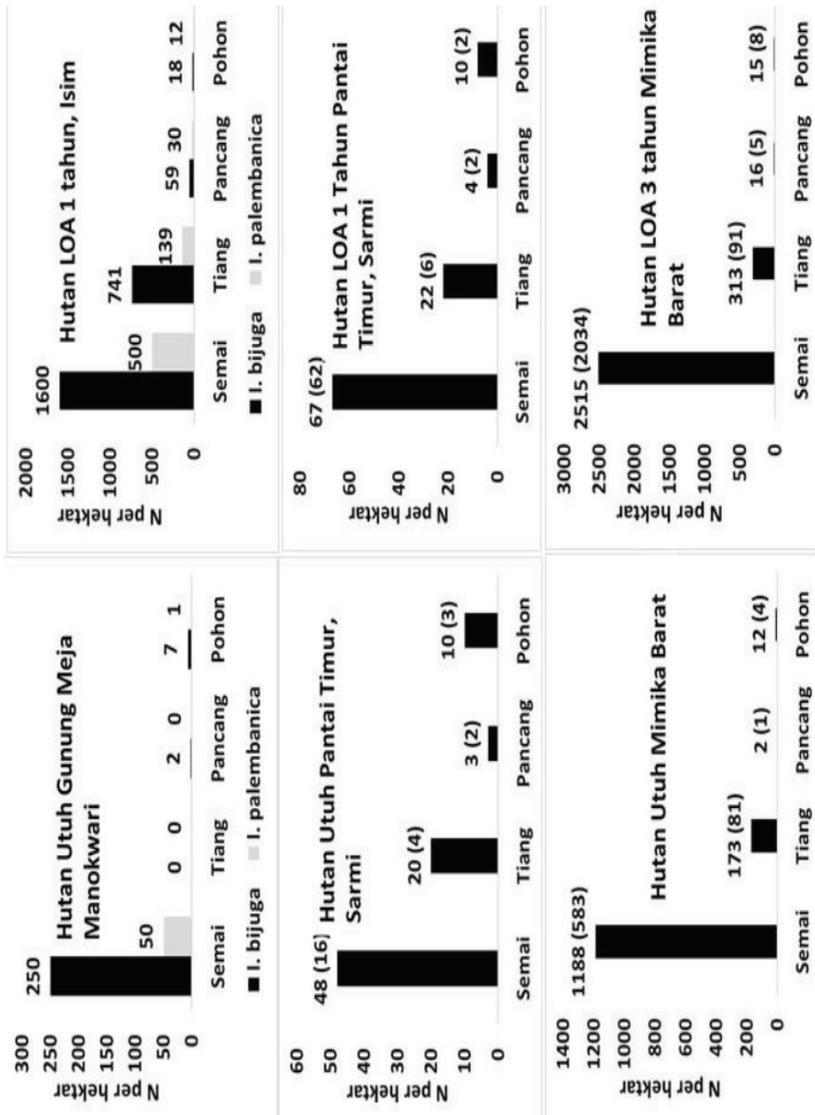
MODEL STRUKTUR TEGAKAN MERBAU

Struktur tegakan alam umumnya merupakan tegakan normal yang tidak seumur yang digambarkan dalam model persamaan eksponensial negatif (*reserve-J shaped curve*). Model persamaan demikian menunjukkan bahwa pertumbuhan diameter pohon berbanding terbalik dengan karapatan individu pohon tersebut (Tokede *et al.* 2013).

Struktur tegakan merbau pada hutan utuh dataran rendah Mandopi menunjukkan mengikuti struktur tegakan dengan model persamaan eksponensial (Setioharnowo 1984). Model struktur tegakan demikian sama seperti dikonfirmasi oleh Lestari (2011) di hutan kosensi areal IUPHK-HA PT. Mamberamo Alas Mandiri di Mamberamo. Lestari (2011) menggunakan model eksponensial negatif menurut Meyer (1953) yang diacu oleh Husch *et al* (2003). Demikian pula Tokede *et al* (2013) dengan menggunakan data Setioharnowo (1984) mendapatkan model persamaan linier hubungan antara jumlah individu (Y) dengan diameter pohon (dbh) yang digambarkan sebagai: $Y = 49.02 e^{-0.0868 dbh}$

STRUKTUR POPULASI MERBAU BERDASARKAN TINGKAT PERTUMBUHAN

Struktur tegakan merbau di hutan alam baik yang hutan primer maupun hutan bekas tebangan dari beberapa hasil penelitian di beberapa lokasi di Papua (Wanggai 2007, Sabarofek 2010, Rettob *et al.* 2008, Ormuseray *et al.* 2010 dan Moeljono *et al.*, 2011) menunjukkan kemiripan dengan model persamaan eksponensial negatif seperti yang ditunjukkan oleh Tokede (2013). Struktur tegakan merbau umumnya diperlihatkan dengan melimpahnya semai dan rendahnya tingkat pancang, tiang dan pohon, baik pada hutan yang tidak terganggu (utuh) maupun hutan bekas tebangan (Gambar 7).

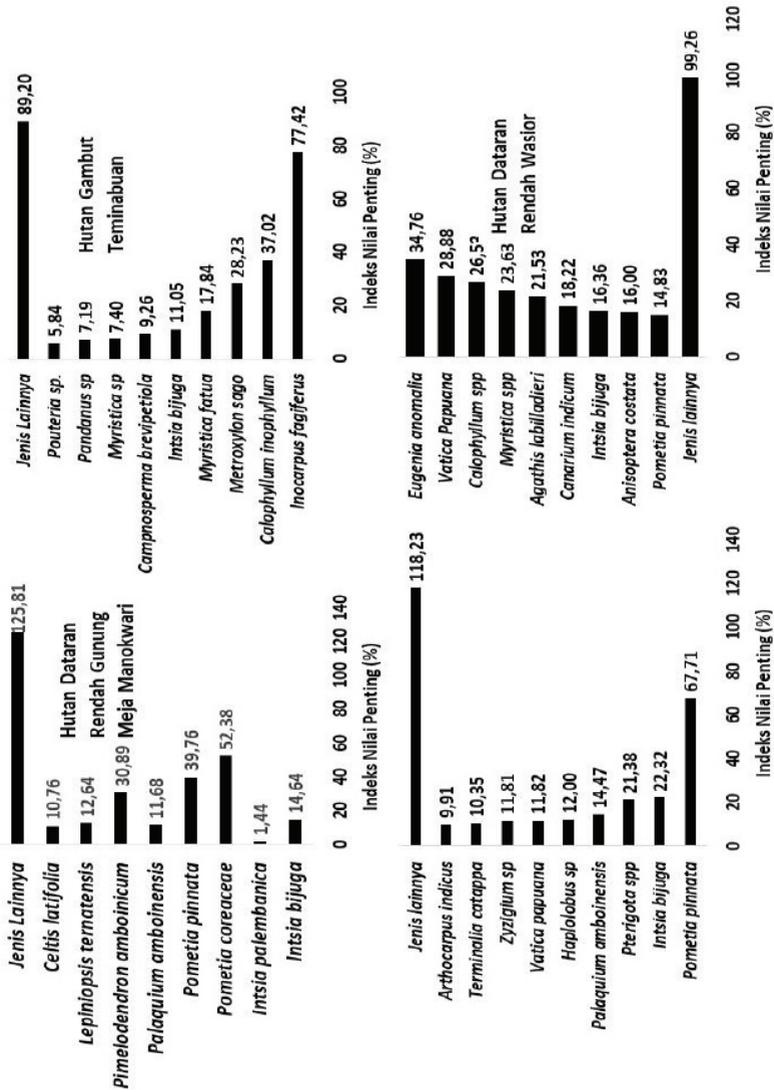


Gambar 7. Struktur Populasi *Intsia bijuga* dan *I. palembanica*. di Hutan Alam Primer dan LOA di beberapa lokasi di Papua dan Papua Barat, angka dalam kurung merupakan nilai simpangan baku (diolah dari data Wanggai 2007, Sabarofek 2010, Rettob *et al.* 2008, Ormuseray *et al.* 2010)..

NILAI PENTING MERBAU DALAM KOMUNITAS HUTAN

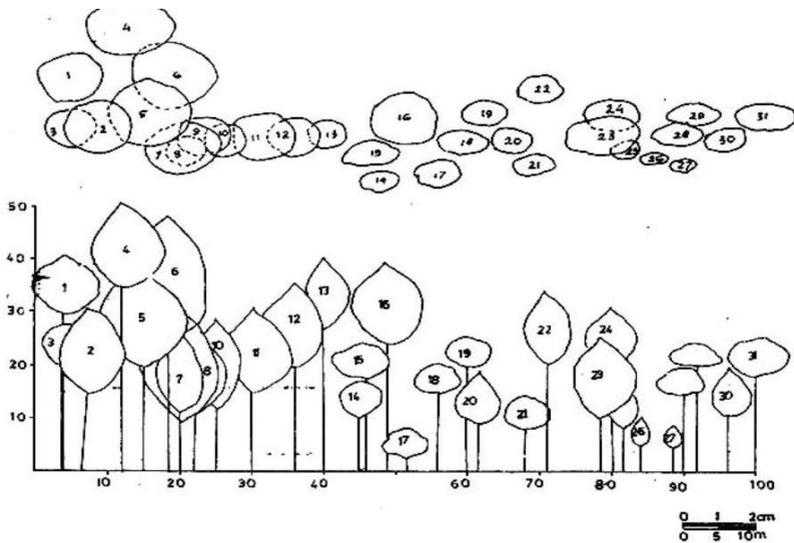
Indeks Nilai Penting (INP) sering dipergunakan untuk menilai peran penting suatu jenis pohon dalam struktur komunitas hutan. INP diperoleh dari penjumlahan nilai persentasi dari frekuensi relatif, kerapatan relatif dan dominansi relatif. Total nilai INP keseluruhan jenis dalam suatu komunitas 300%.

Merbau jarang memiliki INP >20%. Ini merupakan ciri yang umum dijumpai di hutan tropika basah Papua tanpa adanya suatu jenis yang sangat dominan yang dapat dijadikan penciri bagi suatu komunitas hutan, bahkan pada hutan-hutan tertentu seperti hutan gambut dan rawa kehadiran merbau sangat jarang (Gambar 8).



Gambar 8. Indeks Nilai Penting (INP) merbau (*Intsia bijuga* dan *I. Palembangica*) tingkat pohon pada beberapa lokasi hutan di Papua Barat (diolah dari data Hutapea 2000, Gultom 2003, Wanggai 2007 & CIFOR&Unipa 2012).

Di hutan primer, *I. bijuga* dan *I. palembanica* bukan merupakan jenis yang memiliki nilai penting tinggi dalam suatu komunitas hutan. Namun demikian karena ukuran batang maupun tajuknya yang besar, membuat keduanya merupakan jenis yang menempati hutan pada lapisan tajuk atas (strata A) atau lapisan tajuk kedua (strata B). Sekalipun merbau merupakan pohon berukuran besar, namun merbau memiliki kerapatan individu relatif rendah. Karakteristik seperti demikian menyebabkan penguasaan merbau dalam komunitasnya tidak mutlak namun bersama-sama dengan jenis-jenis pohon lainnya yang berasosiasi dengannya (Gambar 9).



Keterangan :

- | | | |
|---------------------------------------|---|---|
| 1. <i>Pometia coriacea</i> Raldk. | 12. <i>Pometia coriacea</i> Raldk. | 23. <i>Pometia pinnata</i> Forst. |
| 2. <i>Lepinopsis ternatensis</i> Val. | 13. <i>Lepinopsis ternatensis</i> Val. | 24. <i>Pometia coriacea</i> Raldk. |
| 3. <i>Palaquium amboinensis</i> | 14. <i>Pometia pinnata</i> Forst. | 25. <i>Koordersiodendron pinatum</i> Mer. |
| 4. <i>Intsia bijuga</i> O.K | 15. <i>Pineleodendron amboinicum</i> | 26. <i>Spatioestemon javensis</i> |
| 5. <i>Intsia bijuga</i> O.K | 16. <i>Intsia bijuga</i> O.K | 27. <i>Pometia pinnata</i> Forst. |
| 6. <i>Pometia coriacea</i> Raldk. | 17. <i>Lepinopsis ternatensis</i> Val. | 28. <i>Antiaris toxicaria</i> Lesch. |
| 7. <i>Lepinopsis ternatensis</i> Val. | 18. <i>Terminalia complanata</i> K.Sch. | 29. <i>Intsia bijuga</i> O.K |
| 8. <i>Intsia bijuga</i> O.K | 19. <i>Intsia bijuga</i> O.K | 30. <i>Palaquium amboinensis</i> |
| 9. <i>Horsfieldia</i> sp. | 20. <i>Myristica</i> sp. | 31. <i>Spatioestemon javensis</i> |
| 10. <i>Lospatioestemon javensis</i> | 21. <i>Horsfieldia irya</i> | |
| 11. <i>Haplolobus lanceolatus</i> | 22. <i>Dysoxylum molleinsimum</i> | |

Gambar 9. Kedudukan *Intsia bijuga* di hutan dataran rendah Gunung Meja Manokwari dengan ketinggian tempat 70-174 m dpl yang menempati strata tajuk tengah bersama dengan jenis lainnya yang berasosiasi dengannya (Sumber: Wanggai 2007)

ASOSIASI MERBAU DENGAN JENIS LAIN

Saat suatu jenis tumbuhan hidup dalam suatu komunitas pada tempat tumbuh tertentu, maka akan tercipta suatu hubungan interaksi antar sesama jenisnya (*intraspecific interaction*) maupun dengan jenis lainnya (*interspecific interaction*). Interaksi sesama jenis lebih banyak berkaitan dengan persaingan untuk mendapatkan makanan, cahaya dan ruang tumbuh, sedangkan interaksi antar jenis dapat bersifat destruktif maupun konstruktif. Bersifat konstruktif bila keduanya dapat hidup berdampingan tanpa reaksi saling menolak. Dengan demikian, merbau dapat hidup berdampingan dengan jenis pohon lainnya apabila merbau memiliki preferensi habitat dengan kebutuhan lingkungan biotik maupun abiotik yang sama dan memiliki daya gabung hidup dengan jenis lainnya.

Interaksi antar jenis yang bersifat konstruktif, sering pula disebut dengan istilah asosiasi positif. Interaksi seperti demikian berperan untuk mengarahkan terbentuknya kelompok ekologi yang di dalamnya terdiri atas beberapa jenis pohon. Jenis-jenis pohon yang membentuk kelompok ekologi tersebut disebut sebagai *ecological species group* (ESG) yaitu jenis-jenis yang memiliki kesamaan adaptasi terhadap tempat tumbuh tertentu (Adel *et al.* 2014). Setiap kelompok akan terdiri atas beberapa jenis tumbuhan yang memiliki persyaratan lingkungan biotik maupun abiotik yang mirip. Banyak faktor lingkungan yang berpengaruh terhadapnya seperti iklim makro dan mikro, fisiografi, cahaya, dan tanah (Spurr & Barnes *et al.* 1980).

Informasi mengenai ESG dapat diaplikasikan untuk mengidentifikasi jenis-jenis yang dapat ditumbuhkan dalam suatu kelompok dalam habitat yang sama untuk tujuan pengembangan hutan campuran. Demikian pula ESG dapat menginformasikan strategi penataan pencampuran beberapa jenis dalam satu habitat hutan tanaman berdasarkan strata tajuknya dan sifat toleran dan intoleran setiap jenis penyusunnya. Jadi melalui ESG dapat diketahui jenis-jenis yang dapat hidup berdampingan bahkan jenis tertentu dapat memfasilitasi pertumbuhan jenis lainnya (Sirami *et al.* 2019).

Asosiasi antar jenis dapat dianalisis dengan menggunakan metode tabel kotigensi presence-absence (Ludwigs & Reynolds 1988), sedangkan analisis multivariat dapat dipergunakan untuk mempelajari hubungan antara faktor-faktor lingkungan dengan ESG (Adel *et al.* 2014). Selanjutnya menggunakan variabel-variabel

tersebut, skenario memilih jenis-jenis yang sesuai untuk dikembangkan dalam bentuk hutan campuran di suatu areal hutan tertentu dapat dilakukan dengan mengaitkan tingkat asosiasi antar jenis dengan indeks nilai penting suatu jenis dalam suatu struktur komunitas hutan dan faktor-faktor tempat tumbuh yang sesuai bagi jenis-jenis tersebut (Sirami et al. 2019).

Di hutan primer Mamberamo, *I. bijuga* berasosiasi positif dengan *Vatica rassak*, *Canarium hirsutum*, *Horsfieldia irya*, dan *Sindora* sp. Pada tempat-tempat dengan ketinggian yang rendah *I. bijuga* berasosiasi positif dengan *I. palembanica* (Lestari 2011). Rentang toleransi kedua jenis *I. bijuga* terhadap ketinggian tempat berbeda. Jenis *I. palembanica* masih dapat dijumpai pada ketinggian hingga 500-600 m dpl., sebaliknya *I. bijuga* sulit dijumpai pada ketinggian tersebut (Lekitoo et al. 2005).

Di hutan primer di Tiri (Dabra, Mambaramo), *I. bijuga* dan *I. palembanica* tumbuh berasosiasi dengan jenis *Pometia pinnata*, *Heritiera littoralis*, *Microcos ceramensis*, *Pterigota horsfieldii*, *Garcinia latissima* dan *Vatica rassak* (de Fretes et al. 2002). Pada ketinggian tempat 500 m dpl di koridor Cagar Alam Pegunungan Tamrau Utara dan Suaka Margasatwa Jamurba-Medi *I. palembanica* menempati lapisan tajuk paling atas (strata A) terdiri atas pepohonan setinggi 30-45 m bersama jenis *Lithocarpus* sp., *Arthocarpus communis*, *Pimiliodendron* sp. *Litsea ampela*, *Aglaia* sp., dan *Litsea ledermani*. Sedangkan pada lapisan tajuk kedua (Strata B) *I. palembanica* hadir bersama jenis *Arthocarpus communis*, *Canarium* sp., *Gnetum gnemon*, *Lithocarpus* sp., *Litsea ledermani*, *Myristica fatua* dan *Macaranga* sp.

Pometia coriacea, *Lepiniopsis ternatensi*, *Spathiostemon javensis*, *Palaquium amboinense*, *Pimelodendron amboinicum*, *Haplolobus lanceolatus*, *Haplolobus celebicus*, *Horsfieldia laevigata*, *Horsfieldia irya*, *Prunus costata*, *Sterculia macrophylla*, *Dysoxylum mollissimum*, *Pertusadina multifolia*, *Streblus elongatus* and *Geijera salicifolia* merupakan jenis-jenis yang memiliki tingkat asosiasi tinggi dengan *I. bijuga* di Hutan Gunung Meja Manokwari (Sirami et al. 2019). Dari keseluruhan jenis yang sangat berasosiasi dengan *I. bijuga* tersebut, berdasarkan indeks nilai penting (IVI) >30, Sirami et al. (2019) menggolongkannya sebagai jenis potensial utama sebagai pohon peneduh dalam skenario yang dibuatnya untuk pengembangan hutan tanaman campuran merbau. Jenis-jenis tersebut adalah: *Pometia coriacea*, *Pimelodendron amboinicum*, *Palaquium amboinensis*, *Spathiostemon javensis* dan *Lepiniopsis ternatensis*.

KERAPATAN INDIVIDU DALAM POPULASI

Kerapatan pohon merbau (diameter batang > 20 cm) di hutan alam dataran rendah sangat bervariasi (1-18 pohon/ha) dari satu tempat ke tempat lainnya (Tabel 1). Kerapatan seperti ini tergolong rendah bila dibandingkan dengan hutan Dipterokarpa.

Tabel 1. Kerapatan pohon (N/ha) *Intsia bijuga* (Ib) dan *I. palembanica* (Ip) di beberapa lokasi hutan di Papua dan Papua Barat

Kerapatan (N/ha)		Lokasi	Sumber
Ib	Ip		
7	1	Hutan dataran rendah Gunung Meja Manokwari, ketinggian 70-174 m dpl.	Wanggai 2007
18	12	Hutan dataran rendah Isim, LOA 1 tahun	Sabarofek 2010
12	-	<i>Hutan dataran rendah kompleks hutan Penia/Ararauw, Mimika Barat, ketinggian:0-150 m dpl.</i>	<i>Ormuseray et al. 2010</i>
12	-	<i>Hutan dataran rendah Sukikai Selatan, Dogeyai; ketinggian 0-150 m dpl.</i>	<i>Moeljono et al. 2010</i>
10	-	<i>Hutan dataran rendah Pantai Timur, Sarmi</i>	<i>Rettob et al. 2008</i>
7	-	Hutan dataran rendah kompleks hutan Skuri dan Teluk Umar, Windesi-Wasior, ketinggian 0-340 m dpl.	Hutapea 2000
17	-	<i>Hutan dataran rendah kompleks hutan S. Apauwer & S. Tor. Distrik Sarmi</i>	<i>Pamungkas et al. 2018</i>
16	-	Hutan gambut Teminabuan	<i>CIFOR&Unipa 2012</i>
6	-	Hutan dataran rendah Yahukimo	<i>Fatem et al. 2011</i>

Kerapatan pohon *Intsia bijuga* pada umumnya berkisar 4-6 pohon/ha dan dianggap cukup tinggi bila memiliki kerapatan sekitar 8-9 pohon/ha (Omuseray *et al.* 2010). Kerapatan *I. palembanica* di hutan alam umumnya lebih rendah dibandingkan kerapatan *I. bijuga*. Di Hutan alam dataran rendah Gunung Meja Manokwari Provinsi Papua Barat kerapatan *I. bijuga* sebesar 6.5 pohon/ha dan *I. palembanica* sebesar 1 pohon/ha (Wanggai 2007). Di hutan dataran rendah Isim, walaupun pada areal bekas tebangan (LOA 1 tahun), kerapatan pohon merbau masih cukup tinggi. *I. bijuga* dijumpai dengan kerapatan 18 pohon/ha dan *I. palembanica* 12 pohon/ha (Sabarofek 2010).

POLA SEBARAN INDIVIDU MERBAU DI ALAM

Salah satu ciri komunitas yang penting dan mendasar untuk memahami ekologi merbau adalah pola distribusi spasial dari individu-individu penyusunnya. Pola distribusi spasial menggambarkan bagaimana individu-individu penyusun komunitas tersebut menyebar di dalam suatu bidang atau ruang. Secara teoritis terdapat tiga tipe pola sebaran individu dalam suatu komunitas, yaitu sebaran secara acak (*random*), berkelompok (*clump*) dan seragam (*uniform*) (Ludwig & Reynold 1988).

Pola sebaran acak tidak umum dijumpai di alam karena mensyaratkan kondisi lingkungan yang homogen dan atau pola-pola tingkah laku yang tidak selektif (*nonselective behavioral patterns*). Berkebalikan dengan sebaran acak, sebaran non-acak (berkelompok dan seragam) menunjukkan bahwa dalam lingkungan komunitas tersebut terdapat faktor-faktor yang membatasi untuk terjadinya penyebaran secara acak (Ludwig & Reynold 1988). Hampir pada keseluruhan jenis pohon di daerah tropis, sebaran individualnya lebih menunjukkan pola berkelompok dibandingkan sebaran secara seragam atau pun acak (Hubbel 1979 & Condit *et al.* 2000).

Persebaran individu-individu dalam suatu komunitas menggambarkan bagaimana suatu jenis memanfaatkan sumberdaya, dan bagaimana sistem biologi reproduksi jenis tersebut (Condit *et al.* 2000). Pola persebaran individu suatu jenis pohon tergantung dari karakteristik regenerasi alam jenis pohon bersangkutan, yang berkaitan dengan pola persebaran propagul buah dan biji maupun keberhasilan perkembangan regenerasi dari tingkat semai hingga tingkat pohon dari jenis tersebut. Banyak faktor ekologi yang mempengaruhi

fenologi persebaran benih. Idealnya, saat benih matang, persebaran benih harus bersamaan waktunya dengan tersedianya agen penyebar benih, apabila jenis tersebut memang mensyaratkannya adanya agen penyebar benih. Kendala yang menghalangi persebaran benih, sering berkaitan dengan hadirnya gangguan hama dan penyakit yang menyebabkan kegagalan dalam pemasakan buah dan rusaknya benih (Fenner 2000).

Indeks Morisita dipergunakan secara luas dalam penelitian komunitas tumbuhan untuk menilai pola sebaran individu suatu jenis dan sebagai alternatif pendekatan lainnya, menggunakan indeks dispersi (ID). ID yaitu perbandingan antara nilai varians dengan rata-ran (Greig-Smith 1983). Cara lain yang lebih sederhana dapat dengan mengevaluasi nilai frekuensi (F) kehadiran suatu jenis dalam suatu areal hutan untuk mengetahui apakah suatu jenis menyebar merata di areal hutan tersebut atau tidak, walaupun pendekatan dengan cara demikian tidak dapat memastikan apakah polanya mengelompok, acak atau seragam.

Intsia bijuga dan *I. palembanica* berdasarkan nilai frekuensi menunjukkan bahwa kedua jenis merbau tersebut tidak pernah menyebar secara merata dalam suatu areal hutan (Tabel 2). Selanjutnya menggunakan indeks Morisita, beberapa penelitian di hutan alam dataran rendah menjelaskan bahwa sebaran spasial individu-individu jenis merbau tersebut paling umum menunjukkan pola sebaran mengelompok, walaupun dapat pula dijumpai berpola seragam atau acak (Tabel 3).

Tabel 2. Nilai Frekuensi (F) dan Frekuensi Relatif (FR) *I. bijuga* (Ip) dan *I. palembanica* (Ib) tingkat pohon di hutan dataran rendah di Papua dan Papua Barat

F		FR (%)		Keterangan	Sumber
Ib	Ip	Ib	Ip		
0,12	0,02	2,27	0,49	Hutan alam Gunung Meja Manokwari	Wanggai 2007
0,11	-	5,36	-	Hutan alam Wasior	Gultom 2003
0,27	-	8,51	-	Hutan alam Wasior	Hutapea 2000
0,64	-	10,41	-	Hutan alam Wasior	<i>Ormuseray et al. 2010</i>

Misiro (2013) juga menemukan bahwa pola sebaran merbau cenderung mengelompok, tidak merata pada semua areal. Pola sebaran individu seperti demikian, kemungkinan disebabkan oleh biji merbau yang berukuran besar, karena beratnya jatuh di bawah pohon induk dan apabila vektor penyebaran biji lainnya seperti air tidak berperan, maka akan menyebabkan regenerasi lebih banyak terjadi mengelompok di bawah dan di sekitar pohon induknya (Dress 1938, Tokede 2013). *I. bijuga* dapat pula tersebar secara acak seperti dijumpai di Pulau Batanta (Mirwanto 2009) dan areal bekas tebangan (Lestari 2010). Pola sebaran seperti demikian dapat disebabkan oleh karena adanya gangguan habitat akibat penebangan atau dapat pula diakibatkan oleh hadirnya vektor persebaran benih yang bekerja sehingga regenerasi tidak terjadi mengelompok di dekat pohon induknya. Persebaran propagul yang jauh dari pohon pada umumnya dapat melalui air. Polong berisi biji *I. bijuga* sering dilaporkan terbawa oleh air sungai ataupun air laut (Tokede 2013). Faktor lain juga dapat berperan dalam pembentukan pola sebaran tidak merata. Tempat tumbuh yang beragam dalam suatu kompleks hutan menyebabkan regenerasi merbau yang kemudian berkembang hingga menjadi pohon hanya terjadi pada tempat-tempat yang sesuai saja.

Tabel 3. Pola sebaran spatial individu pohon merbau di dalam komunitasnya di hutan hujan tropis Papua berdasarkan indeks Morisita

Jenis	Pola sebaran	Keterangan	Sumber
<i>I. bijuga</i>	Berkelompok	Hutan primer utuh	Lestari 2011
	Acak	Hutan terganggu	Mirwanto 2009
	Acak	LOA 5 tahun	Lestari 2011
<i>I. palembanica</i>	Seragam	Hutan primer utuh	Lestari 2011
	Seragam	LOA 5 tahun	Lestari 2011

EKOLOGI REGENERASI MERBAU

Keberhasilan regenerasi sangat bergantung pada keberadaan pohon induk di dalam suatu areal hutan. Kemampuan reproduksi pohon induk mulai dari pembentukan buah, perkembangan menjadi buah hingga diseminasi propagul pada tempat tumbuh yang sesuai untuk terjadinya perkecambahan dan perkembangan menjadi semai merupakan suatu rangkaian penting untuk keberhasilan regenerasi. Demikian pula keberhasilan semai bertumbuh dan

berkembang untuk melalui tahapan pertumbuhan pancang, tiang hingga mencapai tingkat pohon merupakan proses yang harus dilalui bagi suatu jenis pohon agar tetap eksis dalam komunitas hutan tersebut.

KERAPATAN REGENERASI MERBAU

Regenerasi pohon merbau pada tingkat semai dapat terjadi baik dengan atau tanpa campur tangan manusia. Dari kebanyakan laporan penelitian menunjukkan bahwa baik pada hutan utuh maupun hutan bekas tebangan regenerasi dapat terjadi dengan baik (Tabel 4). Seringkali pada hutan yang telah ditebang semai dapat dijumpai sangat melimpah (Gambar 10), dengan kerapatan tertinggi pada tingkat semai (250 – 2515 semai/ha), kemudian menurun drastis pada tingkat pancang dan tiang. Walaupun demikian, pada beberapa kasus dijumpai pula adanya kegagalan regenerasi tingkat semai terutama setelah dilakukannya penebangan (Maran 2010).

Sekalipun keberhasilan regenerasi pada tingkat semai tinggi, namun kemampuan semai tersebut untuk melalui tahapan perkembangan ke tingkat pancang hingga tiang sangat rendah. Keberhasilan regenerasi merbau sangat bergantung dari ketersediaan pohon induk di alam untuk memproduksi benih atau ketersediaan benih di lantai hutan (*seed bank*), keadaan lingkungan dan iklim mikro di lantai hutan dalam menunjang terjadinya perkecambahan benih merbau dan kemampuan semai hasil perkecambahan meloloskan diri dalam persaingan dengan sesama atau lain jenis (Spurr & Barnes 1980).

Tabel 4. Nilai kerapatan (K) dan Frekuensi (F) permudaan *I. bijuga* (Ib) dan *I. palembanica* (Ip) di hutan utuh maupun bekas tebangan (LOA) di beberapa daerah Papua dan Papua Barat.

	K (N/ha)		F		Keterangan	Sumber
	Ib	Ip	Ib	Ip		
S*	250	50	0,06	0,02	Hutan alam Gunung Meja Manokwari	Wanggai 2007
P	0	0	0	0		
T	2	0	0,02	0		
S	1188	-	0,80	-	<i>Hutan alam utuh</i>	<i>Moeljono et al. 2010</i>
P	173	-	0,70	-	Sukikai Selatan	
T	2	-	0,28	-	Mimika	

S	702	-	28,13	-	Hutan alam utuh	Fatem et al. 2011
P	2	-	0,08	-	Hutan ulayat	
T	3	-	0,53	-	Dekai, Yahukimo	
S	2515	-	0,80	-	LOA 4 tahun	Moeljono et al. 2010
P	313	-	0,73	-	Sukikai Selatan	
T	3	-	0,33	-	Mimika	

Kegagalan regenerasi alam dapat terjadi karena adanya serangan hama biji seperti babi, dan sejenis kumbang pemakan biji (Order Coleoptera: Sub Order Polyphaga, Fam. Anobiidae) yang menyebabkan habisnya persediaan biji di lantai hutan (*seed bank*) sebelum sempat berkecambah (Nugroho 2010; Harto, Nugroho & Tasik 2013). Di lain pihak, rendahnya atau bahkan tidak adanya regenerasi merbau pada tingkat pancang dan tiang, ini menunjukkan ketatnya persaingan intra dan interspecies pada tahap awal pertumbuhan untuk mendapatkan ruang dan cahaya hingga semai sulit untuk dapat mencapai tingkat pertumbuhan selanjutnya.

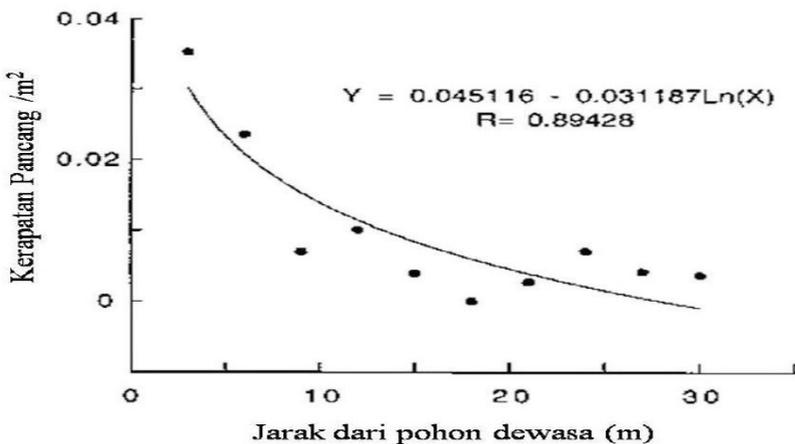


Gambar 10. Kerapatan semai *Intsia bijuga* yang sangat tinggi di sekitar tunggak pohon di areal bekas tebangan LOA 3 tahun. Menunjukkan peran stok benih di lantai hutan (*seed bank*) dalam menghasilkan semai merbau. Semai merespon terjadinya bukaan (*gap*) dan terjadi kompetisi keras antar sesamanya maupun dengan jenis lainnya untuk mendapatkan ruang tumbuh yang dapat menyebabkan kematian sebagian besar semai (Foto: Jacobus Wanggai)

SEBARAN REGENERASI MERBAU DARI POHON INDUK

Sebaran regenerasi merbau pada umumnya tidak menyebar merata di seluruh areal hutan dan cenderung berkelompok dekat dengan pohon induknya, seperti ditunjukkan oleh nilai frekuensi merbau yang rendah dalam analisis vegetasi di beberapa areal hutan baik di hutan utuh maupun di hutan bekas tebangan (Tabel 2 & 3). Nilai frekuensi yang rendah juga menjelaskan bahwa pada beberapa lokasi hutan terdapat bagian-bagian yang kosong atau tidak dijumpai regenerasi merbau.

Okuda *et al.* (1997) memperlihatkan bahwa kerapatan regenerasi pada *I. palembanica* berhubungan erat dengan jarak dari pohon induk. Semakin jauh jarak dari pohon induk, kerapatan regenerasi tingkat pancang semakin rendah, yang ditunjukkan dengan persamaan $Y=0,054116-0,031187\text{Ln}(X)$, dengan $R=0,89428$. (Gambar 11). Melihat karakteristik biji *I. bijuga* yang mirip dengan *I. palembanica*, dapat diduga bahwa pola sebaran regenerasi terhadap pohon induknya juga akan serupa.



Gambar 11. Kerapatan pancang merbau (*Intsia palembanica*) berhubungan erat ($\rho < 0.05$, $n = 10$) dengan jarak dari pohon induk terdekat (Sumber: Okuda *et al.* 1997)

Kesesuaian tempat tumbuh berpengaruh terhadap keberhasilan regenerasi. Saat propagul benih merbau disebarkan oleh vektor air ataupun satwa jauh dari pohon induknya, maka keberhasilan benih tadi untuk mampu berkecambah dan berkembang ke tingkat pertumbuhan selanjutnya sangat bergantung terhadap kesesuaian tempat tumbuhnya.

Seperti pada hutan pantai Distrik Manokwari Utara, tegakan *I. bijuga* dengan mudah dapat dijumpai tumbuh di daerah ini, namun sebaliknya regenerasinya tidak terjadi dengan baik pada keseluruhan areal hutan pantai. Berdasarkan karakteristik posisi hutan pantai terhadap laut dan sungai, maka dijumpai hanya hutan pantai di daerah muara, dan hutan pantai di daerah teluk, semai *I. bijuga* memiliki nilai penting tinggi. Ini memperlihatkan kesesuaian kedua tempat tumbuh tersebut bagi pertumbuhan dan perkembangan regenerasi merbau (Misiro 2013). Kehadiran merbau pada suatu tempat sangat bergantung pada kondisi tapaknya. Biji merbau yang jatuh dan terbawa oleh aliran air akan terbawa aliran sungai ke hilir dan tersebar di area limpasan banjir. Tanah yang berpasir di daerah hilir mendorong terjadinya perkecambahan dan terjadinya regenerasi di areal ini (Lestari 2010).

SEED BANK, SEEDLING BANK DAN BUKAAN TAJUK (GAP)

Karakteristik biji merbau yang berkulit keras dan sulit ditembus air menyebabkan biji yang baru jatuh tidak langsung berkecambah, namun tersimpan di lantai hutan sebagai *seed bank* dan memerlukan waktu untuk dapat melunakkan kulit bijinya agar perkecambahan dapat terjadi. Percambahan akan terjadi bila faktor-faktor untuk terjadinya perkecambahan seperti intensitas cahaya dan kelembaban mendukung.

Waimbo (2013) meniru terjadinya perkecambahan benih merbau di alam dalam suatu percobaan. Percobaan dilakukan dengan membuat perlakuan beberapa kemungkinan letak benih *I. bijuga* saat jatuh di lantai hutan dan beberapa kondisi tingkat naungan. Melalui percobaan ini menunjukkan bahwa benih yang jatuh di atas serasah lantai hutan dengan kondisi tanpa naungan (100% terpapar cahaya) memiliki perkecambahan terendah (2,22%) yang terjadi setelah 4 bulan ditabur (Tabel 5). Percobaan ini mirip seperti yang dihasilkan oleh Nurhasbi & Sudrajat (2009), yang memperlihatkan bahwa benih *I. bijuga*, tanpa perlakuan apapun, yang ditabur di atas permukaan tanah tanpa pembersihan tapak menghasilkan

perkecambahan hanya 4,75% setelah 3 bulan penaburan. Ini berarti bahwa benih merbau, sebagai benih ortodoks, yang diproduksi dan dijatuhkan di lantai hutan saat musim buah, sebagian besar tidak berkecambah dan masih tersimpan sebagai *seed bank*. Benih ortodoks dari merbau yang jatuh ke lantai hutan di bawah tajuk pohon induknya tidak selalu mampu disimpan sebagai sediaan benih. Habisnya sediaan benih di lantai hutan ini dapat disebabkan adanya hama biji seperti babi hutan maupun kumbang anobiid. Hal inilah yang sering menyebabkan tidak adanya regenerasi alam, walaupun pohon induknya tersedia.

Walaupun dalam uji statistik menggunakan analisis keragaman daya perkecambahan *I. bijuga* tidak dipengaruhi oleh interaksi perlakuan naungan dan letak benih di lantai hutan, namun terdapat kecenderungan perkecambahan akan lebih terpicu saat benih berada di bawah lapisan serasah maupun terbenam dalam tanah pada semua kombinasi dengan faktor naungan. Sebaliknya benih yang mendapatkan naungan, walaupun kemungkinan terjadinya perkecambahannya lebih besar, namun perkecambahannya cenderung terjadi lebih lambat (Tabel 5). Ini memperlihatkan bahwa peran kelembaban dan cahaya yang masuk ke lantai hutan sangat berperan dalam proses regenerasi *I. bijuga*. Benih yang terletak di bawah tumpukan serasah atau terbenam memperoleh kelembaban yang cukup untuk perkecambahannya, namun kekurangan cahaya sehingga perkecambahannya berjalan lambat (Waimbo 2013).

Tabel 5. Pengaruh intensitas naungan dan letak benih merbau terhadap daya perkecambahan (D), laju perkecambahan (L), rata-rata perkecambahan harian (R), diameter (Diam.) dan tinggi (T)

Perlakuan		D (%)***	L (hari)**	Diam (mm)#	T (cm)#
Naungan (%)	Letak Benih				
0	A	2,22	17.67 b	17	1,33
	B	44,44	34,63 a	69	13,11
	C	33,33	60,00 a	69	16,20
25-30	A	26,67	65,86 ab	39	34,37
	B	33,33	80,94 b	121	18,97
	C	31,11	43,48 a	40	18,97

91-93	A	20,00	48,33 a	41	22,67
	B	33,33	35,12 a	9	22,33
	C	37,78	38,86 a	31	22,17

*A=di atas serasah; B=di bawah serasah; C=di dalam tanah

**Angka dalam kolom yang sama diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey ($P < 0,05$).

***tidak berbeda nyata berdasarkan analisis keragaman ($P < 0,05$)

tidak dilakukan pengujian statistik (Sumber: Waimbo 2013)

Pertumbuhan tinggi anakan *Intsia bijuga* sangat dipengaruhi oleh tingkat naungan dibandingkan pertumbuhan diameternya. Pada kecambah yang mendapatkan naungan cenderung memiliki pertumbuhan tinggi lebih besar dibandingkan yang terpapar cahaya 100%, bahkan pada anakan yang ternaungi berat menampakkan adanya gejala etiolasi (Waimbo 2013). Perbedaan pertumbuhan antar semai *I. bijuga* sangat bervariasi yang ditampakkan pada tingkat keterpaparan terhadap sinar matahari antara 19 – 100%.

Semai yang diberi naungan menunjukkan adanya respirasi gelap (*dark respiration*), titik kompensasi fotosintesis (*light compensation point*), titik jenuh fotosintesis (*light-saturated photosynthesis*) lebih rendah dibandingkan dengan semai yang mendapatkan cahaya penuh. Kondisi fisiologis demikian memperlihatkan kemampuan semai *I. bijuga* beradaptasi dengan kondisi intensitas cahaya yang rendah, seperti pula ditunjukkan dengan perubahan ketebalan daun, jumlah lapisan palisade dan kerapatan stomata yang lebih rendah dibandingkan daun anakan *I. bijuga* yang terpapar cahaya penuh (De Meo & Marler 1998). Siaguru (1992) melalui percobaannya terhadap 7 jenis semai pohon dataran rendah di Papua New Guinea diperoleh bahwa semai *I. bijuga* merupakan jenis toleran terhadap naungan. Semai-semai merbau yang dihasilkan dari perkecambahan sediaan benih di lantai hutan (*seed bank*) akan bertahan hidup di bawah naungan tegakan yang lebih besar sebagai sediaan semai (*seedling bank*) yang sewaktu-waktu saat kondisi pencahayaan memadai akan bertumbuh dan berkembang menjadi sapling, tiang hingga pohon. Semai merbau sampai saat ini belum diketahui berapa lama mampu bertahan hidup di bawah tajuk tegakan.

Lamanya sediaan semai yang toleran terhadap naungan mampu bertahan hidup bergantung pada kemampuan adaptasinya yang ditampakkan dari proses fisiologisnya. Selama karbon yang diperoleh melalui fotosintesis masih seimbang dengan karbon yang dikeluarkan melalui respirasi, semai masih mampu mempertahankan hidupnya dalam jangka waktu lama. Walaupun demikian kemampuan bertahan hidup semai di lantai hutan bukan semata-mata dari adaptasinya berupa tolerasinya terhadap naungan, namun juga berhubungan dengan adaptasi terhadap lingkungan seperti stres air, faktor mikroklimat, penyakit maupun hama seperti rusa dan serangga herbivora (Spurr & Barnes 1980).

Bukaan tajuk (gap) dapat terjadi karena adanya pohon yang tumbang. Cahaya yang mampu masuk hingga ke lantai hutan menyebabkan semai-semai menerima cahaya yang cukup, dan meresponnya dengan melakukan proses fotosintesis yang menghasilkan karbon lebih besar dari pada karbon yang dipergunakan untuk respirasi. Karbon yang tersisa (net fotosintesis) akan disimpan dalam bentuk biomassa, yang diperlihatkan dengan adanya penambahan biomassa semai secara perlahan. Walaupun demikian, nukaan tajuk yang terlalu besar dapat memberikan dampak negatif dengan terjadinya pertumbuhan jenis-jenis pionir yang melimpah sehingga tercipta persaingan keras terhadap ruang dan unsur hara. Hanya individu-individu yang mampu bersaing yang akan menjadi survivor dan mampu lolos ke tingkat pertumbuhan lebih lanjut.

A photograph of a large tree trunk in a dense forest. The tree trunk is the central focus, showing its textured bark and some moss growth. The surrounding forest is lush with green foliage, including various leaves and branches. The lighting is natural, suggesting daylight filtering through the canopy. A semi-transparent white rectangular box is overlaid on the tree trunk, containing the text 'BAB IV SILVIKULTUR MERBAU' in a bold, black, serif font.

BAB IV
SILVIKULTUR MERBAU

BIOLOGI PERKECAMBAHAN DAN PENANGANAN BENIH MERBAU

Pemahaman sifat biologi biji sangat penting untuk dapat melakukan penanganan benih, penyimpanan benih, perlakuan awal benih (*pre-sowing treatment*), hingga perkecambahan benih secara tepat. Ciri morfologi dan anatomi biji dan kulit biji erat hubungannya dengan sifat-sifat biji tersebut seperti sifat dormansi dan bagaimana kemungkinan penanganan terhadap dormansi tersebut, kemampuan benih untuk dikeringkan dan disimpan dalam jangka waktu tertentu dan pemilihan benih yang baik agar mendapatkan hasil bibit yang bermutu (Nugroho 2010).

MORFOLOGI DAN VARIASI BIJI MERBAU

Posisi biji di dalam polong induknya dapat mempengaruhi ukuran, morfologi, warna dan perkecambahan di banyak jenis tumbuhan, sekalipun itu berasal dari satu polong (Gutterman 2000). Bentuk morfologi biji dan variasi ukuran pada *I. bijuga* jauh lebih beragam dibandingkan *I. palembanica*. Biji *I. bijuga* mempunyai bentuk pipih seperti spatula, mendekati bentuk hati (kordata), bulat (globose) hingga oval (eliptikal), dan mendekati bentuk persegi empat (oblong) dengan ukuran yang beragam, sedangkan pada *I. palembanica* lebih banyak berbentuk bulat (globose) hingga oval (eliptikal) atau mendekati bentuk persegi empat (oblong) dengan ukuran yang tidak terlalu beragam.

Perbedaan keragaman bentuk biji antar kedua jenis merbau tersebut disebabkan bentuk polong yang jauh berbeda antar ke dua jenis merbau tersebut. Polong *I. bijuga* jauh lebih panjang dapat mencapai 15-20 cm dengan bagian pangkal dan ujung meruncing dapat berisi biji hingga 6 biji, sedangkan polong *I. palembanica* yang lebih pendek, berisi dua buah biji dan bagian ujung polong membulat. Kalau pun polong *I. palembanica* dapat bervariasi memanjang, namun umumnya bentuknya lebih lebar daripada *I. bijuga*. Bentuk dan ukuran polong seperti demikian menyebabkan biji *I. palembanica* kurang bervariasi bentuknya dan lebih besar ukurannya dibandingkan *I. bijuga*. Sebaliknya pada *I. bijuga*, biji yang terbentuk pada bagian pangkal dan ujung polong cenderung memiliki ukuran kecil dengan bentuk pipih mendekati bentuk spatula hingga mendekati bentuk hati (Gambar 12).

Variasi ukuran biji berdasarkan bobot biji *I. bijuga* dapat terjadi dalam satu populasi tegakan (dalam lokasi tempat tumbuh) maupun antar populasi tegakan (antar lokasi tempat tumbuh), seperti ditunjukkan dari hasil uji-t ($P > 0,05$) terdapat perbedaan rata-rata bobot biji merbau antar lokasi asal biji merbau dikumpulkan (Gambar 13).

Biji dengan rata-rata ukuran bobot terkecil ditunjukkan oleh biji asal lokasi A ($2,55 \pm 0,44$ g), diikuti lokasi E ($2,69 \pm 0,51$ g), lokasi D ($2,75 \pm 0,57$ g), B ($2,99 \pm 0,51$ g) dan terbesar pada biji asal lokasi C ($3,34 \pm 0,57$ g). Biji dari lokasi A secara statistik berbeda nyata dengan biji dari lokasi B, C dan D, namun tidak berbeda dengan biji asal lokasi E.

Pengukuran contoh biji yang dikumpulkan dari seluruh lokasi (F) memperlihatkan bobot biji bervariasi 1.18 – 4,33 g ($2,87 \pm 0,59$ g) (Gambar 9). Walaupun demikian, keragaman ukuran biji bukan semata karena ruang tempat pembentukan biji yang sempit, namun dapat juga karena peran faktor genetik maupun tempat tumbuh, seperti ditunjukkan adanya perbedaan bobot biji merbau dalam satu populasi atau antar populasi (Nugroho 2010).

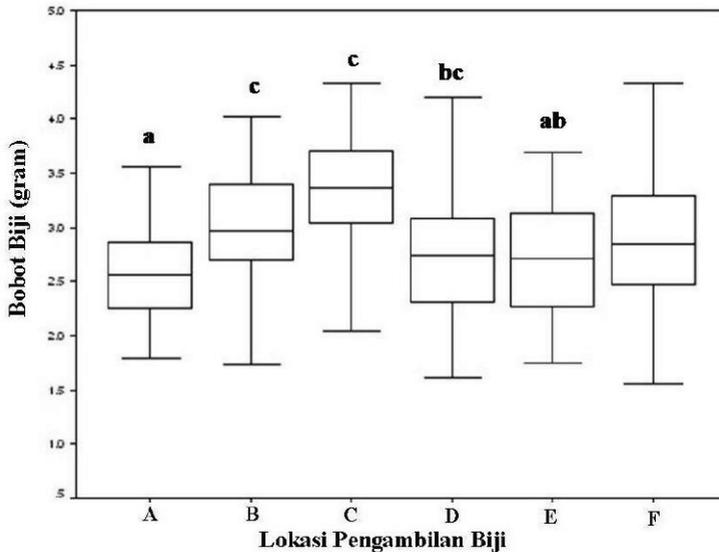
DORMANSI DAN BIOLOGI PERKECAMBAHAN BIJI MERBAU

Dormansi benih merupakan keadaan suatu benih sehat walaupun berada dalam lingkungan normal yang baik untuk perkecambahan namun gagal untuk

berkecambah. Dormansi sendiri merupakan perkembangan dari suatu strategi kehidupan dari suatu tumbuhan untuk mencegah perkecambahan terjadi manakala kemungkinan kelangsungan hidupnya rendah. Dormansi benih dapat menguntungkan namun dapat pula merugikan. Menguntungkan karena dapat mencegah perkecambahan selama penyimpanan benih, sebaliknya merugikan apabila dormansinya sangat kompleks sehingga memerlukan perlakuan awal yang khusus (Schmidt 2000).



Gambar 12. (a) bentuk morfologi biji merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze] bervariasi. Mulai dari gambar atas kanan ke kiri dan gambar bawah kanan ke kiri, biji berbentuk pipih seperti spatula, bulat (globose) hingga oval (eliptikal), mendekati bentuk hati (kordata) hingga mendekati bentuk persegi empat (oblong). (b-c) bentuk dan ukuran biji tergantung letaknya saat terbentuk dalam polong buah merbau.

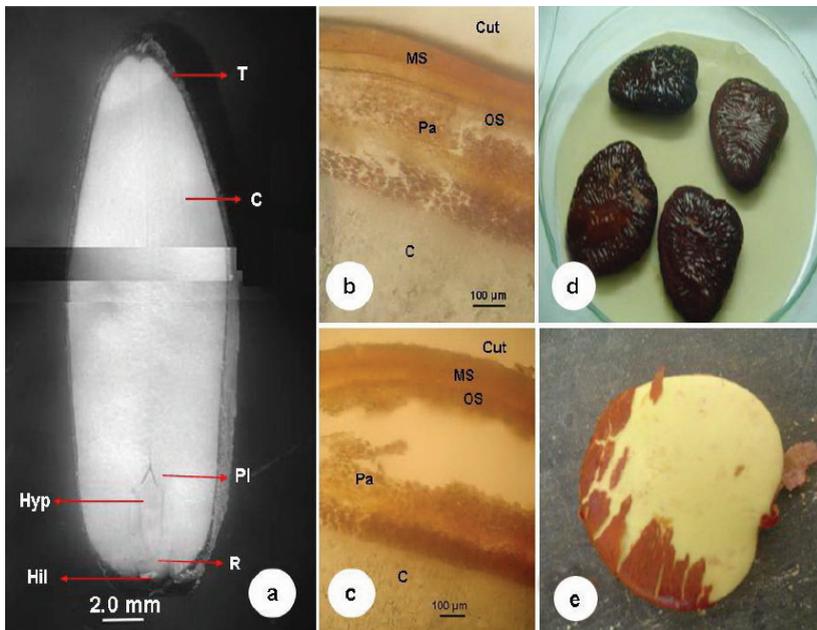


Gambar 13. Variasi bobot biji merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze]. A-E = lokasi pengambilan biji, dan F merupakan variasi gabungan bobot biji dari seluruh lokasi pengambilan biji. Bar dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji-t ($p < 0,05$).

Seperti pada umumnya tanaman legum, merbau memiliki ciri umum dengan dormansi fisik seperti ditunjukkan oleh struktur kulit biji merbau. Dari telaah histologi (Nugroho 2010), biji *I. bijuga* memiliki struktur biji non-endospermis yang dicirikan dengan adanya kotiledon yang berfungsi hanya sebagai cadangan makanan dan akan dipergunakan embrio untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Kulit biji (testa) memiliki ketebalan hingga mencapai 500 μm yang tersusun dari (1) lapisan terluar yaitu kutikula setebal 25-30 μm ; (2) lapisan di bawahnya terdapat dua lapis sel makroskleroid yang tersusun atas sel-sel palisade yang rapat dengan ketebalan 110 - 125 μm ; (3) satu lapisan sel osteoskleroid dengan ketebalan 30 - 50 μm ; (4) lapisan sel parenkim setebal 280 - 300 μm (Gambar 14).

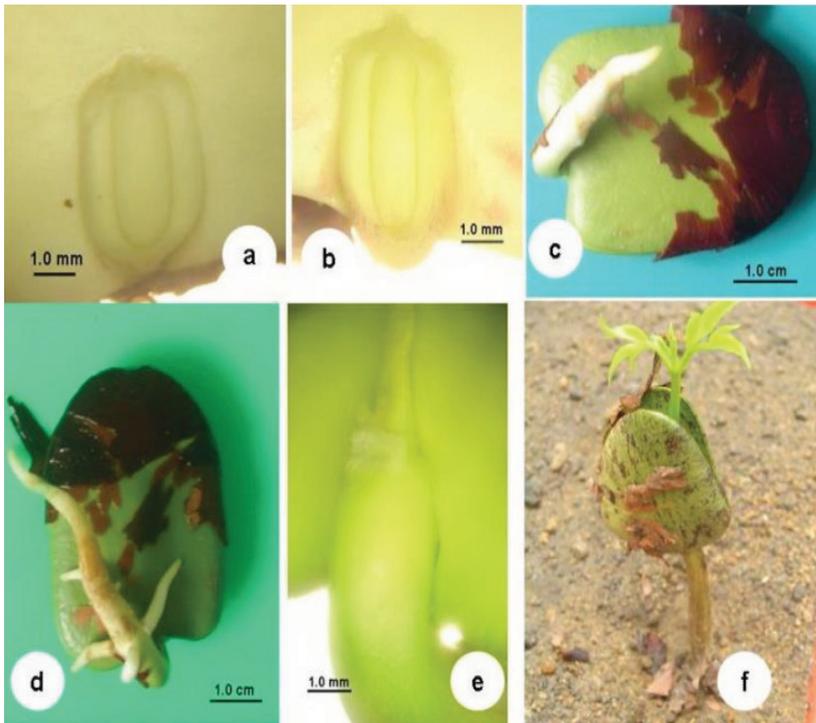
Biji seperti demikian sulit untuk berkecambah karena impermeable terhadap air yang menghalangi proses imbibisi bila tidak mendapatkan perlakuan awal. Impermeabilitas benih ditentukan oleh dua lapisan terluar yaitu: testa dan lapisan

palisade dari makroskleroid. Oleh karena itu disarankan perlakuan awal melalui pelukaan kulit biji (skarifikasi) setidaknya harus dilakukan hingga mencapai osteoskleroid atau dengan kedalaman $\pm 170 \mu\text{m}$. Dengan rusaknya lapisan-lapisan tersebut menyebabkan imbibisi dapat terjadi yang membuat benih membengkak dan menyebabkan kulit benih terkelupas pada bagian sel parenkim (Gambar 14) (Nugroho 2010). Keragaman tingkat dormansi dapat terjadi karena adanya keragaman ketebalan bagian kulit yang impermeabilitas antar benih dalam satu lot benih yang berbeda (Schmidt 2000). Ukuran benih tampaknya berhubungan dengan ketebalan kulit benih karena didasarkan pengalaman benih-benih dengan ukuran besar jauh lebih mudah untuk berkecambah walaupun tanpa perlakuan skarifikasi.



Gambar 14. Struktur biji dan proses imbibisi pada merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze]. (a) penampang penampang melintang biji merbau. T=testa (seed coat), Pl=plumula, Hyp=hipokotil, R=radikula, C=kotiledon dan Hil=hilum; (b) anatomi testa sebelum terjadinya imbibisi Cut=kutikula, MS=sel makroskleroid sel, Os=sel osteoskleroid, Pa=sel parenkim; (c) imbibisi telah terjadi dan tampak pelepasan testa; (d) biji yang telah terimbibisi, (e) kulit terluar telah terlepas menampakkan sebagian testa bagian dalam yang tersisa, demikian pula kotiledon tampak telanjang (Sumber: Nugroho 2010)

Masuknya air ke dalam benih karena pelukaan benih tersebut mendorong aktivasi enzim yang menyebabkan terjadinya perkembangan dan pertumbuhan embrio. Pemanjangan radikel maupun plumula tampak pada 5 hari setelah penyemaian benih merbau, namun perkecambahan yang ditandai dengan munculnya radikel baru terlihat pada 8 hari setelah penyemaian. Selanjutnya daun pertama muncul dari dalam kotiledon pada 18 hari setelah penyemaian. Tipe perkecambahan merbau adalah epigious. Kotiledon mulai terlepas pada 30 hari setelah penyemaian (Gambar 15) (Nugroho 2010).



Gambar 15. Proses perkecambahan benih merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze]. (a) penampakan embrio setelah perlakuan awal (0 hari); (b) pemanjangan plumula dan radikel terjadi pada 5 hari setelah penyemaian; (c) akar telah ke luar pada 8 hari setelah penyemaian; (d dan e) akar cabang mulai terbentuk dan pemanjangan plumula berlanjut pada 14 hari setelah penyemaian, walau kotiledon masih tertutup; (f) pemunculan daun pertama dari dalam kotiledon pada 16 hari setelah penyemaian (Sumber: Nugroho 2010).

PEMANENAN, PENANGANAN DAN PENYIMPANAN BENIH MERBAU

Biji merbau, dari karakteristiknya, dikategorikan ke dalam biji ortodoks. Biji ortodoks adalah biji benih yang dapat dikeringkan hingga kadar air benih 5% dan mampu disimpan dalam rentang waktu tertentu tanpa penurunan viabilitas yang berarti.

Penanganan benih merbau sangat penting dilakukan secara benar untuk dapat memperoleh benih dengan kualitas yang baik. Penanganan benih yang kurang baik menyebabkan viabilitas benih cepat menurun dan tidak dapat disimpan dalam rentang waktu yang optimal.

PEMANENAN BENIH

Biji untuk tujuan penanaman dikumpulkan dari pohon induk terpilih. Buah dan biji akan sangat mudah dikumpulkan di bawah tajuk pohon induk yang telah dibersihkan dari semak. Ukuran buah dan biji merbau yang besar juga menyebabkan mudah dalam pengumpulannya.

Polong merbau yang telah tua akan berubah warna menjadi hitam kecoklatan dan akan terbelah saat buah belum tanggal dari tangkainya. Terbelahnya polong akan menyebabkan biji sebagian akan jatuh ke lantai hutan dan sebagian lagi masih melekat pada polong dan akan jatuh bersamaan dengan polongnya. Penggunaan net perangkap buah dan biji di bawah tajuk pohon lebih memudahkan di dalam pekerjaan pengumpulan buah dan biji.

PENANGANAN DAN PENYIMPANAN BENIH

Biji yang telah dikumpulkan, disortir terlebih dahulu untuk mendapatkan ukuran benih yang ideal. Demikian pula perlu disingkirkan benih-benih yang telah rusak terserang hama biji. Tindakan awal menyingkirkan benih yang rusak karena hama, perlu perhatian khusus karena apabila terdapat benih merbau yang terinfestasi hama terikut tersimpan, kemungkinan besar hama biji merbau dapat berkembang dan merusak keseluruhan benih yang disimpan. Benih yang telah terseleksi selanjutnya diekstraksi dengan cara mencucinya dengan air bersih untuk menghilangkan kulit aril yang tersisa. Setelah benih diekstraksi dapat dikeringkan dengan menjemurnya di bawah panas matahari selama 2 - 3 hari.

Benih merbau yang telah kering diberikan insektisida, fungisida dan bakterisida dengan cara menaburinya secara merata untuk mencegah masuknya hama biji dan penyakit yang disebabkan cendawan maupun bakteri selama penyimpanan. Benih yang telah mendapat perlakuan insektisida, fungisida dan bakterisida selanjutnya dapat dimasukkan ke dalam wadah plastik seal kemudian disimpan di tempat sejuk dan kering.

Yuniarti (2002) dalam penelitiannya melakukan percobaan penyimpanan benih merbau selama 6 bulan dengan memberikan perlakuan kondisi penyimpanan mendapatkan hasil bahwa penyimpanan selama enam bulan hanya menyebabkan penurunan daya perkecambahan dari 99% menjadi 86% atau turun sebesar 13 persen. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa penyimpanan di dalam ruangan berpendingin udara (18-20°C) lebih baik dalam mempertahankan viabilitas dibandingkan pada suhu kamar biasa.

PROSEA (1996) menyebutkan bahwa benih merbau yang matang akan tetap dapat mempertahankan viabilitasnya hingga lebih dari 3 tahun. Nugroho (2010) dalam percobaan perkecambahan dengan menggunakan benih yang telah disimpan selama 2 tahun masih memperoleh persen perkecambahan sebesar 78,67%.

PERBANYAKAN TANAMAN MERBAU

Keberhasilan dalam melakukan permudaan merbau sangat bergantung dari pengetahuan tentang benih dan pembenihan tanaman tersebut. Seperti pada tanaman berkayu lainnya, perbanyakan tanaman merbau dapat ditempuh melalui cara seksual (reproduktif) yaitu dengan menggunakan biji, maupun secara aseksual (vegetatif) yaitu menggunakan organ vegetatif seperti stek (*cuttings*) dan sambung (*graftings*). Keduanya dapat dilakukan baik melalui metode *in vivo* maupun *in vitro*.

PERBANYAKAN MERBAU MELALUI BIJI (REPRODUKTIF)

Perbanyakan tanaman merbau dengan menggunakan biji merupakan perbanyakan yang paling banyak dipergunakan untuk tujuan produksi bibit bagi kegiatan penanaman. Perbanyakan melalui biji dilakukan apabila memang dikehendaki adanya keturunan yang memiliki keragaman yaitu berasal dari gabungan sifat dari tetua jantan dan betina yang muncul akibat adanya persilangan (Hartman et

al. 2002). Oleh karena itu, saat penyediaan bibit, seringkali hasil yang diperoleh melalui cara perbanyakan ini akan beragam dalam penampilan keragaannya. Untuk mendapatkan mutu bibit yang baik, benih merbau yang digunakan sebaiknya berasal dari pohon induk yang unggul. Walaupun demikian seleksi pada tahapan pembibitan di persemaian perlu dilakukan untuk menyingkirkan bibit-bibit bermutu jelek yang mungkin timbul akibat perkawinan silang yang tidak terkontrol.

PROSEDUR PERBANYAKAN MERBAU MENGGUNAKAN BIJI

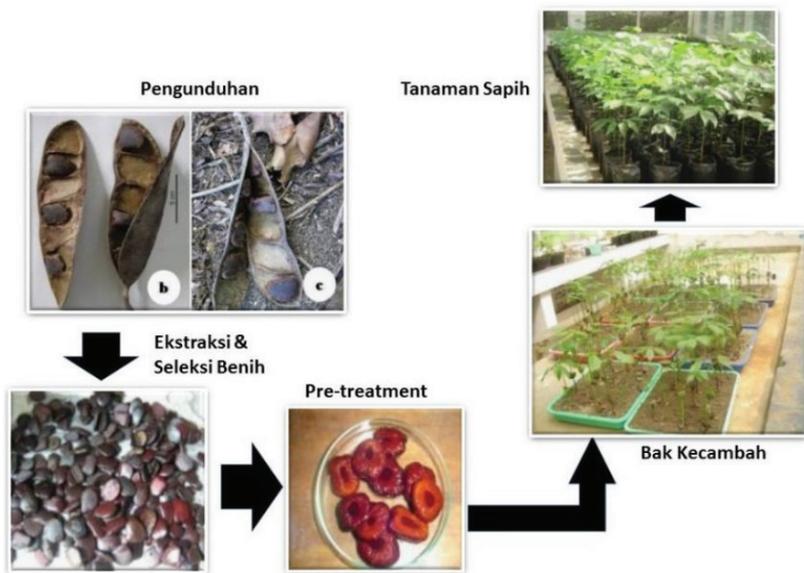
Secara umum prosedur perbanyakan merbau dengan menggunakan biji dapat dimulai dengan pemanenan/pengunduhan benih dari pohon penghasil benih yang mempunyai sifat unggul untuk tujuan kayu pertukangan yaitu berbatang lurus dan bebas cabang tinggi. Pemanenan dapat dilakukan dengan cara memanjat atau mengumpulkan biji maupun polong yang telah jatuh. Biji dikeluarkan dari polongnya kemudian dipilih biji yang utuh, sehat dan berukuran besar. Biji-biji tersebut selanjutnya diekstraksi untuk membersihkan kulit aril yang tertinggal dengan cara mencucinya. Benih yang telah diekstraksi selanjutnya diberikan perlakuan awal untuk memecahkan dormansi melalui skarifikasi pelukaan dan perendaman dalam air panas dan selanjutnya dapat dilakukan penyemaian.

Perkecambahan benih merbau dapat dilakukan dengan menggunakan bak perkecambahan namun dapat pula dilakukan dengan menanamnya dalam guludan. Media perkecambahan dapat hanya berupa pasir apabila hanya ditujukan hanya untuk mengecambahkan saja. Benih yang telah berkecambah dengan jumlah daun 2-3 selanjutnya dapat disapih dalam polibag yang berisi media campuran pasir, tanah mineral dan pupuk organik. Pemeliharaan selama penyapihan dilakukan hingga berumur dua tahun untuk menghasilkan bibit yang siap digunakan dalam penanaman (Gambar 16).

PERLAKUAN AWAL DALAM PERKECAMBAHAN MERBAU

Sebagai benih orthodox yang memiliki masa dormansi seperti dicirikan oleh susunan kulit biji merbau, maka perlakuan awal sangat diperlukan dalam mengecambahkan benih merbau di persemaian. Pada tanaman yang memiliki ciri dormansi fisik seperti pada merbau, perkecambahan dapat dipercepat dengan melakukan perlakuan awal skarifikasi terhadap benih. Skarifikasi dapat

dilakukan dengan cara (1) mekanis yaitu melukai kulit biji baik secara sederhana dengan mengamplas atau mengikir biji, atau memecahkan kulit ataupun melalui cara mekanis menggunakan mesin perusak kulit biji (2) skarifikasi basah yaitu dengan merendam biji dalam air panas atau hangat; (3) skarifikasi menggunakan larutan masam seperti asam sulfat, (4) skarifikasi temperatur tinggi, seperti menggunakan pembakaran biji. Sejumlah bahan kimia alternatif seperti alkohol, hidrogen peroksida juga pernah dicobakan untuk mematahkan dormansi fisik (Harmant *et al.* 2002; Schmidt 2000).

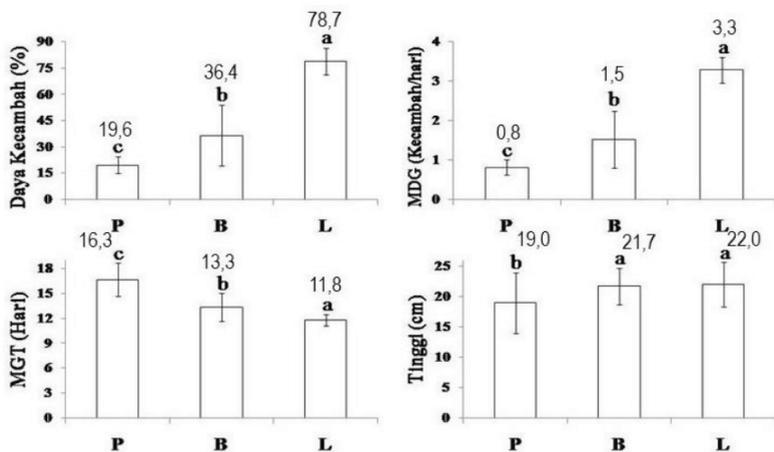


Gambar 16. Urutan pekerjaan dalam perbanyakan merbau secara vegetatif dimulai dari pengunduhan, ekstraksi dan seleksi biji, perlakuan awal benih (*pre-treatment*) hingga penyapihan hasil perkecambahan

Selama ini penanganan untuk mematahkan dormansi pada merbau disamakan baik pada *I. bijuga* maupun *I. palembanica*. Teknik skarifikasi yang umum dilakukan adalah dengan cara mengikir atau mengamplas sedikit bagian strophile biji. Dengan teknik ini, *Intsia palembanica* mampu berkecambah 100% (PROSEA 1994), sedangkan dengan menggunakan perlakuan awal perendaman dalam asam sulfat pekat selama 30 menit *I. bijuga* memperoleh

100% perkecambahan dengan rata-rata waktu berkecambah 7,4 hari (Murdjoko 2003), walaupun cara ini tidak disarankan karena sulitnya penanganan larutan asam sulfat pekat yang digunakan.

Nugroho (2010) membandingkan beberapa metode skarifikasi pada *I. bijuga* yaitu dengan cara perendaman dalam larutan NaOCl 0,525% (P), pelukaan benih (L), dan pembakaran benih (B) untuk menilai efektivitasnya dalam menghasilkan perkecambahan benih merbau yang baik. Dari penelitian yang dilakukannya memperlihatkan bahwa perlakuan awal skarifikasi dengan pelukaan masih belum bisa digantikan dengan metode lain yang lebih simpel dalam memperoleh perkecambahan yang seragam, cepat dan bermutu baik (Gambar 17).



Gambar 17. Pengaruh perlakuan awal benih (P = NaClO 0.525%+air panas; B=bakar+NaClO 0.525%+air panas; L=pelukaan+NaClO 0.525%+air panas) terhadap daya berkecambah (G), rata-rata benih berkecambah per hari (MDG), rata-rata waktu untuk berkecambah (MGT) dan tinggi kecambah merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze]. Bar dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan (DMRT, $p < 0.05$). Percobaan menggunakan benih yang telah disimpan selama 2 tahun (Sumber: Nugroho 2010).

Pada perkembangan lebih lanjut, ternyata pemecahan dormansi pada *I. palembanica* jauh lebih mudah daripada *I. bijuga* karena karakteristik biji (testa) *I. palembanica* mempunyai susunan kutikula, sel-sel makroskleroid dan osteoskleroid yang cenderung lebih tipis dan longgar sehingga lebih mudah dirusak

agar imbibisi terjadi (Tabel 6). Pelukaan kulit benih merupakan perlakuan awal yang paling efektif pada *I. bijuga* sedangkan untuk *I. palembanica* penggunaan perendaman air panas dapat dipergunakan sama efektifnya dengan pelukaan. Penggunaan NaOCl 0,525% disarankan untuk dilakukan saat memberikan perlakuan awal pelukaan untuk menghindari adanya kontaminan dari penyakit bawaan benih (Nugroho 2010).

Tabel 6. Benih terimbibisi (%) dan daya kecambah (%) setelah benih merbau (*Intsia bijuga* dan *I. palembanica*) diberi perlakuan awal (*pre-treatment*).

No.	Jenis dan Perlakuan awal Terhadap Benih Merbau	Benih terimbibisi (%)	Daya Kecambah* (%)
I. bijuga			
1.	NaOCl 0,525% + air panas (80°C)	41,33	19,55
2.	Pelukaan + NaOCl 0,525% + air panas (80°C)	100,00	78,67
I. palembanica			
1.	Air panas (70°C)	100,00	-
2.	NaOCl 0,525% + air panas (70°C)	100,00	80-90

Keterangan: NaOCl merupakan larutan pemutih pakaian komersial; perendaman dalam air panas dilakukan hingga air mendingin dan tetap dibiarkan terendam hingga 12 jam. Benih telah disimpan selama 2 tahun. (Sumber: Nugroho...); *Daya kecambah sangat dipengaruhi oleh lama penyimpanan benih.

Saat melakukan skarifikasi benih merbau dengan cara pelukaan pada prinsipnya dapat dilakukan pada keseluruhan permukaan biji namun harus dihindari pelukaan daerah mikrophylar (hilum), tempat ke luarnya radikel karena dapat merusak embrio yang terdapat di dalamnya. Pelukaan kulit biji hanya sebatas pada lapisan yang kedap air. Kerusakan kecil pada kotiledon tidak akan mempengaruhi perkecambahan walaupun sering akan menjadi daerah yang

peka untuk masuknya penyakit benih dari jenis-jenis *soil-borne diseases* yang menyebabkan penyakit *damping off* atau menyebabkan kotiledon membusuk. Soil-borne diseases tersebut disebabkan jenis cendawan seperti *Phytophthora ultimum*, *Rhizoctonia solani*, *Botrytis cinerea* dan *Phytophthora* spp. Oleh karena itu, sterilisasi media persemaian sangat dianjurkan. Demikian pula saat dilakukan perlakuan awal benih melalui pelukaan, sebaiknya disertai dengan perendaman dalam larutan sodium hipoklorit NaOCl (Schmidt 2002 dan Nugroho 2010).

PENGARUH UKURAN BENIH TERHADAP PERKECAMBAHAN MERBAU

Penyeleksian biji untuk dijadikan benih saat melakukan perkecambahan, tidak semata dengan melihat kesehatan benihnya, ukuran biji pun perlu diperhatikan. Nugroho (2010) dalam percobaannya dengan menggunakan benih dalam tiga kategori ukuran yaitu kecil (<2,25 g), sedang (2,25-3,25) dan besar (>3,25) yang mendapat perlakuan awal pelukaan, perendaman dalam larutan sodium hipoklorit NaOCl 5,25% dan pembakaran pada benih *I. bijuga* memperlihatkan bahwa benih dengan ukuran kecil cenderung lebih sulit untuk dirusak kulit benihnya. Semakin kecil ukuran benih, semakin rapat susunan sel-sel palisade yang impermeabel (de Souza & Marcos-Filho 2001) dan satu-satunya perlakuan yang paling efektif untuk semua ukuran benih adalah dengan cara pelukaan kulit benih (Tabel 7).

Ukuran benih yang dipergunakan sangat menentukan mutu bibit yang dihasilkan. Pada percobaan yang dilakukan oleh Nugroho (2010) memperlihatkan bahwa ukuran benih yang besar memberikan kecenderungan hasil perkecambahan lebih baik dan lebih seragam. Dalam uji statistik daya perkecambahan (G) dan rata-rata benih berkecambah per hari (MDG) tidak menunjukkan adanya perbedaan, namun rata-rata hari yang diperlukan untuk berkecambah (MGT) dan tinggi kecambah (T) yang dihasilkan memberikan suatu perbedaan antara benih berukuran kecil dan berukuran besar (Gambar 18).

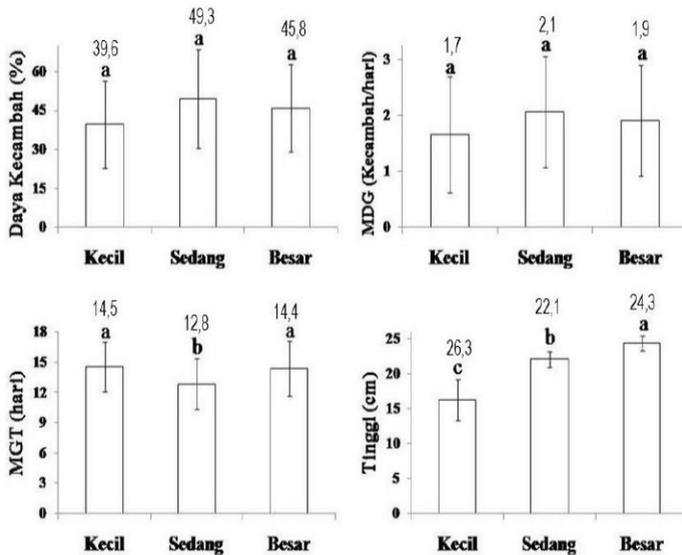
Kecenderungan waktu berkecambah yang lebih cepat dan pertumbuhan kecambah yang lebih baik pada benih merbau berukuran besar disebabkan benih berukuran besar memiliki cadangan karbohidrat tersimpan dalam kotiledon yang lebih banyak dibandingkan benih berukuran kecil. Karbohidrat diperlukan untuk

pertumbuhan awal kecambah sehingga dengan tingginya kandungan karbohidrat menyebabkan embrio lebih vigor dan mempunyai energi lebih tinggi untuk segera berkecambah sehingga dapat memperkecil rata-rata waktu berkecambah (MGT).

Tabel 7. Rata-rata benih merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze] berimbibisi (%) setelah perlakuan awal pelukaan, perendaman dalam larutan sodium hipoklorit NaOCl 5,25% dan pembakaran pada benih dengan ukuran benih yang berbeda

Ukuran benih - Perlakuan Awal	Benih berimbibisi (%)**
Kecil – NaOCl 5,25%	38,67 e
Kecil – Pembakaran	33,33 e
Kecil – Pelukaan	100,00 a
Sedang – NaOCl 5,25%	33,33 e
Sedang – Pembakaran	82,67 b
Sedang – Pelukaan	100,00 a
Besar – NaOCl 5,25%	52,00 d
Besar – Pembakaran	65,33 c
Besar – Pelukaan	100,00 a

** Angka dalam kolom yang sama diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan (DMRT) ($P < 0,05$).



Gambar 18. Pengaruh ukuran benih (kecil <2,25 g, sedang 2,25-3,25 g, besar >3,25 g) terhadap daya berkecambah (G), rata-rata benih berkecambah per hari (MDG), rata-rata waktu untuk berkecambah (MGT) dan tinggi kecambah merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze]. Bar dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan (DMRT, $p < 0,05$). Percobaan menggunakan benih yang telah disimpan selama 2 tahun. (Sumber: Nugroho 2010)

Ukuran benih yang berbeda akan menghasilkan perkecambahan dan keragaan anakan merbau yang dihasilkan (Gambar 19). Oleh karena itu untuk memperoleh keragaan yang baik dan seragam. Nugroho (2010) menyarankan penggunaan benih berukuran sedang (2,25-3,25 g) atau besar (>3,25 g) dalam produksi bibit merbau (*I. bijuga*) bibit yang bermutu baik. Penggunaan benih berukuran kecil (<2,25 g) sebaiknya dihindari.



Gambar 19. Keragaan anakan merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze] umur 30 hari setelah tanam yang dihasilkan oleh benih dengan ukuran besar ($>3,25$ g) jauh lebih baik dibandingkan benih berukuran sedang ($2,25-3,25$ g) dan kecil ($<2,25$ g)

PERBANYAKAN MERBAU (*INTSIA BIJUGA*) MELALUI PENYETEKAN (*CUTTINGS*)

Penyetekan (*cuttings*) merupakan cara perbanyakan tanaman menggunakan organ vegetatif yang saat ditempatkan pada kondisi yang ideal maka akan berkembang dan bertumbuh menjadi tanaman yang utuh. Cara perbanyakan melalui metode ini telah banyak diterapkan pada tanaman kehutanan baik untuk penyediaan bibit maupun pengadaan klon-klon unggul. Beberapa alasan mengapa penyetekan lebih disukai dalam praktek perbanyakan tanaman kehutanan, yaitu (1) penyetekan merupakan metode perbanyakan yang mudah, dapat dilakukan dengan cepat dan tidak mahal tanpa memerlukan adanya teknik khusus dan tidak menghadapi masalah inkompatibel seperti halnya pada metode sambung (*grafting*) maupun tempel (*budding*); (2) dapat menghasilkan anakan yang seragam dengan sifat sama seperti induknya.

Pada prinsipnya stek dapat dibuat dari berbagai bagian vegetatif tanaman. Pada perbanyakan tanaman merbau lebih banyak melalui stek batang, yaitu bagian-

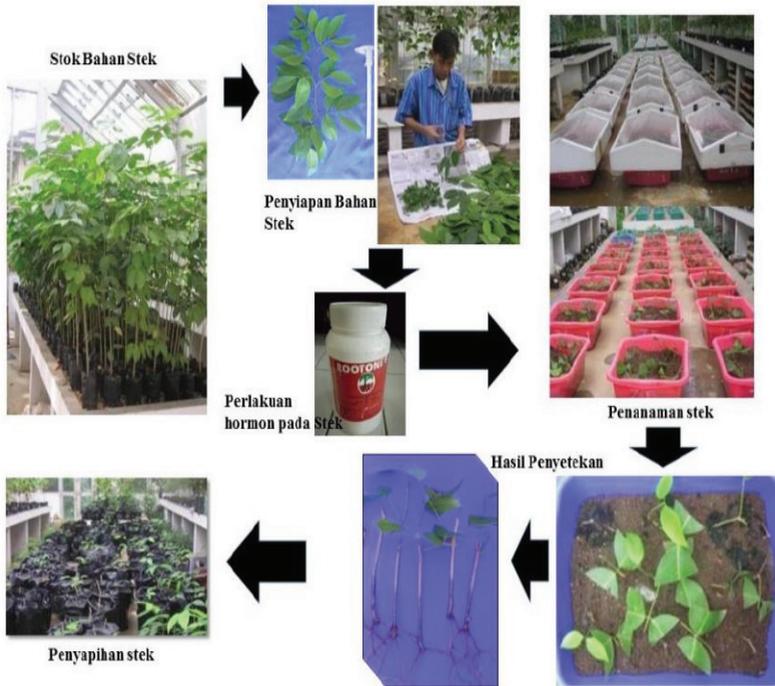
bagian dari pucuk yang memiliki tunas lateral atau terminal yang bila ditempatkan pada kondisi sesuai, diharapkan akar adventif akan terbentuk dan berkembang menghasilkan tanaman yang independen. Perkembangan akar adventif tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti asal bahan stek (posisi pada tanaman asal), ZPT yang berperan terhadap pengakaran, faktor lingkungan dan fisik (Harmant *et al.* 2002).

PROSEDUR PERBANYAKAN MERBAU MELALUI STEK

Tahapan penyetekan merbau dilakukan dengan terlebih dahulu menyiapkan bak-bak penyetekan bersungkup sebagai tempat penanaman stek. Sarana ini bervariasi dari sederhana menggunakan pengabutan secara manual hingga sistem terbuka dengan pengabutan yang telah diatur secara otomatis sesuai dengan kelembaban yang dibutuhkan. Selain penyiapan bak penyetekan, perlu pula disiapkan media untuk penyetekan, bahan stek dan hormon untuk pengakaran. Apabila keseluruhan sarana dan bahan-bahan telah disiapkan, selanjutnya bahan stek diberi perlakuan hormon pengakaran dan ditanam pada bak penyetekan. Tanaman yang telah berhasil berakar dan bertunas selanjutnya dapat dipindahkan ke polibag untuk penyapihan (Gambar 20)

MEDIA PENGAKARAN STEK MERBAU

Media pengakaran merupakan faktor yang sangat penting dalam keberhasilan perbanyakan melalui stek. Pada prinsipnya tidak ada media pengakaran stek yang ideal karena keberhasilan penyetekan yang terpenting yaitu memperhatikan manajemen air dalam media pengakaran yang digunakan disamping pula perlu memperhatikan kebersihan media dari penyakit dan pengganggu lainnya yang dapat membuat pekerjaan penyetekan gagal (Hartmann *et al.* 2002).



Gambar 20. Tahapan pekerjaan penyetekan merbau dari penyiapan alat dan bahan tanaman, perlakuan ZPT hingga penanaman dalam bak penyetekan *non-mist*

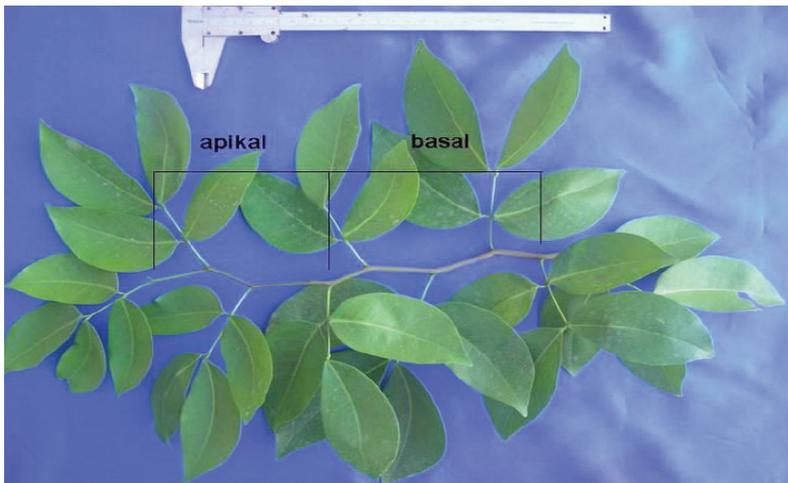
Nugroho (2010) menggunakan media pasir yang disterilkan dalam penyetekan yang ditujukan agar draenasi dapat berjalan dengan baik sehingga media tidak terlalu basah karena pengabutan dilakukan secara rutin 3-4 kali dalam sehari. Kelembaban yang tinggi dalam bak penyetekan seringkali menyebabkan tumbuhnya lumut pada media penyetekan yang dapat mengganggu proses pengakaran stek. Oleh karena itu dianjurkan dalam pengabutan sebaiknya menggunakan air bersih.

BAHAN STEK MERBAU

Perbanyak merbau melalui stek batang dapat dilakukan dengan memanfaatkan pertumbuhan tunas apikal atau pun tunas samping (lateral), demikian pula bahan stek dapat diambil dari percabangan ortotrop atau plagiatrop. Stek dengan

tunas apikal diambil dari bagian apikal pucuk sedangkan stek dengan tunas samping diambil dari bagian basal pucuk (Gambar 21). Stek asal tunas apikal dari percabangan ortotrop akan menghasilkan stek yang bertumbuh lurus ke atas yang mirip dengan pertumbuhan tanaman yang berasal dari biji.

Bahan stek diambil dari tanaman berumur relatif muda dan berasal dari batang muda yang tidak sukulen. Dalam prakteknya dapat menggunakan tanaman merbau berupa anakan berumur 2 tahun yang ditanam dalam polibag dan dipelihara di persemaian. Cara ini sangat memudahkan dalam penyediaan bahan stek dalam jumlah yang banyak secara terus-menerus. Pemeliharaan tanaman sumber stek tersebut perlu dilakukan termasuk melakukan pemupukan secara rutin sehingga mendapatkan produktivitas yang baik. Tanaman sumber bahan stek dapat diperbarui secara bergulir dari hasil perbanyakkan melalui stek itu sendiri.



Gambar 21 Bahan stek diambil dari bagian apikal (ruas 1-3) dan bagian basal (ruas 4-6) pucuk merbau (*I. bijuga*). (Sumber: Nugroho *et al.* 2013)

Bahan stek merbau umumnya memiliki dua buku (*node*) yaitu buku bagian atas ditujukan untuk pertumbuhan tunas sedangkan buku bagian bawah ditujukan untuk pertumbuhan akar. Pemotongan bahan stek dilakukan sedikit di bawah buku bagian bawah (basal) sedangkan pada bagian atas 1-2 cm di atas buku bagian atas atau disertakan keseluruhan tunas apikalnya. Daun pada bahan stek

dipotong separuhnya untuk mengurangi transpirasi. Potongan bahan stek seperti demikian memiliki panjang sekitar 10 cm.

Umur tanaman asal bahan stek diambil sangat mempengaruhi keberhasilan pengakaran stek merbau. Aoetpah (2015) yang melakukan penyetakan menggunakan bahan tanaman berasal dari merbau dewasa yang telah berdiameter 35 cm menggunakan perlakuan pencelupan bahan stek dalam larutan IBA/NAA 1000/500 ppm dan pengolesan dengan pasta Rootone F sama sekali tidak mampu mendorong terjadinya pengakaran, walaupun berhasil bertunas (Tabel 8).

Tabel 8. Keberhasilan penyetakan menggunakan ZPT dengan cara celup cepat ke dalam IBA+NAA (1000 ppm/500 ppm) dan cara oles menggunakan pasta Rootone F pada stek merbau asal pohon dewasa berdiameter 35 cm

Variabel	Perlakuan ZPT	
	IBA+NAA (1000 ppm/500 ppm)	Pasta Rotone F
Stek hidup	31,4 (12,5)	26.2 (13,7)
Stek bertunas	11,6 (16,8)	21.4 (22,5)
Stek berakar	0,0 (0,0))	0,0 (0,0))

*Nilai dalam kurung merupakan standar deviasi

**Sumber: data diolah kembali dari Aoetpah (2015)

Amri *et al* (2010) menemukan hal yang sama pada tanaman *African Blackwood* (*Dalbergia melanoxylon* Guill. & Perr.). Terdapat suatu perbedaan besar saat melakukan stek dengan bahan stek dari tanaman donor muda (umur 3 tahun) dan dari asal tanaman dewasa (15 tahun). Keberhasilan tertinggi diperoleh pada stek dari donor muda yaitu sebesar $40,45 \pm 5,73\%$ dibandingkan donor dewasa ($14,9 \pm 3.2\%$). Demikian pula Danu (2009) pada tanaman meranti tembaga (*Shorea leprosula* MIQ.) terjadi penurunan drastik keberhasilan stek untuk berakar dari $88,33 \pm 5,56\%$ pada umur bahan stek ≤ 2 tahun, menjadi $12,22 \pm 9,89\%$ pada bahan stek berumur 10 tahun dan $2,22 \pm 1,81\%$ pada bahan stek berumur 25 tahun.

PENGARUH PENGGUNAAN ZAT PENGATUR TUMBUH DALAM PENGAKARAN STEK

Zat pengatur tumbuh yang banyak digunakan di dalam praktek penyetekan adalah ZPT dari golongan auksin yang berfungsi untuk menstimulasi pengakaran. Auksin yang banyak digunakan adalah IBA (indolebutyric acid) dan NAA (naphthaleneacetic acid) karena sebagian besar tanaman sangat responsif terhadap pemberian kedua jenis auksin tersebut. Di dalam praktek penyetekan seringkali kedua jenis auksin tersebut digabung dengan proporsi tertentu. Pemberian kombinasi IBA dan NAA seringkali memberikan hasil lebih baik. Walaupun demikian auksin tidak bersifat universal dalam mendorong pembentukan akar pada stek. Terdapat jenis-jenis tumbuhan tertentu walaupun telah diberikan auksin tetap sulit untuk berakar (*difficult to root species*) (Arthecha 1996).

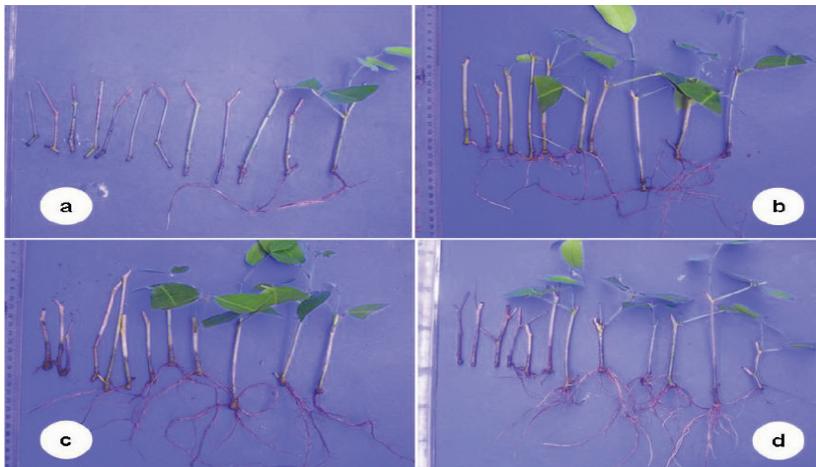
Dalam penelitian yang dilakukan oleh Nugroho (2013) memperlihatkan bahwa pemberian ZPT auksin berupa pencampuran IBA dan NAA efektif dalam merangsang pembentukan stek berakar, persentase stek bertunas dan berakar dan jumlah akar (Tabel 9) pada penyetekan merbau dengan mempergunakan bahan stek berumur 2 tahun. Dalam penelitian ini variabel stek bertunas dan berakar dijadikan acuan dalam keberhasilan penyetekan.

Nugroho *et al.* (2013) dari hasil penelitiannya selanjutnya memberikan patokan penggunaan ZPT campuran auksin IBA dan NAA dengan proporsi 1000 ppm IBA dan 500 ppm NAA dengan cara perlakuan celup cepat dengan hasil stek bertunas dan berakar mencapai 50%, sedangkan stek berakar keberhasilan mencapai 77,1% (Tabel 9 & Gambar 22). Hasil ini tidak berbeda dengan yang dihasilkan oleh Pudjiono dan Mahfudz (2007) yaitu sebesar 76,7% stek berakar, dengan menggunakan hormon pengakaran merek Hormonik yang banyak tersedia di pasar.

Tabel 9. Pengaruh Pemberian ZPT auksin IBA+NAA dalam menstimulasi pembentukan akar merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze] 4 minggu setelah tanam

Perlakuan (ppm)	Stek Hidup (%)	Stek bertunas (%)	Stek berakar (%)	Stek bertunas berakar (%)	Jumlah akar
Kontrol (0)	80,6 a	37,5 a	36,8 b	27,1 a	1,1 c
1000+500	75,7 a	52,8 a	77,1 a	50,0 b	1,8 b
2000+1000	71,5 a	43,1 a	76,4 a	43,1 bc	2,4 a
3000+1500	72,2 a	38,9 a	73,6 a	34,0 c	2,6 a

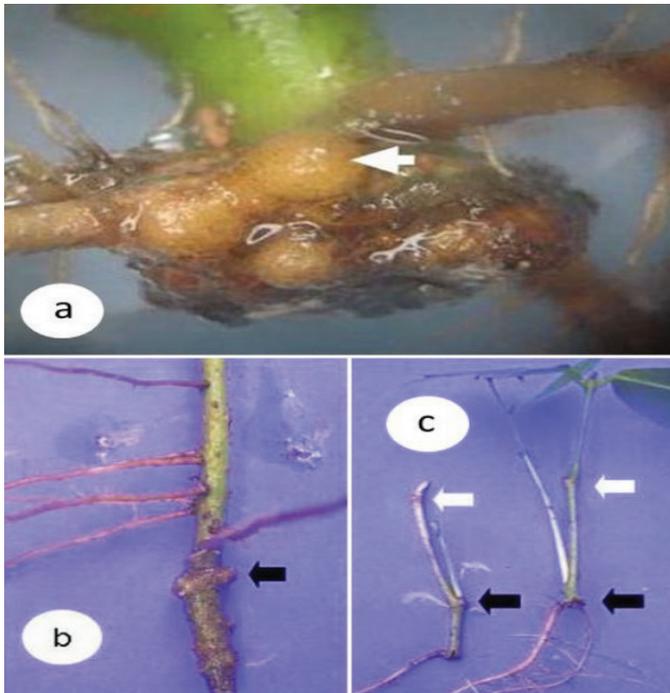
*Nilai rata-rata dalam kolom yang sama diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan (DMRT) ($P < 0,05$) **Sumber: Nugroho et al (2013)



Gambar 22. Perbedaan hasil penyetakan merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze] menggunakan auksin sebagai perlakuan setelah 4 minggu ditanam. (a) Kontrol (tanpa auksin); (b) 1000 ppm IBA/500 ppm NAA; (c) 2000 ppm IBA/1000 ppm NAA; (d) 3000 ppm IBA/1500 ppm NAA. (Sumber: Nugroho et.al. 2013)

KARAKTERISTIK PENGAKARAN PADA STEK MERBAU

Pada praktek penyetekan *I bijuga* menggunakan bahan stek dua buku (*node*), pembentukan akar biasanya terjadi pada buku bagian basal yang ditandai dengan pembentukan kalus karena terpicu oleh adanya perlakuan auksin (Nugroho *et al.* 2013). Kalus adalah massa sel-sel parenchima yang belum terdiferensiasi dengan tingkat lignifikasi berbeda, berkembang dari sel-sel yang terletak pada bagian ujung pangkal stek yaitu daerah vaskular kambium. Pembentukan kalus dan akar tidak saling bergantung walaupun keduanya sama melibatkan proses pembelahan sel.



Gambar 23. Karakteristik pengakaran pada stek merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze]. (a) pembentukan kalus merupakan penciri awal dalam pengakaran stek merbau (tanda panah); (b) akar adventif muncul pada ruas stek (*internode*); (c) tunas tumbuh pada buku (*node*) bagian basal yang seharusnya diharapkan sebagai tempat munculnya akar. Tanda panah putih buku bagian atas, tanda panah hitam buku bagian basal (Sumber Foto: Nugroho *et al.* 2013)

Pembentukan kalus pada beberapa jenis tanaman merupakan prekursor bagi terbentuknya akar (Harmant *et al.* 2002). Oleh karena itu stek yang telah mampu berkalus merupakan tanda bahwa stek tersebut dalam proses pembentukan akar. Pembentukan akar diharapkan terjadi pada buku (*node*), namun seringkali dalam jumlah kecil dapat terjadi justru pada ruas (*internode*) bagian basal (Gambar 23) (Nugroho *et al.* 2013).

PERBANYAKAN MERBAU MELALUI PENYAMBUNGAN (GRAFTING)

Penyambungan (*grafting*) merupakan metode perbanyakan vegetatif dengan melakukan penyatuan bagian dari dua tanaman yaitu antara satu bagian tanaman (bagian atas tanaman/*scion*) dengan bagian tanaman bawah dari tanaman lainnya (*root stock*), sedemikian rupa hingga berkembang dan bertumbuh menjadi satu kesatuan membentuk tanaman baru (Hartman *et al.* 2002). Metode perbanyakan ini dalam praktek di kehutanan tidak dipergunakan untuk menyediakan bibit bagi tujuan pembangunan hutan tanaman namun lebih banyak dipergunakan dalam usaha pemuliaan pohon. Melalui metode grafting dapat dihasilkan klon-klon unggul yang kemudian ditanam di kebun benih atau di kebun pangkas. Benih dan bahan tanaman yang diperoleh dengan cara tersebut merupakan cara pintas yang mudah untuk mendapatkan sifat unggul dari induknya. Metode grafting secara berulang juga sering dipergunakan dalam rejunivolisasi suatu tanaman untuk memperoleh bahan tanaman yang responsif menghasilkan akar dan tunas baru dalam perbanyakan vegetatif baik secara *in vivo* maupun *in vitro*.

PENYIAPAN BAHAN TANAMAN UNTUK GRAFTING

Tanaman batang bawah (*root stock*) dipersiapkan terlebih dahulu dengan baik untuk mendapatkan keragaan tanaman yang baik dan sehat. Bahan tanaman bawah dapat diperoleh melalui perbanyakan dengan biji. Tanaman batang bawah siap untuk dipergunakan apabila telah berkayu dan memiliki diameter batang yang lebih besar dari calon batang atas.

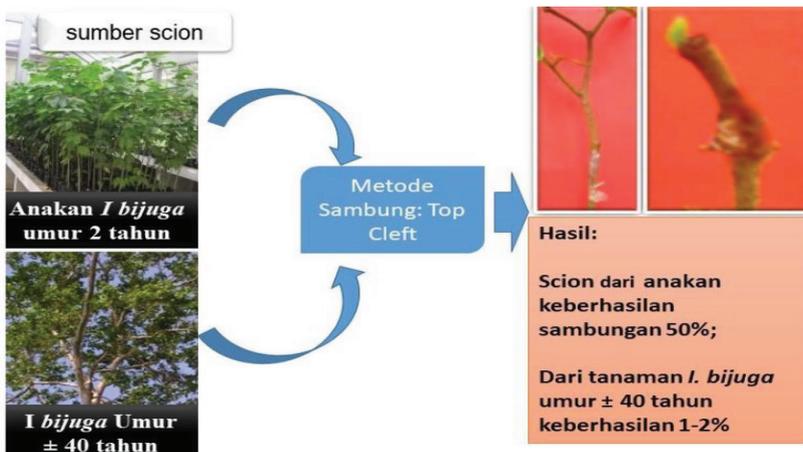
Dari pengalaman, anakan tanaman merbau berumur 2 tahun sudah dapat dipergunakan sebagai *root stock*, yang terpenting anakan dalam kondisi sehat dengan batang yang telah membentuk jaringan xylem (berkayu) dengan baik. Persyaratan lain yang juga perlu diperhatikan adalah ukuran batang dari *root stock* yang harus seimbang dengan *scion* yang diperoleh. Sukendro, Mansur dan Trisnawati (2010) mempergunakan anakan *Intsia bijuga* berdiameter 4 - 8 mm sebagai *root stock*.

Sesuai dengan tujuan melakukan perbanyakan melalui *grafting* maka bahan tanaman atas (*scion*) mensyaratkan diambil dari pohon donor unggul, sehat dan telah bereproduksi untuk tujuan pendirian kebun benih, sedangkan untuk tujuan kebun pangkas dapat dipilih pohon yang lebih muda atau belum bereproduksi namun telah menampakkan fenotipe keunggulannya, misalnya berbatang lurus, dan memiliki pertumbuhan cepat.

METODE GRAFTING

Terdapat banyak variasi metode *grafting*. *Top cleft grafting* merupakan metode penyambungan yang paling mudah dan umum dipergunakan dalam praktek perbanyakan tanaman di kehutanan. Ini merupakan cara menyatukan pucuk merbau calon batang atas (*scion*) dengan calon batang bawah (*root stock*) yang berasal dari anakan merbau.

Pucuk calon batang atas pada batang bagian basal disayat kedua sisinya berbentuk v, sedangkan pada batang bawah dari *root stock* dibuat sayatan pada bidang batang berbentuk v (*top cleft*). Pucuk calon batang atas diselipkan pada bidang batang bawah *root stock* dan keduanya diikat erat menggunakan selotip (*plastic tape*), selanjutnya pada sambungan yang telah diikat erat tersebut diberi lilin (*wax*) dan diberikan sungkup plastik untuk menjaga kelembaban agar tidak terjadi dehidrasi (Gambar 24).



Gambar 24. Metode penyambungan (*grafting*) pada merbau. Keberhasilan *grafting* sangat ditentukan oleh tingkat juvinitas tanaman bawah (*root stock*) maupun tanaman atas (*scion*)

KEBERHASILAN GRAFTING MERBAU

Suatu *grafting* dikatakan berhasil bila dua bagian tanaman yaitu pucuk calon batang atas (*scion*) dan batang bawah (*root stock*) dapat menyatu dengan baik. Penyatuan kedua bagian tanaman yang berbeda tersebut melalui beberapa tahapan, yaitu: (1) diproduksi jaringan kalus dari sel-sel parenchyma oleh *scion* maupun *root stock* di daerah kambium; (2) kalus yang berasal dari *scion* dan *root stock* saling bertaut dan mengunci sel-sel parenchyma; (3) diferensiasi kalus dari sel-sel parenchyma menjadi sel-sel kambium baru yang kemudian dan bertaut dengan kambium yang sudah ada sebelumnya baik pada *scion* maupun *root stock*; (4) kambium yang baru terbentuk selanjutnya membentuk jaringan vaskular baru (xylem dan phloem) sehingga aliran nutrisi dari dan ke *root stock* dan *scion* dapat terjadi (Hartman *et al* 2002).

Sukendro, Mansur dan Trisnawati (2010) menggunakan *scion* dari pohon merbau dewasa namun belum bereproduksi, dengan metode *top cleft grafting* memperoleh persen keberhasilan setelah pemeliharaan sambungan selama 10 minggu yaitu sebesar 21,67%. Terdapat suatu kecenderungan bahwa penggunaan mata tunas dorman keberhasilannya lebih tinggi dibandingkan mata tunas yang aktif. Dari beberapa pengalaman melakukan *grafting* pada merbau, semakin tua tanaman donor yang dijadikan sebagai sumber *scion* maka akan semakin kecil pula persen keberhasilannya yaitu hanya mencapai 1%. Kejadian demikian sangatlah umum, seperti pula terjadi pada *grafting S. Leprosula* yang bahan tanaman atasnya diambil dari tanaman donor berumur ≤ 2 tahun, keberhasilannya $100 \pm 0,00\%$, sedangkan dari donor umur 10 tahun menurun drastis menjadi $37,50 \pm 29,86\%$ dan dari donor berumur 25 tahun menjadi $5,00 \pm 5,77\%$ (Danu 2009).

PERBANYAKAN MERBAU MELALUI TEKNIK CABUTAN DAN PUTERAN ALAMI

Bibit merbau juga dapat diperoleh melalui cabutan dan puteran anakan alami merbau yang tumbuh di bawah pohon-pohon merbau. Cabutan adalah teknik pengambilan anakan alam merbau tanpa mengikutsertakan tanah di sekitar perakaran. Anakan merbau digali agar akar tidak putus kemudian dikumpulkan dan dikemas di dalam karung yang basah untuk dibawa ke persemaian.

Sesampai di persemaian, anakan sebaiknya segera ditanam di polibag kemudian disimpan di dalam sungkup dengan naungan yang cukup sampai bibit segar kembali. Setelah bibit segar kembali dan terdapat tanda-tanda tumbuh (muncul tunas baru), bibit dapat dikeluarkan dari sungkup (Mansur, 2013).

Puteran adalah teknik pengambilan anakan alam dengan mengikutkan tanah yang berada di sekitar perakaran. Jika bibit puteran berukuran kecil sampai 40 cm, anakan alam setelah diambil kemudian dipindahkan ke polibag lalu dibawa ke persemaian. Anakan alam yang sudah berukuran pancang, puteran dilakukan dengan menggali bibit bersama tanah di sekitarnya (harus dijaga agar tanah tidak hancur), kemudian diangkat dibungkus dengan menggunakan karung dan ditali dengan kuat agar tanah tidak hancur selama perjalanan menuju persemaian. Bibit puteran sesampai di persemaian disimpan di dalam sungkup yang teduh dan disiram secara rutin sampai bibit segar dan menunjukkan tanda-tanda pertumbuhan (Mansur, 2013).

PERBANYAKAN MERBAU MELALUI TEKNIK KULTUR IN VITRO

Teknik kultur jaringan dilakukan dengan landasan teori totipotensi dari Schwan dan Schleiden pada tahun 1938 yang menyatakan bahwa setiap sel hidup yang diisolasi dari induknya mempunyai kemampuan otonom untuk tumbuh dan berkembang membentuk tanaman baru bila ditempatkan pada media yang sesuai. Dengan berlandaskan teori tersebut, maka dalam perkembangannya sel-sel meristematik dapat dipicu untuk membelah, memperbanyak diri dan berdiferensiasi menjadi organ baru seperti tunas, daun dan akar yang selanjutnya menjadi tanaman yang sempurna (Pierik 1999).

Teknik kultur jaringan (*in vitro*) saat ini telah berkembang pesat dan dijadikan salah satu teknologi andalan dalam pengadaan bibit unggul pada berbagai tanaman berkayu dalam jumlah besar, bebas hama dan penyakit dalam rentang waktu yang relatif pendek karena melalui rekayasa multiplikasi yang tinggi dengan penggunaan zat pengatur tumbuh (ZPT). Terdapat dua pola diferensiasi melalui kultur *in vitro* yaitu pola organogenesis dan embriogenesis somatik.

Organogenesis adalah proses pembentukan organ tanaman secara *in vitro*, ataupun *in vivo* menggunakan jaringan meristematik ataupun non meristematik.

Jaringan tanaman secara *in vitro* akan menghasilkan banyak tipe primordia. Primordia berasal dari proses dediferensiasi sel diikuti dengan serangkaian kejadian pembentukan sel-sel meristemoid yang secara morfogenetika sangat plastis dan mampu berkembang menjadi sejumlah primordia (misalnya akar atau tunas). Berdasarkan proses perkembangan hingga menyebabkan terjadinya organogenesis dapat dipilah menjadi dua kategori yakni (1) organogenesis tidak langsung yaitu proses perkembangan dengan melalui pembentukan kalus terlebih dahulu dan (2) organogenesis secara langsung yaitu tanpa melalui pembentukan kalus terlebih dahulu (dimulai dari eksplan primer, kemudian terbentuk meristemoid, dan berakhir pada pembentukan primordium organ) (Schwarz *et al.* 2005).

Embriogenesis somatik adalah suatu proses pembentukan embrio somatik melalui diferensiasi sel-sel somatik. Sel embrio somatik menyerupai embrio zigotik, memiliki struktur yang mengandung meristem pucuk maupun akar (bipolar) (Phillips *et al.* 1995; von Arnold *et al.* 2002). Menurut Hipotesis Sharp's *et al.* terdapat dua pola embriogenesis. Pertama embriogenesis berlangsung dari sel yang telah terdeterminasi untuk berlangsungnya embriogenesis yang disebut sebagai *pre-embryonic-determined Cells* (PEDCs) dan proses ini disebut pula sebagai embriogenesis somatik secara langsung (*direct embriogenesis*). Embriogenesis dari PEDCs hanya mensyaratkan kondisi lingkungan *in vitro* untuk keperluan terjadinya pembelahan sel sesuai dengan polanya. Sebaliknya sel-sel yang untuk terdeterminasi embriogenik perlu adanya induksi (*induced embryonic-determined cells=IEDCs*) memerlukan kondisi lingkungan *in vitro* tidak saja untuk kembali memasuki siklus mitosis tetapi juga untuk redeterminasi dari sel-sel yang awalnya dalam kondisi *quiescent* untuk terpicu menjadi embrionik. Proses yang terakhir disebut pula sebagai embriogenesis somatik secara tidak langsung (*indirect embriogenesis*) (Wann 1988).

Perbedaan embriogenesis somatik dengan organogenesis terletak pada asal sel. Pada organogenesis kejadian berasal dari multiselular sebaliknya pada embriogenesis somatik berasal dari kejadian sel tunggal. Walaupun demikian organogenesis dan embriogenesis dapat terjadi secara bersamaan pada kultur yang sama (Wann 1988). Lebih lanjut Phillips *et al.* (1995) menyatakan bahwa induksi embriogenesis somatik memerlukan sinyal hormonal tunggal untuk menginduksi terbentuknya struktur bipolar yang memampukannya untuk membentuk tanaman secara lengkap. Sebaliknya pada organogenesis akan

memerlukan dua sinyal hormonal yang berbeda untuk menginduksi organ pucuk dan kemudian organ akar dengan menggunakan dua media yang berbeda. Oleh karena itu tidak mengherankan penginduksian embriogenesis lebih efisien dalam praktek perbanyakan tanaman dibandingkan penggunaan alur organogenesis.

Embrio somatik yang dihasilkan melalui kalus telah banyak dilakukan. Kalus adalah sekumpulan sel yang belum terdeferensiasi yang terjadi pada sel-sel jaringan yang sedang aktif membelah diri. Kultur kalus yang bertujuan untuk memperoleh kalus embriogenik atau yang lebih tepat disebut sebagai proembryonic masses (PEM) dari eksplan tertentu yang diisolasi dan ditumbuhkan pada lingkungan tertentu secara *in vitro* dapat diinduksi dengan menggunakan auksin seperti 2,4-D atau auksin sintetik lainnya seperti Picloram dan terkadang juga mengikutkan sitokinin. Dengan induksi ini diharapkan pembentukan kalus embriogenik dapat terjadi secara terus menerus sedangkan untuk menginduksi perkembangan embriogenesis sering dilakukan dengan mengurangi jumlah auksin atau bahkan sama sekali tidak diberikan auksin atau menggunakan absisic acid (ABA) (Wattimena *et al.* 1992; Gunawan 1992; Von Arnold *et al.* 2002).

Embriogenesis somatik memiliki potensial untuk dipraktekkan dalam perbanyakan secara vegetatif dalam skala besar, yang pada beberapa kasus bahkan dapat digunakan bioreaktor untuk produksi massal. Demikian pula melalui cara ini, kemungkinan penyimpanan plasma nutfah dengan menggunakan metode *cryo-preservation* sangat mungkin dilakukan (Von Arnold *et al.* 2002).

Perbedaan utama pada perbanyakan *in vitro* pada tanaman berkayu dibandingkan dengan tanaman herba terletak pada tingkat kesulitannya. Tanaman berkayu relatif lebih sulit dilakukan. Beberapa faktor yang menyebabkan kesulitan tersebut di antaranya terkait dengan siklus hidup vegetatif tanaman berkayu yang kompleks seperti adanya dormansi pucuk musiman, dan karakteristik pertumbuhan yang terus berubah saat tanaman berkembang hingga mencapai kedewasaan. Faktor penghambat dari proses regenerasi pada tanaman berkayu antara lain (1) daya meristematik tanaman yang rendah; (2) tingkat oksidasi fenol yang tinggi; (3) adanya jaringan sklerenkima; (4) kandungan zat inhibitor yang tinggi; (5) kurangnya ko-faktor perakaran; (6) gugurnya tunas dan daun yang terjadi lebih dini dan (7) mempunyai kandungan lignin yang relatif tinggi (Mariska *et al.* 1997).

Status juvenilitas eksplan yang digunakan sangat menentukan dalam menentukan keberhasilan kultur *in vitro* tanaman berkayu, karena dalam kondisi juvenil eksplan masih memiliki kemampuan regenerasi yang lebih baik berhubungan dengan daya meristematik yang tinggi, dan tingkat kandungan fenol, lignin dan zat inhibitor yang masih rendah. Beberapa cara untuk memperoleh eksplan yang juvenil dapat dilakukan dengan mengambil eksplan dari sumber seperti bagian basal yang juvenil dari anakan (*seedling*) atau memanipulasi pucuk tanaman tua yang dijuvenilkan yaitu dengan cara pucuk dari tanaman tua sebagai tanaman atas (*scion*) disambung (*grafting*) pada anakan (*seedling*) sebagai tanaman bawah (*rootstock*). Tunas yang terinduksi dari tanaman sambung tersebut dapat digunakan sebagai sumber eksplan (Hartman *et al.* 2002).

Penelitian perbanyakan tanaman merbau (*I. bijuga*) menggunakan teknologi kultur jaringan masih relatif baru. Penelitian dimulai pada awal tahun 2000-an yang lebih terfokus pada teknik kultur jaringan seperti yang dilakukan oleh Hamzah (2003) dan Machmud (2003) melalui kultur pucuk merbau menggunakan kombinasi zat pengatur tumbuh auksin dan sitokinin dalam media Woody Plant Media (WPM), Murashihe and Skoog (MS) dan Anderson. Dalam penelitian tersebut masih menghadapi hambatan berupa pencoklatan dan pengguguran daun secara dini, tanpa mampu menginduksi terbentuknya tunas baru.

Nugroho (2010) melanjutkan usaha perbanyakan tanaman merbau secara *in vitro* menggunakan media WPM yang dimodifikasi kandungan vitaminnya. Demikian pula media MS dan MS dimodifikasi kandungan garam mineral anorganik menjadi $\frac{1}{2}$ MS maupun kandungan N, P yang divariasikan lebih tinggi dengan asumsi berdasarkan analisis jaringan yang dilakukan oleh Nugroho (1994) terhadap serasah *I. bijuga* mempunyai kandungan N, P dan K relatif tinggi dibandingkan dengan jenis-jenis pohon lainnya. Penelitian kultur *in vitro* ini menggunakan zat pengatur tumbuh IBA, NAA dan BAP dengan berbagai kombinasi yang bervariasi, kandungan gula yang bervariasi dan dicoba pula penambahan senyawa organik yaitu adenin sulfat, casein hidrolisat dan vitamin C. Walaupun inisiasi pertumbuhan tunas dapat terjadi dalam penelitian ini, namun tingkat keberhasilan masih tergolong rendah (14.3-42.9%), dan pertumbuhan tunas terhenti dua bulan setelah tanam (Gambar 24). Hambatan yang sama dengan penelitian sebelumnya seperti pengguguran daun dan pucuk secara dini juga masih dihadapi. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan tersebut, selanjutnya Nugroho (2010) mengemukakan hipotesisnya yaitu apabila

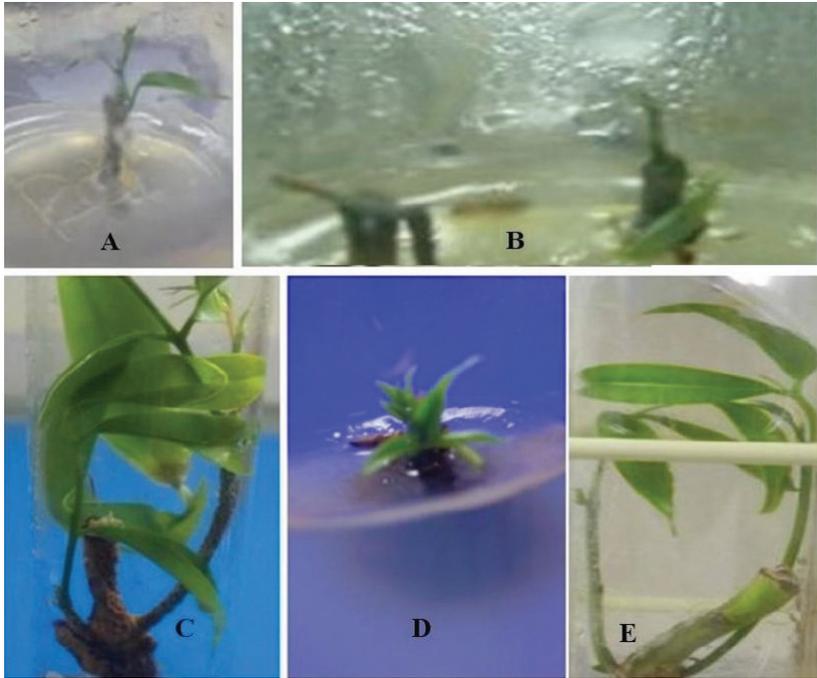
tingkat konsentrasi N dan P dalam media relatif tinggi (412,5 mg/L NH_4NO_3 , dan 42,5 mg/L KH_2PO_4), namun kandungan sukrosa diturunkan hingga 20 g/L akan menguntungkan bagi inisiasi tunas stek mikro merbau secara *in vitro*.

Secara bersamaan Ernawati, Husin dan Sisusnandar (2014) dan Aji, Husin & Sisusnandar (2014) melakukan penelitian berdasarkan hipotesis yang dikemukakan oleh Nugroho (2010). Keduanya memilih menggunakan media dasar Driver Kuniyuku Walnut (DKW) (Driver & Kuniyuku 1984), yang mengandung nitrogen (terutama nitrat), fosfat dan potasium yang relatif tinggi dibandingkan dengan media MS maupun WPM.

Ernawati, Husin dan Sisusnandar (2014) berhasil menginduksi pembentukan tunas merbau hingga 80% dari tunas aksilar menggunakan media DKW yang diperkaya dengan zat pengatur tumbuh benzil amino purin (BAP) 10^{-6} dikombinasi naftalen acetat (NAA) 10^{-6} M, disamping itu menggunakan pula ascorbid acid 0,1 g/l untuk mencegah pencoklatan. Dari hasil induksi tunas tersebut dilakukan multiplikasi menggunakan media DKW dengan penambahan BAP 10^{-8} M yang dikombinasikan dengan NAA 10^{-6} M. Hasil multiplikasi masih belum memberikan hasil yang memuaskan. Pembentukan tunas hanya mencapai sekitar 15%, itu pun menunjukkan pertumbuhan roset (Gambar 25).

Dengan menggunakan zat pengatur tumbuh berbeda untuk memicu pembentukan tunas, yaitu kinetin 10^{-8} M, Aji, Husin & Sisusnandar (2014) memberikan hasil yang cukup baik. 60% eksplan, berupa tunas aksiler, mampu menginduksi pembentukan tunas baru. Walaupun berhasil dalam menginduksi pembentukan tunas, namun usaha multiplikasi dengan menggunakan zat pengatur tumbuh kinetin dalam rentang konsentrasi tersebut maupun dengan kombinasi dengan IAA dengan rentang konsentrasi 10^{-8} – 10^{-5} M masih belum berhasil (Gambar 25). Pencoklatan dan kerontokan daun yang terjadi sekitar 3 minggu setelah tanam masih merupakan kendala utama dalam menginduksi tunas, seperti yang dihadapi oleh peneliti-peneliti sebelumnya.

Perjalanan pencarian metode kultur *in vitro* tunas merbau yang panjang sejak 2003 hingga saat ini, walaupun telah mulai diperoleh titik terang dengan mampunya menginduksi tunas menggunakan media dasar DKW, namun tampaknya kerja keras masih terus diperlukan untuk mendapatkan metode multiplikasi yang efisien untuk dapat menunjang penyediaan bibi merbau dalam skala besar.



Gambar 25. Perjalanan perkembangan keberhasilan stek mikro merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze]. (A) inisiasi tunas stek mokro merbau; (B) tunas stek mikro yang telah tumbuh mengalami defoliasi dini; Inisiasi tunas samping terjadi dengan baik pada media DKW diperkaya dengan BAP 10^{-6} + NAA 10^{-6} M+ ascorbid acid 0,1 g/l; (C) Media multiplikasi dengan formulasi media dasar DKW+BAP 10^{-8} M+NAA 10^{-6} M+ ascorbid acid 0,1 g/l menghasilkan pertumbuhan roset pada eksplan; (D) Inisiasi juga terjadi dengan baik pada media DKW+Kinetin 10^{-8} M (Sumber Foto: Nugroho *et al.* 2010; Ernawati, Husin dan Sisusnandar 2014; dan Aji, Husin & Sisusnandar 2014))

SIMBIOSIS FUNGI EKTOMIKORIZA DENGAN MERBAU DAN PEMANFAATANNYA

Mikoriza merupakan istilah yang digunakan untuk asosiasi antara hifa fungi dengan akar tanaman tingkat tinggi yang berkaitan dengan penyerapan unsur hara dan substansi lainnya dari dalam tanah (Smith & Read 2008). Sampai saat ini di alam dikenal tujuh tipe mikoriza, namun hanya dua type, yaitu Asbucular Mycorrhiza (AM) dan ektomikoriza (EcM) yang paling dikenal (Smith

& Read 2008). Asosiasi Asbucular Mycorrhiza (AM), sering disebut pula sebagai Vesicular-Asbucular Mycorrhiza (VAM) atau glomeromycotan mycorrhiza, merupakan bentuk asosiasi akar tanaman-fungi yang paling luas dan umum dijumpai (Brundrett 2004). Tipe mikoriza ini mengkolonisasi lebih dari 90% dari semua famili tanaman vaskular yang menyebar pada hampir semua gradien lingkungan (Kimmins 1987). Jenis fungi EcM lebih banyak berasosiasi dengan jenis tumbuhan berkayu.

Merbau (*I. bijuga*) merupakan salah satu tumbuhan berkayu yang telah diketahui memiliki asosiasi dengan fungi EcM (Wattling *et al.* 2002, Smith and Read 2008). Tedersoo *et al.* (2007) melalui metode sekuensi DNA yang dilakukan terhadap ujung akar *I. bijuga* bermikoriza teridentifikasi sebanyak 15 species fungi EcM berasosiasi dengan tegakan alam *I. bijuga* di pulau Seycheles. Di Papua, tiga jenis fungi EcM yang sering dijumpai badan buahnya di bawah tegakan *I. bijuga*, yaitu *Russula* sp., *Scleroderma* sp. dan *Ramaria* sp. (Gambar 26) (Nugroho 2011). Dari ketiga jenis fungi EcM tersebut, baru jenis *Scleroderma* sp. yang telah diteliti potensi pemanfaatannya (Nugroho 2010, Nugroho *et al.* 2013). *Scleroderma* sp. ini lebih banyak terlihat badan buahnya pada tanaman merbau tingkat anakan dibandingkan di bawah tegakan merbau dewasa.



Gambar 26. Sporokarp fungi ektomikoriza yang umum dijumpai berasosiasi dengan tegakan *I. bijuga* di Papua. (A). *Russula* sp., (B). *Scleroderma* sp., dan (C). *Ramaria* sp.

KARAKTER MORFOLOGI FUNGI EKTOMIKORIZA *SCLERODERMA* SP. DAN MORFOTIPE EKTOMIKORIZA PADA *I. BIJUGA*

Karakterisasi suatu jenis fungi ektomikoriza penting dilakukan untuk mendapatkan karakter-karakter penting dari fungi bersangkutan yang dapat dipergunakan sebagai penanda dalam pekerjaan identifikasi jenis. Penanda morfologi sporokarp (Brundett *et al.* 1996), morfotipe dari EcM (Agerer 2006), dan penanda molekular (Smith and Read 2008) sering dipergunakan dalam identifikasi jenis fungi EcM. Metode identifikasi klasik berdasarkan pada karakter morfologi dan morfotipe masih tetap dianggap metode yang lebih praktis untuk digunakan di lapangan dibandingkan metode menggunakan penanda molekular. Walaupun demikian penggunaan sekuensi DNA dalam identifikasi jenis fungi untuk memastikan apakah fungi tersebut merupakan jenis baru sangat diperlukan untuk mendapatkan kepastian penamaan yang tepat. Pemberian nama fungi EcM yang tepat penting untuk landasan bagi penelitian lebih lanjut (Brundrett *et al.* 1996; Dames *et al.* 1999).

Beberapa karakter morfologi basidiokarp dari suatu fungi EcM sering dijumpai bervariasi dan ini merupakan kendala saat digunakan dalam mengidentifikasi suatu fungi (Wurzburger *et al.* 2001; Nouhra *et al.* 2005). Warna basidiokarp misalnya dapat berbeda satu sama lainnya tergantung dari lingkungan tempat tumbuhnya, bagaimana kondisi intensitas cahaya, paparan terhadap cahaya dan komposisi serasahnya (Way *et al.* 1995).

Penggunaan karakter anatomi dan morfologi EcM merupakan komplemen dari metode identifikasi berdasarkan anatomi dan morfologi sporokarp fungi, walaupun sering hasilnya kontradiktif (Wurzburger *et al.* 2001; Nouhra *et al.* 2005). EcM yang dibentuk oleh fungi yang berbeda pada tanaman inang yang sama atau oleh jenis fungi yang sama pada tanaman inang yang berbeda dapat memberikan penampakan struktural yang berbeda pula (Dames *et al.* 1999). Nugroho *et al.* (2010) melakukan karakterisasi sporocarp *Scleroderma* sp. hasil pengumpulan sporokarp dari bawah tegakan *I. bijuga* dan dari hasil dari umpan (*baiting method*) di persemaian. Karakter yang diamati meliputi karakter morfologi sporokarp dan badiospora. Pengamatan badiospora dan hifa secara lebih detail dilakukan di bawah mikroskop dengan menggunakan 3% KOH, etil alkohol, dan pereaksi Melzer. Asesori spora diperoleh dengan pengamatan

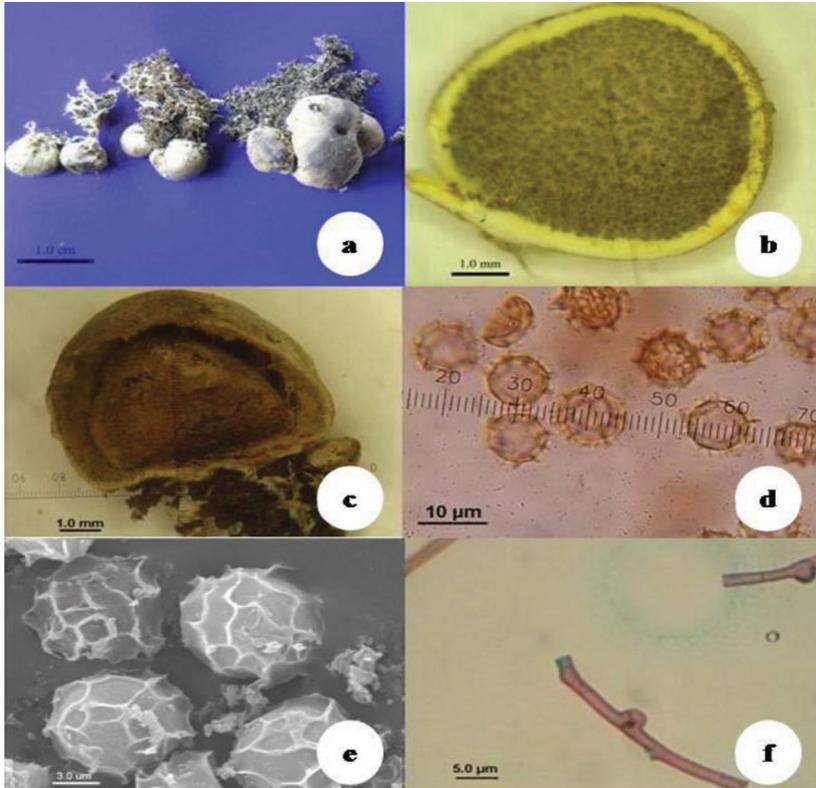
menggunakan *scanning electronic microscope* (SEM). Sedangkan morfotipe EcM diperoleh dengan mengamati histologi potongan melintang dari ujung akar bermikoriza di bawah mikroskop mengikuti prosedur dari Agerer (2006)

Karakterisasi Fungi *Scleroderma* sp, sebagai salah satu anggota dari Basidiomycota, famili Sclerodermataceae menampakkan ciri-ciri fungi tersebut memiliki basidioma: epigenous, globose, yang pada saat dewasa dapat mencapai diameter $0,66 \pm 0,17$ cm, dengan permukaan halus, berwarna putih krem hingga putih kecoklatan. Peridium: kaku, sederhana, tebal 0,2 – 1,0 mm, berwarna putih kekuningan. Potongan basidioma segar menghasilkan eksudat warna kuning dalam Et.OH. Gleba: kekuningan coklat terang saat muda dan coklat gelap saat matang, tanpa columella tetapi memiliki *external basal pad*. Sambungan apit (*Clamp connection*): ada. Badiospora: coklat pucat dalam pereaksi Melzer's and KOH, globose dengan ornamentasi reticulate, diameter 8-10 μm (Nugroho *et al.* 2010) (Gambar 27).

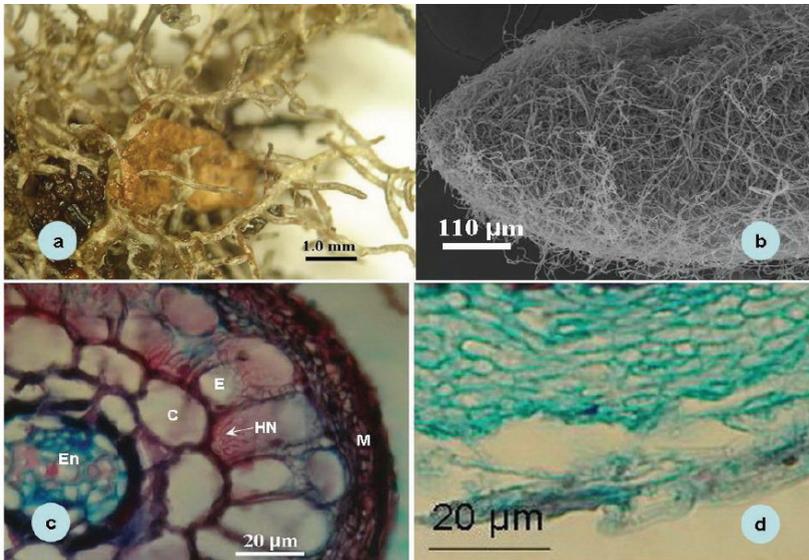
Karakter EcM yang terbentuk memperlihatkan bahwa akar berektomikoriza berwarna putih krem, dengan permukaan kasar, percabangan monopodial pinnate atau dengan percabangan sederhana pada bagian yang muda, tetapi pada saat akar tua menjadi irregular pinnate. Percabangan akar bermikoriza terkadang saling menjalin dengan rapatnya dengan ujungnya dilapisi ayaman yang rapat dari miselium. Akar berektomikoriza memiliki mantel yang tebal (12-25 μm). Hartignet dijumpai berkembang dengan baik pada lapisan epidermal. Morfotipe mantel ektomikoriza memiliki struktur yang terdiri atas satu lapis jaringan pseudoparenchymatous. (Gambar 28).

PENGEMBANGBIAKAN FUNGI EKTOMIKORIZA *SCLERODERMA* SP.

Ketersediaan inokulan fungi EcM merupakan salah satu syarat bagi pengembangan dan pemanfaatan fungi EcM, baik untuk tujuan penelitian maupun untuk tujuan praktis pemanfaatannya di lapangan. Kultur dan pengembangbiakan suatu fungi EcM dapat dilakukan baik secara *in vivo* maupun secara *in vitro*.



Gambar 27. Karakter *Scleroderma* sp (a) sporokarp berbentuk globose hingga tak beraturan; (b) potongan memanjang dari sporocarp memperlihatkan peridium berwarna putih kekuningan mengandung massa spora berwarna coklat terang kekuningan; (c) sporokarp dewasa; dengan massa spora berwarna coklat (d) basidiospora di lihat dengan mikroskop dan (e) basidiospora menampilkan ornamentasi retikulat di bawah *Scanning electron microscope*; (f) sambungan apit (Sumber Nugroho et al. 2010).



Gambar 28. Penampakan Ektomikoriza pada merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze] bentuk asosiasi dengan *Scleroderma* sp. (a) percabangan monopodial pinnate pada sistem akar berektomikoriza merbau; (b) Penampakan ujung akar berektomikoriza merbau dengan ayaman miselia yang rapat dilihat di bawah *Scanning electron microscope* (SEM); (c) Mantel ektomikoriza yang tebal pada akar bermikoriza merbau; (d) morfotipe mantel dengan tipe jaringan mantel pseudoparenchymatous. M=matel, HN=hartig net, E=sel epidermis, C=sel kortek, En=Sel Endodermis

PENGEMBANGBIAKAN *SCLERODERMA* SP. SECARA *IN VITRO*

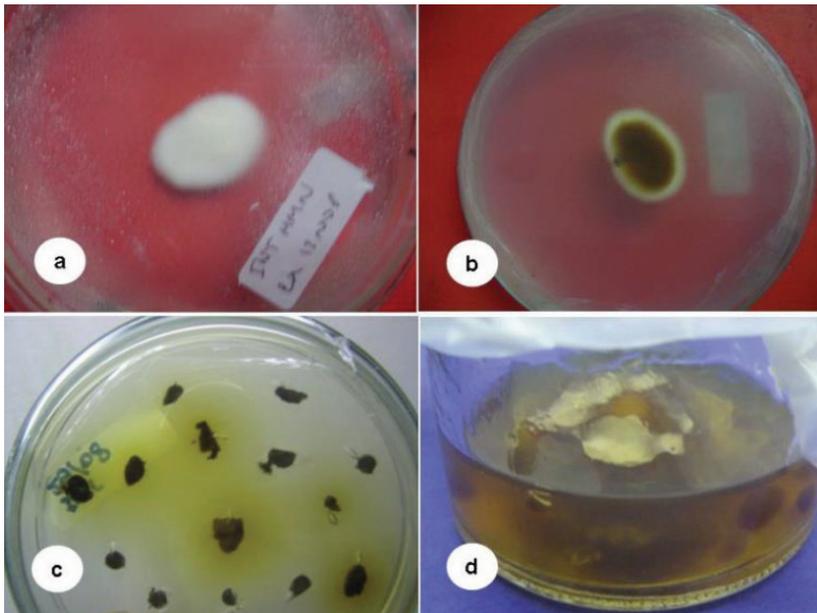
Pengembangan biakan fungi EcM Scleroderma sp secara *in vitro* dikembangkan oleh Nugroho (2010) dengan mengisolasi fungi tersebut menggunakan sporocarp muda. Sporocarp disterilisasi melalui dua tahapan sterilisasi. Sporocarp yang telah dicuci bersih, disterilkan menggunakan alkohol 40% yang diberi beberapa tetes tween 80, dikocok selama 10 menit. Selanjutnya sporokarp dimasukkan ke dalam larutan $HgCl_2$ 0.2% selama 10 menit dan dibilas dengan air steril beberapa kali, kemudian ditiriskan di atas kertas saring steril dalam petridis. Sporocarp steril selanjutnya dipotong-potong dan ditumbuhkan dalam media Modified Melin-Norkrans (MMN) agar padat.

Isolasi dari *Scleroderma* sp. berhasil bila tidak terdapat adanya kontaminasi dan miselia udara dapat tumbuh dengan baik yang ditampakkan pada 3-4 minggu setelah tanam. Isolat yang bersih segera dipindahkan ke media baru untuk diperoleh koleksi biakan murni. Potongan agregat miselia dari biakan murni yang berkembang bagus selanjutnya dapat dipergunakan untuk perbanyakan baik dalam media padat maupun media semi cair. Inokulan yang dihasilkan melalui prosedur ini berupa agregat meselium.

Pembiakan fungi EcM *Scleroderma* sp. menggunakan media MMN padat maupun semi solid berdasarkan resep Kjøller dan Bruns (2002) dengan modifikasi pada jumlah malt extract dan penggunaan Ferro citrate diganti dengan FeCl_3 [8.0 g Glucose, 2.5 g malt extract, 1 g yeast extract, 50 mg $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 25 mg NaCl, 150 mg $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 250 mg $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, 500 mg KH_2PO_4 , 2 ml FeCl_3 (1%, v/v), 1 mg thiamin-HCl, dan Agar 15 g, untuk 1 liter]. Media padat dibuat dengan menambahkan pematat berupa agar sebanyak 15 g/l, sedangkan media semi-cair penambahan agar hanya sebesar 0.3% (w/v).

Isolasi dan perbanyakan fungi EcM *Scleroderma* sp. dapat dilakukan dengan cukup mudah pada media MMN tersebut, walau terkendala dengan lambatnya pertumbuhan baik pada media padat ($2,52 \pm 1,10$ cm/2 bulan) maupun media cair ($0,41 \pm 0,14$ g/2 bulan). Keberhasilan perbanyakan menggunakan media semi-cair walaupun masih lebih lambat pertumbuhannya dibandingkan pada media padat, namun cara ini memiliki arti penting untuk menyediakan inokulum bagi kebutuhan pemanfaatan fungi EcM tersebut. Saat penanaman pada media semi cair perlu memperhatikan agar potongan agregat miselium tidak tenggelam dalam media karena sebagai organisme aerobik akan mati bila tenggelam. Seperti fungi EcM lainnya pada saat dikultur dalam media cair akan cenderung membentuk gumpalan-gumpalan (*clump*). Oleh karenanya diperlukan adanya homogenisasi biakan cair melalui penggojlokan secara perlahan untuk mencegah terbentuk gumpalan-gumpalan tersebut.

Isolat biakan *Scleroderma* sp. yang dihasilkan melalui penanaman pada media agar padat memiliki agregat miselia berwarna putih kekuningan dengan tekstur lembut. Penampakan isolat dari bagian bawah biakan berwarna coklat tua kekuningan dengan tepi berwarna putih kekuningan. Pada media semi cair bentuk biakan tidak beraturan berupa gumpalan dengan miselia bagian atas putih kekuningan, sedangkan miselia yang tenggelam berwarna coklat muda hingga coklat tua (Gambar 29 dan Tabel 10).



Gambar 29. Karakter kultur *in vitro* *Scleroderma* sp. (a) kultur berumur 2 bulan pada media agar Modified Melin-Norkrans (MMN) padat, tampak atas, dengan agregat miselia berwarna putih kekuningan dan berstruktur halus, (b) tampak bawah, berwarna coklat tua kekuningan dengan pinggir putih kekuningan (c) eksudat yang dihasilkan berwarna kuning kecoklatan; (d) Gumpalan-gumpalan agregat miselium hasil dari kultur berumur 2 bulan pada media MMN semi cair (agar 0.3%)

Tabel 10. Karakter biakan *Scleroderma* sp pada media Modified Melin-Norkrans (MMN) padat dan semi-cair (Nugroho 2010)

No	Karakter	Deskripsi
Pada media MMN padat		
1.	Miselial pada media MMN padat	Terdapat miselial udara (air mycelia) dengan agregat miselial berwarna putih kekuningan dan bertekstur lembut
2.	Agregat miselial (tampak dari bawah biakan)	Agregat miselial berwarna coklat tua kekuningan dengan bagian tepi putih kekuningan
3.	Eksudat	Biakan sering mengeluarkan eksudat berwarna coklat kekuningan
4.	Pertumbuhan	2,52 ± 1,10 cm/2 bulan
Pada media MMN semi-cair		
1.	Miselial pada media MMN semi-cair	Miselial udara sedikit dengan agregat miselial berwarna putih kekuningan, bertekstur lembut, membentuk gumpalan-gumpalan miselium (clumps). Agregat miselium yang tenggelam berwarna coklat muda hingga coklat tua
2.	Pertumbuhan	0,41 ± 0,14 g/2 bulan

PENGEMBANGBIAKAN *SCLERODERMA* SP. SECARA *IN VIVO*

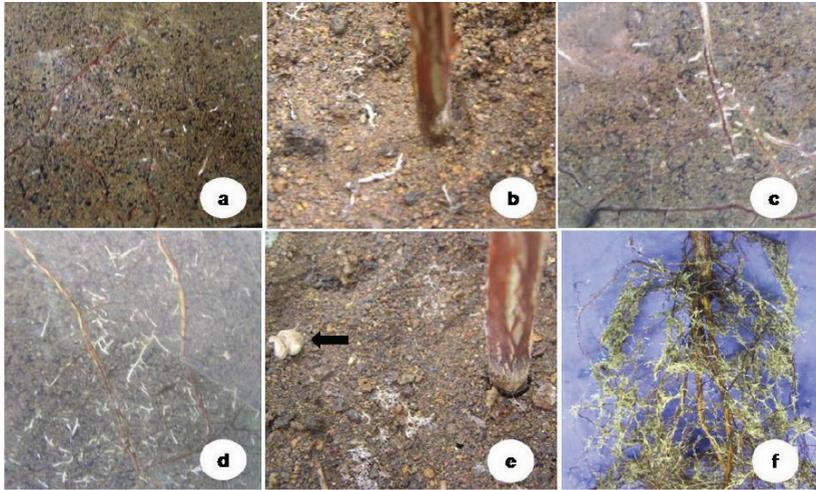
Scleroderma sp. dapat dikembangkan secara *in vivo* menggunakan massa spora maupun agregat miselium. Massa spora dapat diperoleh dari pengumpulan badan buah di lapangan sedangkan agregat miselium dapat diperoleh melalui pengembangan *Scleroderma* sp. secara *in vitro*.

Pengembangbiakan *Scleroderma* sp. secara demikian didahului dengan penyiapan media tanam campuran pasir-kompos yang telah disterilkan terlebih dahulu dan anakan merbau yang dikecambahkan pada media pasir steril. Anakan merbau hasil perkecambahan selanjutnya ditanam pada kontainer berisi media pasir-kompos steril. Anakan ini siap untuk diinokulasi.

Inokulum dalam bentuk suspensi agregat miselium *Scleroderma* sp dibuat dengan mengambil potongan miselium dari biakan murni agar padat yang diperoleh dari perbanyakannya secara *in vitro*, dengan menggunakan cork borer (\emptyset 0,75 cm) setidaknya menggunakan sebanyak 40 potongan untuk menghasilkan 1 liter suspensi miselium. Potongan miselium tersebut diblender dengan 1000 ml akuades yang ditambah dengan tween 80 sebanyak 0,25 ml. Pembuatan suspensi miselium dengan menggunakan biakan semi-cair juga dapat dilakukan dengan cara yang sama yaitu memblender seluruh biakan semi-cair yang ditambah dengan 0,25 ml tween dan akuades hingga 1000 ml. Suspensi miselium yang diperoleh selanjutnya dapat digunakan untuk inokulasi anakan merbau dengan cara menginjeksinya ke dalam rhizofir anakan merbau (Nugroho 2010).

Penggunaan inokulum suspensi spora seringkali lebih baik dalam pembentukan mikoriza dibandingkan dengan penggunaan inokulum suspensi agregat miselium (Nugroho 2010), karena fragmen miselium sering gagal bertumbuh (Brundrett *et al.* 2005). Namun dalam kondisi media tumbuh yang bersih kedua macam inokulum tersebut bisa saja menghasilkan mikorizasi (Nugroho 2010).

Metode umpan juga dapat dilakukan untuk mendapatkan pertumbuhan *Scleroderma* sp., yaitu dengan menggunakan tanah asal rhizofir merbau yang selanjutnya dijadikan campuran media untuk menanam anakan merbau. Cara ini belum tentu menghasilkan pertumbuhan *Scleroderma* sp., namun dapat saja jenis fungi lain yang tumbuh, seperti sering dijumpai adanya pertumbuhan jenis *Ramaria* sp. Namun demikian, cara ini merupakan cara praktis apabila belum mempunyai biakan murni dari hasil perbanyakannya secara *in vitro*.



Gambar 30. Pembentukan ektomikoriza dan badan buah *Scleroderma* sp pada rhizofier anakan merbau [*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze] dalam kontainer kaca yang diinokulasi menggunakan inokulum suspensi spora. (a) ujung akar bermikoriza mulai tampak saat anakan berumur 4 bulan setelah tanam, (b) ektomikoriza muncul di permukaan tanah dekat pangkal batang saat 5 bulan setelah tanam, (c) ujung akar bermikoriza saat 5 bulan setelah tanam, (d) ujung akar bermikoriza saat 8 bulan setelah tanam, (e) sporokarp *Scleroderma* sp. (tanda panah) terbentuk saat 8 bulan setelah tanam, dan (f) pembentukan ektomikoriza telah merata pada seluruh perakaran satu tahun setelah tanam.

SPESIFISITAS MERBAU [*I. BIJUGA* (COLEBR.) O. KUNTZE] DALAM PEMILIHAN SIMBIONNYA

Spesifisitas inang dalam pemilihan simbion bergantung dari spektrum simbiosisnya. Terdapat inang yang memiliki spesifisitas spesifik, yaitu bila inang memiliki spektrum simbiosis yang sempit, dan hanya memilih satu jenis fungi EcM sebagai simbionnya. Sebaliknya ada pula inang yang dapat memiliki spesifisitas rendah (memiliki spektrum simbiosis lebar) bila memiliki simbion lebih dari satu jenis (Chen 2006; Smith & Read 2008). Signal kimia berupa metabolit sekunder yang dihasilkan tumbuhan inang menentukan jenis fungi yang akan dijadikan simbion. Signal kimia dapat bersifat sangat spesifik yang hanya dikenali oleh jenis fungi tertentu. Signal tersebut akan menstimulasi perkecambahannya spora fungi yang mengenalinya dan mengarahkan pertumbuhannya hingga terjadi kontak asosiasi keduanya. Sebaliknya jenis fungi yang bukan simbionnya, tidak

mengenali signal kimia yang diproduksi tumbuhan tersebut sehingga sporanya tetap dorman (Bruns *et al.* 2002)

Istilah lain yang sering pula dipergunakan untuk menggambarkan spesifisitas inang adalah reseptivitas inang (*host receptivity*) yang setara dengan istilah kompatibilitas (*compatibility*). Reseptivitas inang adalah gambaran banyaknya jenis (keragaman) dari fungi EcM yang dapat diterima sebagai simbiannya, sedangkan kompatibilitas adalah gambaran kesesuaian antara inang dengan simbiannya (Molina *et al.* 1992).

Percobaan spesifisitas pada merbau (*I. bijuga*) dilakukan oleh Nugroho (2010) dengan menggunakan Fungi *Scleroderma sinnamariense*, *Scleroderma dictyosporum*, *Scleroderma columnnare*, dan *Pisolithus* spp., yang diperoleh dari tanaman inang bukan merbau dan *Scleroderma* sp asal tanaman merbau. Jenis *S. columnnare* dijumpai pada tegakan *Shorea* spp., *S. dictyosporum* pada tegakan *Pinus merkusii* dan *S. sinnamariense* pada tanaman melinjo (*Gnetum gnemon*) (Wulandari 2002), sedangkan jenis fungi *Pisolithus arhizus* bersimbiosis dengan *Eucalyptus* spp., dan *Pinus* spp (Sims *et al* 1999). Jenis fungi dari golongan *Scleroderma* merupakan jenis fungi pembentuk EcM yang memiliki kemampuan dan spektrum asosiasi yang lebar dengan spesifisitas rendah (Chen 2006), sehingga kemungkinan pemanfaatannya dapat dilakukan pada banyak jenis tanaman.

Pemeriksaan mikroriza yang terbentuk didekati melalui pengamatan ciri morfotipenya. Berdasarkan ciri morfotipe EcM yang berhasil terbentuk menunjukkan bahwa betul ektomikoriza yang terbentuk merupakan hasil asosiasi antara merbau dan *Scleroderma* sp. membentuk ektomikoriza. Jenis fungi *Scleroderma sinnamariense*, *Scleroderma dictyosporum*, *Scleroderma columnnare*, dan *Pisolithus* spp. tidak kompatibel dengan merbau (*I. bijuga*). Walaupun demikian dengan adanya indikasi asosiasi merbau dengan fungi simbiannya memiliki spektrum yang lebar seperti yang dinyatakan oleh Tendersoo *et al* (2007) dan dijumpainya beberapa badan buah jenis fungi lainnya di bawah tegakan merbau, maka penelitian untuk melihat kompatibilitas jenis-jenis fungi lainnya selain *Scleroderma* sp. masih perlu dieksplorasi.

HAMA DAN PENYAKIT PADA MERBAU

Pengembangan merbau dalam skala luas dalam bentuk monokultur mempunyai konsekuensi yang sangat besar yaitu merubah kondisi lingkungan tempat tumbuhnya, yang dapat berdampak pada kegagalan usaha penanaman merbau tersebut. Salah satu faktor yang perlu diwaspadai adalah adanya kemungkinan hama maupun penyakit potensial merbau yang dapat merusak ataupun menurunkan kualitas tegakan tanaman merbau. Oleh karena itu pengetahuan tentang hama dan penyakit potensial merbau sangat diperlukan untuk mendukung pengembangan merbau dan perlu diketahui sejak awal sehingga dapat dicarikan strategi dalam penanggulangan hama.dan penyakit.

HAMA DAN PENYAKIT MERBAU

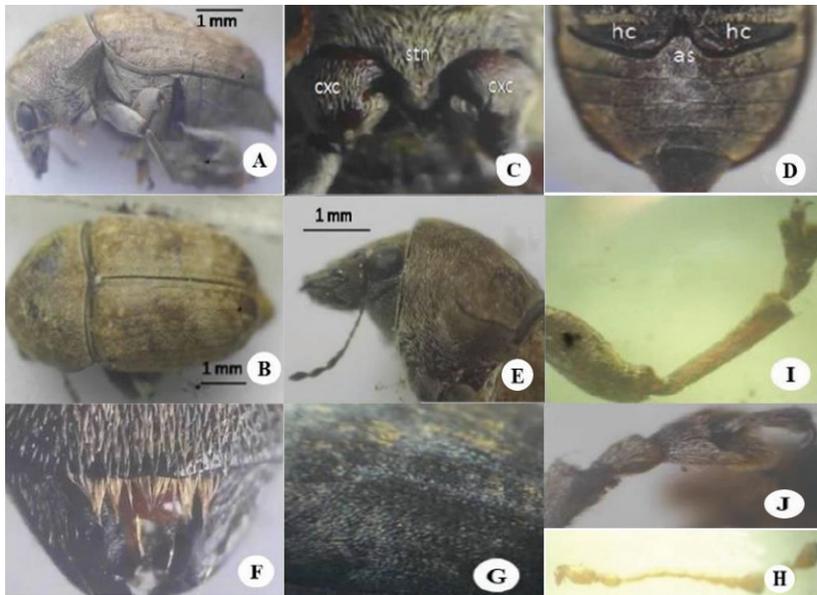
Hama Biji Merbau

Benih *Intsia bijuga* dapat disimpan dalam waktu cukup lama, hingga 5 tahun. Ini sangat menguntungkan karena ketersediaan benih setiap saat sangat penting untuk kegiatan penanaman. Pengolahan benih termasuk pembersihan dari hama dan penyakit benih sangat penting untuk dilakukan sebelum disimpan. Benih merbau yang dikumpulkan dari tegakan benih seringkali terinfestasi oleh kumbang kecil dari famili Anobiidae dan apabila benih yang telah terinfestasi hama tersebut tidak disingkirkan, maka serangga akan berkembang-biak dan dapat menyebabkan keseluruhan benih yang disimpan rusak (Nugroho 2013). Serangga yang menginfestasi benih merbau meninggalkan lubang dan hanya bagian kulit biji saja yang tersisa (Gambar 31).



Gambar 31. Kerusakan benih merbau (*Intsia bijuga*) yang ditinggalkan kumbang Anobiid saat penyimpanan benih

Kumbang anobiid yang menyerang biji *Intsia bijuga* memiliki ciri berukuran kecil dengan ukuran panjang tubuh kumbang betina ± 7.0 mm, sedikit lebih besar dibandingkan kumbang betina (± 6.7 mm). Bentuk memanjang sedikit silindrik, dengan warna hitam kecoklatan. Kepala tertekuk ke bawah. Antena tergolong sebagai tipe *capitate*, terdiri atas 11 segmen dengan tiga segmen yang membesar diujungnya (Gambar 32H). Pelana (Pronotum) memiliki bentuk *hood-like*, dengan posterior margin sinuate, lebih lebar daripada kepala (Gambar 32 A, B and E). Sternum (stn) tidak terbagi secara penuh oleh coxae belakang (hc=hind coxae), dan bagian tepi belakangnya (*posterior edge*) terentang keseluruhannya melintasi tubuh. (Gambar 32 D). Prosternum letaknya dekat dengan coxal cavities (cvc). Elytra menutup abdomen yang hanya menyisakan sebagian segmen abdominal yang terakhir tetap terbuka. Elytra memiliki pola bergaris terbentuk oleh pubescent berwarna hitam kecoklatan. Tarsus terdiri atas tiga segment (3-3-3), dengan bagian akhir segment berukuran lebih kecil (Gambar 32 I-J).



Gambar 32. Karakteristik kumbang betina dewasa *anobiid*. (A) tampak bagian lateral; (B) tampak bagian dorsal; (C) prosternum menunjukkan adanya coxa cavities(cvc) yang tertutup dengan sterna (stn); (D) abdomen bagian basal, tampak bagian ventral yang menunjukkan karakter Polyphaga yaitu posisi hind coxa (hc) terhadap abdominal sterna

(as); (E) ciri bentuk kepala dan pronotum; (F) mandibel; (G) pola pubescent elytra; (H) Antena tipe *capitate* dengan tiga segmen membesar (tiga *clubs*) pada ujungnya; (I) kaki belakang; (J) tarsus terdiri atas tiga segmen dengan segmen terakhir berukuran lebih kecil (Sumber: Harto, Nugroho dan Tasik 2013)

HAMA PENGGEREK BATANG MERBAU (*STEM BORER*)

Hama penggerek batang merbau pertama kali dilaporkan oleh Watofa (2014). Hama penggerek batang ini menyebabkan kerusakan batang tanaman merbau di Aboretum Kehutanan di Fakultas Kehutanan Universitas Negeri Manokwari. Pohon yang diserang hama penggerek batang mudah dikenali karena luka akibat gerakan mengeluarkan cairan berwarna coklat tua dan sering pula dijumpai adanya tumpukan feces pada lubang gerakan. Bekas gerakan yang telah lama seringkali meninggalkan pembengkakan batang. (Nugroho 2014).

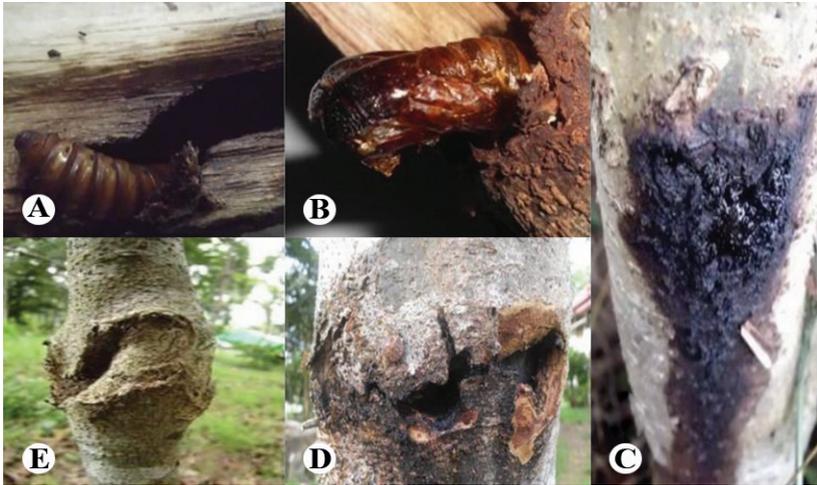
Melalui metode *rearing*, Nugroho (2014) memperoleh ngengat dewasa (imago) bercirikan panjang tubuh mencapai 2.7 cm, antena bertipe pektinate, panjang antena 7 mm. Kepala berbentuk hypognathus dengan jumlah ruas thoraks 3 ruas. Sayap (elytra) warna putih kekuningan dengan bercak-bercak coklat. Sayap depan memanjang dua kali lipat dari lebar sayapnya, dengan ukuran sayap depan 1.7 cm lebih panjang dari sayap belakangnya (1.3 cm). Larva berwarna kekuningan dan akan berubah menjadi kemerahan saat akan memasuki fase pupa. Ukuran larva panjang mencapai 5 cm dengan diameter tubuh larva sekitar 0.8-1.0 cm. Berdasarkan penciri tersebut, ngengat penggerek batang merbau tersebut termasuk dalam golongan ordo Lepidoptera, famili Cossidae. (Gambar 33).

Ngengat Cossidae sering disebut sebagai *beehole borer* atau *teak beehole borer*. Jenis ngengat ini di jumpai di Asia hingga New Guinea. Di Indonesia, ngengat ini sering dijumpai merusak sebagai hama penggerek batang pada jenis-jenis pohon *Callicarpa*, *Clerodendrum*, *Gmelina*, *Tectona* (Verbenaceae), *Erythrina*, *Sesbania* (Leguminosae), *Spathodea* (Bignoniaceae), dan *Duabanga* (Sonneratiaceae), yang seringkali menyebabkan kerusakan serius (FAO 2007)



Gambar. 33. Ngegat Cossidae pada fase imago, larva dan Pupa

Larva ngegat Cossidae membuat lubang gerakan dengan memakan jaringan batang pohon merbau. Lubang gerakan dibuat dengan pola horizontal dari epidermis langsung ke arah endodermis hingga mencapai bagian kayu teras (*pith*) dan dilanjutkan vertikal memanjang ke atas. Variasi pola gerakan dapat berbentuk melingkar batang hingga mencapai pith, kemudian vertikal ke atas. Lubang gerakan memiliki lebar hingga 4 cm dengan panjang gerakan hingga 20 cm. Larva akan berpindah dan memposisikan dirinya ke pintu lubang gerakan saat memasuki fase pupa untuk memudahkan dalam proses pelepasan diri saat mencapai fase imago (Nugroho 2014) (Gambar 34).



Gambar 34. (A) Larva Cossidae dalam lubang gerakannya yang dapat mencapai bagian pith; (B) pupa pada posisi lubang ke luar; (C) Serangan Cossidae yang ditandai adanya cairan coklat tua ke luar dari batang (E dan D) pola gerakan melingkar dengan pembengkakan batang (Sumber: Nugroho 2014)

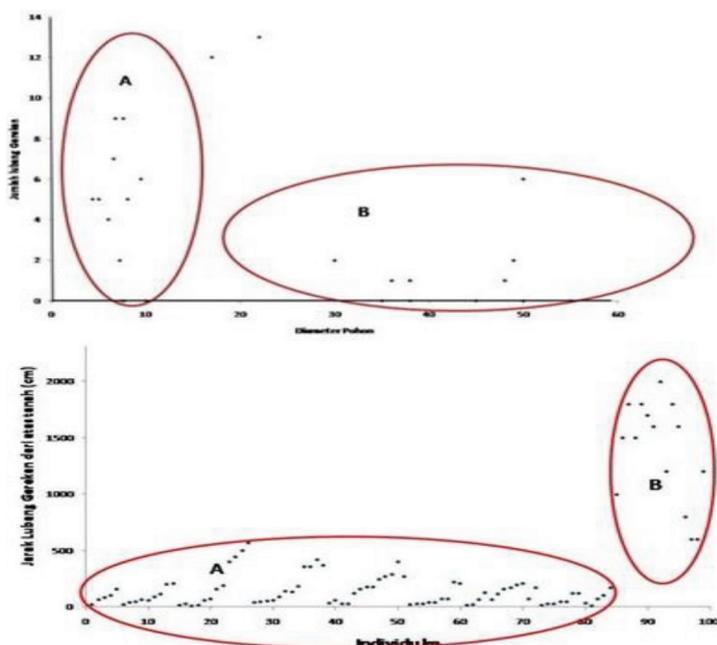
Gerekkan larva Cossidae menyebabkan terputusnya jalur transportasi floem dan sebagian xilem. Pola gerakan melingkar mengakibatkan kerusakan batang yang lebih parah daripada gerakan vertikal. Terganggunanya jalur transportasi tersebut tidak sampai mematikan pohon merbau, yang diperlihatkan kemampuannya untuk memulihkan diri dengan menghasilkan trubusan. Walaupun merbau mampu bertahan terhadap serangan penggerek ini, namun kayu yang dihasilkan akan memiliki kualitas yang kurang baik. Banyaknya cacat serat kayu terpuntir pada merbau diduga disebabkan serangan hama penggerek ini (Nugroho 2014). Observasi yang dilakukan Nugroho (2014) dengan mencacah lubang gerakan larva Cossidae memperlihatkan bahwa 69.33% dari tegakan tanaman merbau di Arboretum di sekitar Fakultas Kehutanan Unipa diserang ngengat ini dengan jumlah lubang gerakan $1,88 \pm 1.67$ per pohon. Di hutan tanaman di Arboretum Anggori, intensitas serangan bahkan mencapai 82.35% dengan jumlah lubang gerakan 7.36 ± 3.67 per pohon (Tabel 11). Serangan ngengat Cossidae lebih banyak dijumpai pada pohon muda (Gambar 34A) dengan lubang gerakan lebih banyak dijumpai pada batang utama dibandingkan cabang bagian atas tanaman (Gambar 34B). Ini memperlihatkan bahwa ngengat Cossidae ini sangat berpotensi akan menjadi hama merbau, saat jenis ini dikembangkan dalam skala yang luas.

Tabel 11. Intensitas Serangan dan Jumlah Lubang gerakan per pohon hasil serangan ngengat Cossidae pada merbau

Lokasi	Diameter Pohon (cm)	Rata-rata Intensitas Serangan (%)	Rata-rata Jumlah Lubang Gerakan per pohon	Jarak lubang gerakan (cm)
Arboretum	4.3-22.0	82.35	7.36 ± 3.67*	8-500
Hutan tanaman	10.0-55.0	69.23	1.88 ± 1.67	1800-600

*Nilai rata-rata diikuti standar deviasi

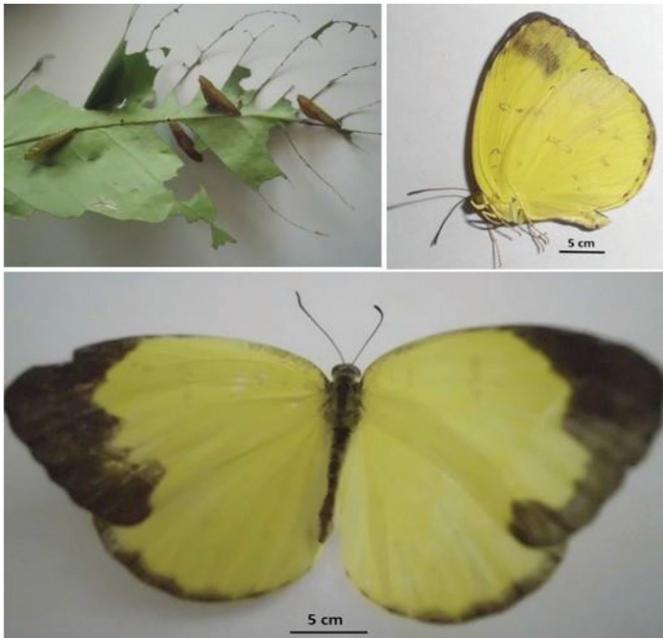
**Sumber: Nugroho 2014.



Gambar 35. Grafik sebelah atas (A=tanaman muda dan B=tanaman dewasa) menunjukkan preferensi ngengat Cossidae yang cenderung menginventasi tanaman merbau muda; grafik sebelah atas menunjukkan kecenderungan ngengat Cossidae memilih batang utama merbau sebagai tempat larva berkembang (Sumber Nugroho: 2014)

HAMA PEMAKAN DAUN MERBAU (*LEAF FEEDER*)

Hama pemakan daun seringkali dijumpai merusak daun tanaman merbau muda dengan hanya meninggalkan pertulangan daunnya. Larva pemakan daun ini melalui metode rearing diketahui berasal dari ordo Lepidoptera, Famili: Pieridae, Genus *Eurema* Hübner (1819), Species: *E. hecabe* (Linnaeus, 1758) (Gambar 36). Jenis kupu-kupu ini memiliki penyebaran yang sangat luas di dunia, dengan variasi geografi yang ditampakkkan dari pola warna sayapnya (Narita *et al.* 2007), Demikian pula di Papua dan Papua Barat dengan mudah dapat dijumpai (Van Mastrigt & Rosariyanto 2005; Van Mastrigt *et al.* 2010).



Gambar 36. *Eurema hecabe*, hama pemakan daun merbau pada saat fase pupa dan dewasa (♀)

Kupu-kupu ini memiliki preferensi yang tinggi untuk memilih tanaman inang dari famili Leguminsae bagi perkembangan larvanya, seperti pada *Acacia stenophylla* (Khan & Sahito 2012), walaupun dijumpai pula menyerang tanaman dari famili lainnya seperti dijumpai pada jenis *Eucalyptus* (Roychoudhury *et al.* 2015).

Selain *E. hecabe* terdapat pula kerabat dekatnya yaitu *E. blanda*, *E. alitha* dan *E. puella* yang juga memiliki penyebaran yang luas di Papua dan Papua Barat dan memiliki preferensi inang cukup lebar (Van Mastrigt & Rosariyanto 2005; Van Mastrigt *et.al.* 2010), sehingga memungkinkan pula menjadi salah satu serangga perusak tanaman muda merbau.

HAMA KUTU PENGISAP CAIRAN (SAP SUCKER)

Kutu putih [*Dysmicocus brevipes* (Cockerell) (Hemiptera: Pseudococcidae)], pengisap cairan tanaman yang awalnya dikenal sebagai hama dan vektor penyakit layu di tanaman nenas (*pineapple mealybug wilt*) (Sartiami 2006), dijumpai pula menyerang tanaman merbau (*Intsia* spp.) di persemaian (Nugroho 2012). Dalam penyebarannya jenis kutu pengisap ini berasosiasi dengan semut dan menyerang bagian tanaman daun, maupun batang bahkan sampai ke daerah perakaran semai merbau (Gambar 37).

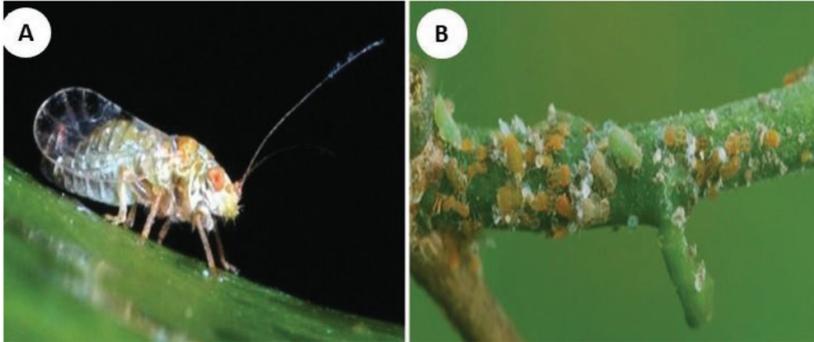


Gambar 37. Infestasi kutu putih (*Dysmicocus brevipes*) pada merbau bukan saja pada bagian tajuk, namun sampai daerah perakaran

Serangan serangga ini tidak sampai mematikan namun mengganggu pertumbuhan tanaman. Pada serangan yang berat akan berpengaruh terhadap keragaan dari anakan merbau di persemaian sehingga semai yang dihasilkan akan berkualitas buruk (Nugroho 2012).

Jenis serangga pengisap lainnya yang dilaporkan banyak menyerang *I. bijuga* saat di persemaian di wilayah Pasifik (Kepulauan Mikronesia dan Guam) adalah *Insnesia glabrascuta* (Hemiptera: Psyllidae) (Gambar 38). Pada infestasi serangga pengisap ini yang parah, tidak sampai menyebabkan kematian tanaman merbau,

namun akan menyebabkan gangguan pertumbuhan tanaman dan membuat tanaman menjadi kerdil (Marler 2015).



Gambar 38. (a) Serangga pengisap *Insnesia glabrascuta* dewasa meletakkan telurnya pada batang dan daun; (b) nimfa *Insnesia glabrascuta* dengan densitas tinggi mengisap cairan jaringan tanaman (Sumber: Maler 2015).

PENYAKIT PADA MERBAU

Data penelitian penyakit tanaman merbau belum ada. Walaupun demikian dari beberapa pengalaman dari operasi pembenihan di persemaian penyakit *soil borne diseases* yang disebabkan cendawan golongan *Phytium* spp. dan *Phytophthora* spp sering menjadi masalah yang harus diperhatikan dalam pekerjaan penyemaian. Penyakit-penyakit tersebut dapat dibawa oleh benih ataupun karena media persemaian yang terkontaminasi (Gambar 39)



Gambar 39. Penyakit yang terbawa oleh benih merbau ataupun media persemaian saat melakukan pekerjaan penyemaian

STATUS DAN SIKLUS UNSUR HARA MERBAU

Tanah dan vegetasi merupakan faktor yang saling mempengaruhi di lingkungannya. Keberadaan pohon merbau di suatu tempat tumbuh sangat berpengaruh terhadap perkembangan sifat kimia tanah di bawah tajuknya, sebaliknya sifat tanah juga mempengaruhi pertumbuhan suatu tumbuhan di atasnya. Produktivitas suatu lahan hutan dengan tanaman di atasnya sangat bergantung dari pengelolaan nutrisi tanah. Pemahaman akan hubungan timbal balik antara tanaman dengan tanah tempat tumbuhnya sangat diperlukan untuk menetapkan strategi di dalam pengelolaan hutan yang lestari.

Tegakan merbau berumur 32 tahun yang tumbuh di tanah ultisol di Arboretum milik Unipa Manokwari menghasilkan serasah sebesar 8,1 ton/ha/tahun. Laju dekomposisi serasah merbau sangat cepat, yaitu 13,6 ton/ha/tahun, sehingga penumpukan serasah di lantai hutan tidak pernah terjadi. Laju pelapukan serasah yang tinggi disebabkan kandungan nutrisi serasah yang sangat baik, terutama kandungan N, P, K, Mg dan Ca; sedangkan kandungan senyawa yang dianggap sebagai penghambat dekomposisi seperti tanin sangat rendah (Nugroho 1997). Analisis kimia jaringan tanaman dari serasah yang baru saja dijatuhkan menunjukkan bahwa status unsur hara (N, P, K, Ca dan Mg) *I. bijuga* di dalam jaringan tanaman relatif tinggi dibandingkan jenis lainnya yang tumbuh pada tempat tumbuh yang sama (Tabel). Ini merefleksikan juga bahwa *I. bijuga* mensyaratkan status unsur hara yang relatif tinggi untuk kelangsungan pertumbuhan dan perkembangannya (Nugroho 1994).

Intsia bijuga sekali pun memiliki persyaratan nutrient tanah yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan jenis lainnya, namun demikian jenis pohon ini seringkali dijumpai mampu tumbuh pada tanah-tanah dengan tingkat kesuburan rendah di lahan-lahan hutan sekunder bersama dengan jenis-jenis pionir lainnya yang tanahnya. Kemampuan jenis ini untuk memenuhi persyaratan nutrisi dalam kondisi lahan seperti demikian, tampaknya berkaitan dengan sistem perakaran yang ekstensif seperti jenis tanaman legum pada umumnya (Virginia 1986), siklus unsur hara di bawah tegakan yang cepat sehingga pemanfaatan unsur hara sangat efisien (Nugroho 1994) dan hadirnya simbiosis fungi ektomikoriza yang menyebabkan efisien di dalam penyerapan unsur hara tanaman (Nugroho 2010).

Perubahan sifat kimia tanah di bawah tegakan merbau sangat berhubungan dengan pola pengambilan unsur hara dan pelepasan unsur hara melalui jatuhnya serasah di atas lantai hutan, pelapukan serasah dan mineralisasi unsur hara ke dalam tanah. Status P pada jaringan tanaman *I. bijuga* yang tinggi (Tabel 12) berkebalikan dengan status P dalam tanah yang rendah (Tabel 13), kemungkinan ini berhubungan dengan tingginya pengambilan P dari dalam tanah, sedangkan pengembalian P ke dalam tanah melalui pelepasan P saat dekomposisi tidak sempat disimpan di tanah permukaan karena adanya siklus P yang cepat antara tanaman dan tanah (Nugroho 1994).

Kandungan jaringan tanaman yang kaya akan kation menyebabkan acidifikasi tanah tidak terjadi. Pengambilan kation tanah terutama unsur Ca dari horizon tanah bawah (sub soil) dan selanjutnya dideposisikan di tanah permukaan (*top soil*) menyebabkan tanah permukaan kaya akan Ca. Kondisi demikian memberikan dampak baik bagi sifat kimia biologis maupun fisika tanah permukaan. Melihat pengaruh baik tanaman *I. bijuga* terhadap tanah, mengindikasikan bahwa jenis ini sesuai untuk digunakan sebagai tanaman agroforestri (Nugroho 1997).

Tabel 12. Perbandingan kandungan kimia serasah *Intsia bijuga* (Ib) yang baru jatuh dibandingkan dengan jenis tanaman hutan lainnya (Pa=*Palaquium amboinensis*, Pc=*Pometia coreaceae*, Vp=*Vatica papuana*, Ah=*Araucaria hunstenii*)

Sifat Kimia	Species				
	Ib	Pa	Pc	Vp	Ah
Daun					
Lignin (%)	23.40 b	28.90 a	27.33 ab	17.83 c	26.80 ab
Tanin (%)	0.70 c	1.03 c	6.08 a	4.02 b	4.64 b
N (%)	1.20 a	0.92 ab	0.73 b	1.24 a	0.81 b*
P (%)	0.15 b	0.08 c	0.07 c	0.07 c	0.19 a
K (%)	0.72 ab	0.44 c	0.28 c	0.40 bc	0.89 a
Ca (%)	1.81 a	0.84 b	1.03 b	0.40 b	0.91 b
Mg (%)	0.43 a	0.33 b	0.22 c	0.11 d	0.26 bc

Bunga					
N (%)	0.98 #	1.39	1.75	1.22	1.02
P (%)	0.25	0.10	0.18	0.07	0.17
K (%)	0,56	0.85	0.45	0.49	0.69
Ca (%)	0.70	0.93	0.36	0.44	0.52
Mg (%)	0.33	0.37	0.21	0.51	0.27
Kayu					
N (%)	0.55 a	0.50 a	0.41 ab	0.21 c	0.24 bc
P (%)	0.11 a	0.09 ab	0.07 abc	0.04 c	0.05 c
K (%)	0.18 a	0.23 a	0.07 b	0.06 b	0.08 b
Ca (%)	0.02 ab	0.99 a	0.60 b	0.79 ab	0.81 ab
Mg (%)	0.31 b	0.47 a	0.21 c	0.09 d	0.12 d

* Nilai rataan dalam baris yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda secara nyata pada tingkat pengujian DMRT 5%

#Tidak dilakukan pengujian DMRT karena jumlah contoh yang terbatas untuk analisis statistik

** Sumber: Nugroho (1994)

Tabel 13. Perbedaan sifat kimia tanah di bawah tegakan *Intsia bijuga* (Ib) dengan jenis tanaman hutan lainnya (Pa=*Palaquium amboinensis*, Pc=*Pometia coreaceae*, Vp=*Vatica papuana*, Ah=*Araucaria hunstenii*) pada kedalaman tanah yang berbeda. Sifat tanah hutan alam (Nf) yang berada di dekat petak tanaman ke lima jenis tersebut dijadikan sebagai pembanding.

Sifat Kimia Tanah	Kedalaman tanah (cm)	Species					
		Ib	Pa	Pc	Vp	Ah	Nf
pH (H ₂ O)	0-5	6.73 a*	6.49 bc	6.40 c	5.46d	6.51bc	6.53b
	5-15	6.50 a	6.40 b	6.33bc	5.93d	6.26 c	6.42ab
	15-30	6.53 a	6.52 a	6.16 d	6.26 c	6.35bc	6.38 b
	30-60	6.47 a	6.48 a	6.10 b	6.34 a	6.41 a	6.04 b
Bahan	0-5	3.41 bc	2.99 d	3.74ab	2.93 d	3.36 c	3.69 a

Organik	5-15	1.07 a	0.76 b	0.83 b	1.14 a	1.18 a	1.07 a
(%)	15-30	0.73 a	0.52 c	0.56bc	0.76 a	0.74 a	0.58 b
	30-60	0.54 ab	0.41 c	0.48bc	0.55 a	0.59 a	0.46 c
N-total	0-5	0.26 a	0.25 a	0.26 a	0.25 a	0.27 a	0.29 a
(%)	5-15	0.13 b	0.11 b	0.10 b	0.13 b	0.17 a	0,10 b
	15-30	0.09 a	0.08 a	0.09 a	0.11 a	0.09 a	0.08 a
	30-60	0.08 a	0.07 a	0.07 a	0.07 a	0.09 a	0.08 a
P	0-5	3.38 c	5.19 b	5.25 b	3.21 c	2.72 c	6.16 a
Tersedia	5-15	0.60 c	1.09 b	1.80 a	0.43 c	0.65 c	1.61 a
(ppm)	15-30	0.10 b	0.39 a	0.46 a	0.06 b	0.07 b	0.64 a
	30-60	0.14 b	0.18 ab	0.19 a	0.09 ab	0.06 b	0.16ab
K dd	0-5	0.51 a	0.28 d	0.33 c	0.38 b	0.42 b	0.38 b
(me/110	5-15	0.27 a	0.15 c	0.14 c	0.28 a	0.20 b	0.13 c
mg)	15-30	0.23 b	0.15 c	0.13 c	0.30 a	0.17 c	0.14 c
	30-60	0.21 b	0.15 c	0.11 c	0.34 a	0.12 c	0.15bc
Ca dd	0-5	12.57 a	11.57 a	10.77a	7.32 b	11.37a	13.69a
(me/110	5-15	5.32 b	3.72 d	4.89bc	4.28cd	6.23 a	6.90 a
mg)	15-30	5.31 ab	4.80bc	4.67bc	4.35 c	4.95bc	5.67 a
	30-60	4.53 b	4.78 ab	5.16 a	5.29 a	5.20 a	5.21 a
Mg dd	0-5	2.67bc	3.18 a	2.70bc	2.28 c	2.88ab	2.76ab
(me/110	5-15	1.44 a	1.11 b	1.02 b	1.43 a	1.37 a	0.99 b
mg)	15-30	1.21 a	1.11 a	1.11 a	1.21 a	1.14 a	0.82 b
	30-60	1.26 b	1.38 ab	1.49 a	1.43 a	1.11 a	0.96 d

*Nilai rata-rata dalam baris yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda secara nyata pada tingkat pengujian DMRT 5% #Sumber: Nugroho (1994).

KERAGAMAN GENETIK DAN SISTEM BREEDING MERBAU

Keragaman Genetik Merbau

Keragaman genetik merupakan istilah untuk menggambarkan adanya variasi atau perbedaan genetik di dalam individu-individu suatu jenis dalam suatu populasi, yang dapat dimanifestasikan pada perbedaan-perbedaan dalam sukuensi DNA, karakter biokimia, sifat fisiologi atau morfologi (Rao dan Hodgkin 2002) .

Informasi keragaman genetik sangat penting untuk dipergunakan dalam menyusun strategi pengembangan pembudidayaan maupun konservasi plasma nutfah suatu jenis. Besarnya keragaman genetik suatu jenis memperlihatkan kemampuan jenis tersebut, melalui sumberdaya genetik yang dimilikinya, untuk menghadapi perubahan lingkungan, yaitu dalam jangka pendek melalui adaptasi ekologi dan dalam jangka panjang melalui evolusi (Lande dan Shannon 1996). Keragaman genetik sangat penting bagi keberlanjutan kehidupan dalam jangka panjang dari suatu species. Tanpanya, species tersebut tidak dapat beradaptasi dan akan punah (White *et al.* 2007). Oleh karena itu, suatu jenis pohon yang memiliki keragaman jenis tinggi akan lebih sukses dalam menghadapi perubahan lingkungan dari waktu ke waktu. Demikian pula usaha manusia dalam memperbaiki sifat genetik jenis tersebut melalui pemuliaan tanaman akan lebih mudah karena ketersediaan sifat genetik yang lebih luas.

Tinggi rendahnya keragaman genetik suatu jenis pohon bergantung dari pola regenerasinya. Bagaimana suatu jenis pohon bereproduksi, berkaitan dengan sistem breedingnya. Demikian pula cara jenis tersebut menyebarkan propagulnya baik dalam peristiwa polinasi (penyebaran polen) maupun saat menyebarkan bijinya akan mempengaruhi keragaman genetik dari jenis yang bersangkutan. Suatu jenis tumbuhan berkayu yang mampu hidup dalam rentang geografis yang lebar, sistem breeding kawin silang dan mekanisme penyebaran biji oleh satwa pemakan buah cenderung memiliki keragaman genetik yang lebih tinggi dalam jenis maupun dalam populasi (Wong, Tan & Che 2009). Penebangan suatu jenis pohon dari habitat alaminya yang dilakukan dalam rangka pemanfaatan jenis tersebut merupakan suatu ancaman untuk terjadinya kehilangan keragaman genetik (erosi genetik).

Keragaman genetik dapat diukur dengan melalui penanda (marker) genetik morfologi, biokimia maupun molekuler. Penanda genetik biokimia yang banyak digunakan untuk penelitian genetik pada jenis-jenis pohon adalah allozyme. Allozyme adalah bentuk-bentuk alel dari enzim yang dapat dibedakan melalui prosedur elektroforensis. Istilah yang paling umum digunakan dalam allozyme adalah isozyme yang mengacu pada keragaman bentuk enzim yang mampu mengkatalis reaksi yang sama (White *et al.* 2007).

Dengan berkembangnya pengetahuan molekular saat ini, telah tersedia berbagai penanda genetik yang dapat dipergunakan untuk mengevaluasi keragaman genetik. Penanda molekuler berbasis DNA meliputi Microsatellites (Simple Sequence Repeats), RAPD (Rando Amplified Polymorphic DNA) dan AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) telah sering dipergunakan untuk mengevaluasi keragaman genetik suatu jenis tumbuhan (Finkeldey & Hattemer 2007). Telaah tentang keragaman genetik dengan menggunakan metode tersebut telah dilakukan pada merbau, yang menunjukkan bahwa baik pada *I. bijuga* maupun *I. palembanica* pada beberapa populasi alam yang diteliti memiliki keragaman genetik tinggi (Lee *et al.* 2002, Rimbawanto & Widyatmoko 2006, Wong, Tan & Che 2009; Yudohartono 2008).

Rimbawanto & Widyatmoko (2006) menggunakan 15 penanda RAPD dengan sampel daun *I. bijuga* asal individu cabutan dari Kebun Percobaan Carita Banten, Ternate, Manokwari dan Nabire, yang diperoleh rata-rata alel per lokus polimorfik sebesar 5,1 dengan keragaman genetik sebesar 0,293; sedangkan Mahfudz *et al.* (2010) melalui identifikasi isozim dengan sistem enzim Peroxidase (POD), Esterase (EST), Glutamate Oxaloacetate Transmirase (GOT), dan Diaphorase (DIA). dan menggunakan contoh *I. bijuga* dari Hutan Gunung Meja, Manokwari diperoleh rata-rata keragaman genetik *I. bijuga* (He) sedikit lebih besar yaitu 0.463.

Demikian pula gambaran keragaman genetik pada *I. palembanica* yang diberikan oleh Lee *et al.* (2002) dan Wong, Tan dan Che (2009) menunjukkan keragaman yang relatif tinggi walaupun masih lebih kecil dibandingkan *I. bijuga*. Lee *et al.* (2002) melalui penelitiannya pada *Intsia palembanica* di hutan cadangan (Forest Reserve) Pasoh, Sungai Lalang, Bukit Lagong, Bubu, Bukit Kinta dan Bukit Perangit dengan menggunakan pendekatan aloensim memperoleh jumlah rata-rata alel per lokus polomorfik=2,4; rata-rata alel efektif

per lokus polimetrik=1,64 dan rata-rata heterosigositas harapan (H_e)=0,242). Selanjutnya Wong, Tan dan Che (2009) melalui karakterisasi lokus mikrosatelit untuk mengidentifikasi keragaman *I. palembaninica* menggunakan 76 individual contoh merbau asal Papua. Melalui karakterisasi lokus mikrosatelit tersebut diperoleh 12,1 (4,0 - 19,0) alel mikrosatelit per lokus dengan heterosigositas teramati (H_o) berkisar 0,01 - 0,96.

SISTEM BREEDING MERBAU

Sistem breeding suatu jenis tumbuhan penting diketahui untuk dijadikan sebagai landasan dalam pengembangan pembudidayaan jenis tumbuhan tersebut. Pengetahuan sistem breeding memberikan pengertian terhadap terjadinya aliran gen dan diferensiasi genetik yang terjadi dalam dan antar populasi suatu jenis, dengan demikian akan diketahui kecenderungan outcrossing ataupun inbreeding. Apabila inbreeding terjadi pada suatu populasi tumbuhan, maka akan berdampak pada menurunnya keragaman genetik jenis tersebut. Cara yang paling umum untuk mengetahuinya sistem breeding yaitu dengan memahami morfologi bunga dan menggunakan marker genetik. Penggunaan marker genetik akan memperkuat hasil dari pengamatan morfologi karena melalui cara ini dapat diperkirakan tingkat heterosigositas dan laju selfing (inbreeding) jenis tumbuhan tersebut (Silvertown dan Charlesworth 2001).

Intsia bijuga dengan nilai heterogenitas yang tinggi (H_e =0,643) mempunyai kecenderungan kawin silang yang sangat tinggi dan sebaliknya kemungkinan terjadinya inbreeding rendah yang ditunjukkan nilai outcrossing pada multilokus (t_m) dan suatu lokus (t_s) tinggi ($t_m = 1.00$ & $t_s = 0,992$). Perkawinan silang yang tinggi menyebabkan keragaman genetiknya maupun heterogenitasnya tinggi (Mahfudz *et al.* 2010). Berdasarkan ciri organ reproduktifnya *I. bijuga* termasuk dalam bunga hermoprodit, yaitu di dalam satu bunga terdapat organ betina dan organ jantan. Bunga-bunga tersebut tersusun dalam satu malai (infloresensia), dengan jumlah bunga dalam malai beragam antara $20,60 \pm 1,19$. Karakteristik bunga seperti demikian seharusnya kemungkinan terjadinya inbreeding jauh lebih besar, karena jarak kontak saat polinasi lebih dekat. Namun demikian, dekatnya jarak antara organ reproduktif betina dan jantan tidak mempengaruhi keberhasilan dalam perkawinan karena adanya mekanisme yang mencegah terjadinya kawin sendiri (selfing) yang diduga berkaitan dengan adanya *self-incompatibility* (Baskorowati & Pudjiono 2015). Mekanisme demikian dapat

ditunjukkan dengan ditolakannya polen yang berasal dari bunga yang sama sehingga tidak akan menghasilkan biji bila kawin sendiri. Pencegahan kawin sendiri juga dapat berhubungan dengan waktu yang tidak bersamaan masakanya putik dan tepung sari (Silvertown & Charlesworth 2001). Melalui percobaan penyerbukan alam yaitu dengan membiarkan malai bunga terbuka dan penyerbukan sendiri yaitu dengan menutup malai bunga yang siap mekar dengan kantong polinasi, maka terlihat bahwa hasil biji pada penyerbukan alam sangat rendah (2.7%) sedangkan pada penyerbukan sendiri sama sekali tidak menghasilkan biji, yang menguatkan adanya mekanisme pencegahan selfing (Baskorowati & Pudjiono 2015).

Kecenderungan kawin silang juga ditampakkan pada *I. palembanica*. Lee *et al* (2002) mendapatkan rata-rata heterosigositas harapan (H_e) = 0,242 pada *I. palembanica*, dengan laju outcrossing pada multilokus = 0,766. Kecenderungan untuk kawin silang dan kecilnya selfing mirip dengan *I. bijuga*, kemungkinan berkaitan dengan kemiripan dalam mekanisme di dalam pencegahan terjadinya selfing pada keduanya.

FENOLOGI DAN PERTUMBUHAN MERBAU

Fenologi Merbau

Fenologi mempelajari hubungan antara terjadinya perubahan musim dan iklim dengan terjadinya pembentukan mata tunas vegetatif dan daun, pengguguran daun dan ranting (*litterfall*), pembentukan mata tunas generatif, bunga dan buah. Pengamatan fenologi penting dilakukan untuk mendapatkan pola pembungaan dan pembentukan buah hingga dapat diperkirakan kapan pemanenan dapat dilakukan. Data fenologi sangat penting untuk dapat dipergunakan dalam menyusun strategi penyediaan benih dan perencanaan penanaman.

Merbau, saat mengalami stress kekeringan pada bulan-bulan yang relatif kering sering mengalami pengguguran daun, dengan pola tidak beraturan. Oleh karena itu jenis ini digolongkan dalam vegetasi *semi-desiduous* karena sering menggugurkan daun. Bulan-bulan kering di Manokwari biasanya terjadi pada bulan Mei-Oktober dan pada bulan-bulan tersebut produksi serasah yang dijatuhkan ke lantai hutan meningkat (Nugroho 1994). Cekaman lingkungan demikian juga akan menyebabkan terjadinya inisiasi tunas generatif pada merbau.

Intsia bijuga, di Manokwari, dapat berbunga dan berbuah hampir sepanjang tahun dengan jumlah yang berfluktuatif (Nugroho 1997; Hou 1994). Musim puncak buah terjadi pada bulan-bulan September – Desember setiap tahunnya (Suripatty *et al.* 2001). Pengamatan oleh Baskorowati & Pudjiono 2015 pada tegakan tanaman merbau di Kebun Percobaan Konservasi *ex-situ* Gunung Kidul dan Bondowoso pembungaan dimulai saat musim penghujan yaitu November sampai pertengahan April, sedangkan di Petak 93 KHDTK Paliyan Gunung Kidul pembungaan dan pematangan dimulai dari bulan Mei - November. Hou (1994) mencatat bahwa *I. palembanica* berbunga pada bulan Januari – April dan berbuah pada bulan Februari – Desember.

Tabel 14. Panjang waktu setiap tahapan dalam pembungaan dan pematangan pada *Intsia bijuga*.

Tahap Perkembangan	Waktu	Gambar
I. Tahap Induksi Bunga		
Tunas vegetatif terinduksi menjadi tunas generatif ditandai dengan mengecilnya ukuran daun	25-30 hari	
II. Tahap Inisiasi Bunga		
Tunas generatif membengkak (membentuk cone) mencapai ukuran maksimal, kelopak dan mahkota bunga terbuka	28-29 hari	
III. Tahap Perkembangan Kuncup Bunga hingga Anthesis		
Kelopak bunga membuka maksimal, mahkota bunga berkembang maksimal	12 jam	
Kepala putik mulai tegak dan belum ada cairan; tangkai sari sebagian mulai tegak namun katong tepung sari masih menutup	3-4 jam	
Seluruh katong sari dalam satu kuncup bunga terbuka, tepung sari hilang	1-2 jam	

IV. Tahap Penyerbukan dan Pembuahan		
ditandai luruhnya mahkota bunga dan benang sari, Tangkai putik tetap segar tanda telah terbuahi dan berkembang menjadi buah.	4-6 hari	
Morfologi bunga berubah	12 hari	
V. Tahap Perkembangan Pematangan Buah		
Ukuran buah bertambah dan terjadi perubahan warna dari hijau ke coklat gelap	60 hari	
Polong pecah dan buah jatuh berhamburan	60 hari	

Sumber: Baskorowati & Pudjiono (2015)

Pembungaan dan pembentukan buah *I. bijuga* mengikuti serangkaian tahapan yaitu (1) induksi bunga; (2) inisiasi bunga (pre-anthesis); (3) pembungaan (anthesis); (4) penyerbukan dan pembuahan; (5) perkembangan pematangan buah (Tabel 14). Perkembangan mulai saat terjadinya inisiasi mata tunas vegetatif berubah menjadi mata tunas generatif hingga tahap pematangan buah keseluruhannya membutuhkan lebih dari 6 bulan. Jadi apabila bunga mulai muncul pada bulan Februari-Maret buah akan siap panen sekitar bulan Agustus-September (Baskorowati & Pudjiono 2015). Variasi pembungaan dan pembuahan dapat saja terjadi antar tempat, sangat bergantung dari iklim setempat dan perbedaan yang menonjol antar musim basah dan kering di lokasi tersebut.

PERTUMBUHAN MERBAU

Pertumbuhan merbau sangat cepat pada fase semai. Semai *I. bijuga* berumur 30 hari dapat mencapai tinggi 25 cm sedangkan semai *I. palembanica* pada umur yang sama memiliki tinggi lebih dari 30 cm. Tinggi awal semai sangat tergantung dari besarnya kotiledon sebagai cadangan makanannya. *I. palembanica* yang memiliki ukuran biji dan kotiledon yang lebih besar daripada *I. bijuga* akan memiliki ukuran semai yang jauh lebih besar (Nugroho 2012). Setelah fase perkecambahan, kecepatan pertumbuhan anakan merbau menurun.

Merbau selama ini dianggap sebagai jenis yang lambat tumbuh. Namun demikian berdasarkan data yang terkumpul anggapan tersebut tidak sepenuhnya benar. Rata-rata riap diameter tahunan (MAID) berkisar 0,31-1,87 cm/tahun dan rata-rata riap tinggi (MAIH) berkisar 0,45-1,38 m/tahun pada *I. bijuga* dan rata-rata riap diameter tahunan (MAID) 1,07 cm/tahun pada *I. palembanica* (Tabel 15). Lebarnya variasi riap diameter maupun tinggi kemungkinan disebabkan kualitas tempat tumbuh dan umur saat dilakukan pengukuran yang berbeda. Tempat tumbuh dengan tingkat kesuburan yang rendah akan menghasilkan riap tumbuh yang rendah pula, demikian pula pengukuran yang dilakukan pada umur yang berbeda, apakah pada fase muda (juvenil), fase perkembangan (percepatan) atau fase dewasa (mature) akan menghasilkan riap yang berbeda pula.

Rata-rata riap diameter tahunan *I. palembanica* masih sebanding dengan *I. bijuga* yaitu sebesar 1,07 cm/tahun (PROSEA 1994). Riap pertumbuhan dari kedua jenis merbau ini juga mirip dengan jenis-jenis pohon lainnya seperti *Shorea johorensis* dan *S. falfax* yang ditanam dengan menggunakan teknik SILIN yang dapat mencapai riap diameter masing-masing 3,21 cm/tahun dan 2,33 cm/tahun (Soekotjo 2009) dan *Agathis philippinensis* dengan riap diameter 1,05 cm;tahun (Schneider *et al.* 2013).

Tabel 15. Riap Pertumbuhan Diameter dan Tinggi Tanaman Merbau dari berbagai sumber.

Jenis	Umur (tahun)	Diam. (cm)	Tinggi (m)	MAID [#] (cm/thn)	MAIH ^{**} (m/thn)	Referensi
<i>I. bijuga</i>	8	15	10,70	1,87	1,38	PROSEA (1994)
	-	-	-	0,31	0,45	Schneider et al. (2013)
	32	33	21,20	1,03	0,66	Nugroho (1994)
	44	42	8,14*	0,95	0,19	Tokede et al. (2009)
	48	80	-	1,67	-	Nugroho (2012)
	12	20	-	1.50	-	Suripatty (2010)

	40	43	-	1,07	-	PROSEA (1994)
I.						Appanah&
palembanica				0,60		Weinland (1993)

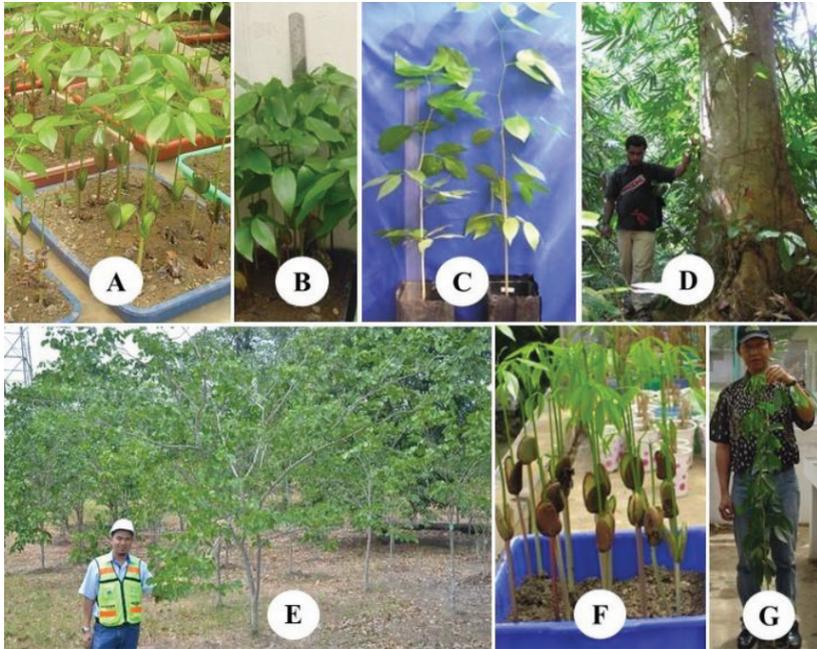
*Tinggi bebas cabang

#MAID=Mean Annual Increment of Diameter (rata-rata riap diameter tahunan)

**MAIH=Mean Annual Increment of Height (rata-rata riap tinggi tahunan)

Karakter-karakter pertumbuhan, seperti diameter, tinggi, percabangan dari merbau sangat perlu dipahami untuk menunjang program pemuliaan. Pengukuran hubungan antara keragaman isoensim dan pertumbuhan pada *I. bijuga* pada plot uji keturunan di Sobang memperlihatkan adanya korelasi positif antara keragaman tanaman dengan karakter tinggi, diameter dan percabangan. Ini lebih menegaskan bahwa keragaman genetik yang tinggi pada merbau akan memfasilitasi adanya keragaman fenotipik karakter tinggi, diameter dan percabangan yang dapat dipergunakan dalam program pemuliaan. (Mafudz 2013^b). Dari hasil taksiran heritabilitas individu (h^2) untuk pertumbuhan tinggi diperoleh tergolong tinggi (0,33) dibandingkan heritabilitas diameter (0,24) maupun percabangan (0,16) yang tergolong sedang. Taksiran heritabilitas famili untuk karakter tinggi, diameter dan percabangan berturut-turut sebesar 0,40, 0,42 dan 0,35 tergolong mendekati sedang, Perhitungan korelasi genetik antara tinggi dan diameter menunjukkan korelasi yang kuat ($R_g=0,95$)m yang berarti perbaikan sifat diameter akan diikuti oleh sifat tinggi sebesar 95% (Mafudz 2013^b). Namun demikian, adanya indikasi bahwa faktor genetik berpengaruh terhadap pertumbuhan tinggi, diameter maupun percabangan, demikian pula adanya korelasi antara sifat tinggi dan diameter dapat saja berubah setiap waktu sesuai dengan perkembangan dan pertumbuhan tanaman (Mafudz 2013^b).

Saat pembibitan dengan menggunakan benih yang beragam dengan asal pohon induk berbeda atau bahkan tanpa melakukan pemilihan pohon induk yang baik seperti pada program produksi bibit yang melibatkan masyarakat lokal, seringkali menghasilkan anakan dengan karakter pertumbuhan yang sangat beragam baik dalam vigoritas perkecambahan, kecepatan pertumbuhan, maupun karakter percabangan semai yang dihasilkan. Teknik paling sederhana yang dapat dilakukan untuk menekan keragaman mutu benih tersebut yaitu dengan cara seleksi pada tingkat anakan di persemaian.



Gambar 40. Pertumbuhan merbau: (A-B) *I. bijuga* saat berkecambah (berumur 30 hari); (C) anakan *I. bijuga* umur 2 tahun di persemaian dengan tinggi 30-50 cm, (D) pohon *I. bijuga* berumur 48 tahun dengan diameter 80 cm di Arboretum Universitas Papua; (E) *I. bijuga* umur 3 tahun yang ditanam di tempat terbuka di PT. Bukit Asam; (F) anakan *I. palembanica* saat berkecambah (berumur 30 hari), (G) anakan *I. palembanica* saat berumur 2 tahun dengan tinggi > 100 cm.

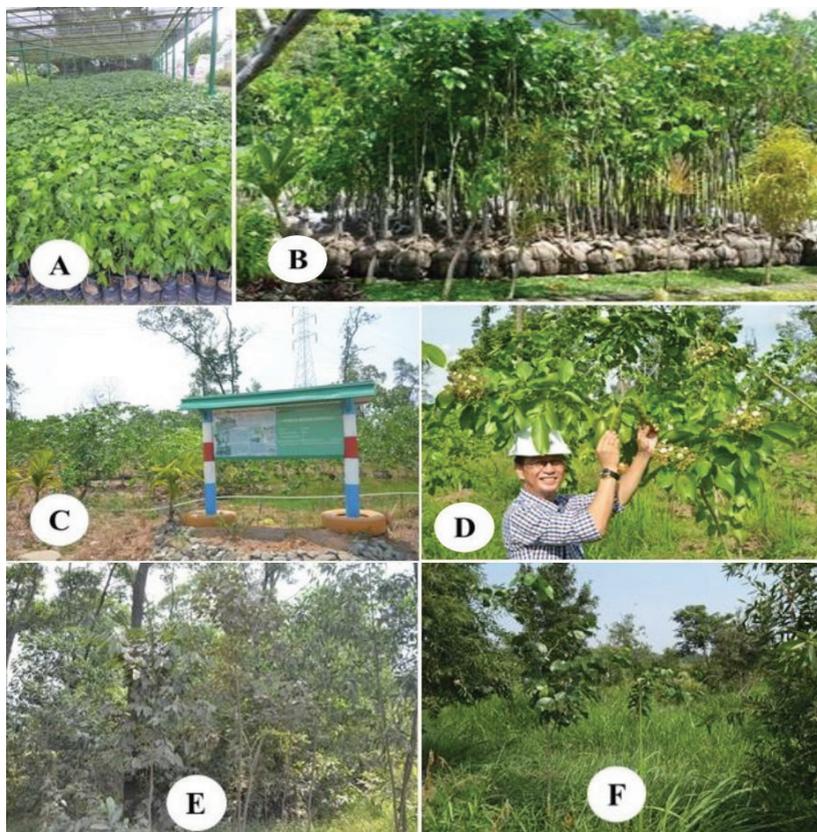
Pertumbuhan merbau yang diperlihatkan data tersebut di atas adalah gambaran pertumbuhan tanaman merbau dengan perawatan terbatas. Di lain pihak, dengan adanya indikasi faktor genetik berpengaruh terhadap karakter morfologi pertumbuhan merbau, ini menunjukkan program pemuliaan melalui seleksi mungkin dilakukan untuk memperoleh genotipe unggul. Oleh karena itu apabila penanaman merbau menggunakan benih/bibit unggul hasil seleksi dan pemeliharaan tanaman dilakukan secara intensif, maka pertumbuhan merbau akan diperoleh jauh lebih baik bahkan mungkin saja dapat sebanding dengan jenis lainnya yang selama ini telah digunakan dalam program penanaman (Nugroho 2012).

PENGALAMAN BUDIDAYA MERBAU

Penanaman merbau (*I. bijuga*) telah dilakukan di luar habitat aslinya, bahkan di areal bekas tambang. Beberapa perusahaan pertambangan yang telah menanam merbau di areal bekas tambangnya, antara lain PT Freeport Indonesia, perusahaan pertambangan emas dan tembaga di Timika, Papua; PT Amman Mineral Nusa Tenggara (AMNT, dulu bernama PT Newmont Nusa Tenggara), perusahaan pertambangan emas di Batu Hijau, Nusa Tenggara Barat; dan PT Bukit Asam, perusahaan pertambangan batubara di Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Dalam skala lebih kecil, merbau juga telah ditanam sebagai tanaman hias di areal Kehati Kawasan Industri Karawang International Industrial City (KIIC) di Karawang Barat, Jawa Barat.

Bibit dapat diperoleh dari benih yang dibibitkan terlebih dahulu, maupun dari puteran anakan alam. Anakan alam merbau tergolong bandel untuk dikumpulkan dengan teknik puteran, bahkan sampai tingkat tiang, persen hidup dapat mencapai 100%. Bibit dari puteran anakan alam pada tingkat pancang ini telah dilakukan di PT AMNT dengan keberhasilan yang tinggi (Gambar). Bibit yang telah dipindahkan ke polybag segera harus disimpan di tempat yang teduh, lebih baik di dalam sungkup yang teduh untuk menghindari transpirasi yang berlebihan. Penanaman merbau di lapangan dengan benih langsung juga telah diteliti oleh Tuheteru *et al.* (2011) dengan keberhasilan lebih dari 80%.

Di areal reklamasi PT Freeport Indonesia dan di kawasan industri KIIC, bibit merbau ditanam di tempat terbuka tanpa naungan. Dalam kondisi tanpa naungan pola pertumbuhan merbau akan berubah menjadi seperti semak, pendek dengan cabang yang banyak tinggi kurang lebih 2 m, dan kurang lebih 2 tahun setelah tanam, tanaman mulai berbunga dan berbuah. Fenomena ini telah dimanfaatkan untuk membangun sumber benih merbau di PT Bukit Asam (Gambar 41). Di perusahaan pertambangan ini telah dibangun sumber benih merbau di lahan terbuka, sehingga bentuk tanaman menyerupai semak dengan bunga dan buah yang mudah untuk dipanen. Saat ini, perusahaan telah memanfaatkan benih dari sumber benih tersebut untuk perbanyak merbau di persemaian.



Gambar 41. Pengalaman budidaya *Intsia bijuga*. (A) Bibit siap tanam di persemaian di PT. Bukit Asam; (B) Penyiapan bibit melalui puteran di PT. AMNT; (C) Kebun Benih di PT. Bukit Asam; (D) Dr. Jesus C. Fernandez menunjukkan merbau umur 2 tahun yang ditanam di tempat terbuka telah berbuah; (E) bibit yang ditanam di bawah naungan sengon (*Falcataria moluccana*) mampu menunjukkan pertumbuhan tinggi yang normal; (F) penanaman merbau di antara tanaman kayu putih (*Melaleuca leucadendron*).

Merbau yang ditanam di bawah naungan pohon lain, yaitu sengon (*Falcataria moluccana*) mampu tumbuh tinggi membentuk pohon yang normal. Di areal reklamasi PT AMNT, merbau ditanam bercampur dengan jenis-jenis pohon lainnya sehingga pertumbuhannya juga normal (Gambar 41). Hal ini mengkonfirmasi bahwa merbau tergolong sebagai jenis semitoleran dan melalui pola penanaman campuran demikian pengelola hutan tanaman dapat mengambil manfaat dari

jenis lainnya, misalnya kayu putih (*Melaleuca leucadendron*) sebelum dapat memanen pohon merbau.

Merbau tergolong mudah untuk ditanam dengan persen hidup yang tinggi. Di kebun yang dekat dengan sungai dengan kesuburan tinggi di Bogor, merbau dapat mencapai diameter setinggi dada 30 cm pada umur 7 tahun. Merbau juga memiliki daya regenerasi alami yang sangat baik, sehingga sangat berpotensi untuk dikembangkan sebagai hutan tanaman. Penanaman awal perlu menggunakan tanaman penayang, baik ditanam dengan dua tahap dengan didahului menanam jenis pohon pionir atau dengan teknik ajir hidup, dimana stek batang gamal (*Gliricidia sepium*) bersama-sama dengan penanaman bibit merbau (Mansur, 2013). Setelah pohon-pohon merbau tumbuh besar dan mulai bereproduksi menghasilkan benih dan anakan alam, pohon dan tanaman penayang dapat dihilangkan dan selanjutnya tegakan monokultur merbau dapat dikelola dengan sistem silvikultur tebang pilih dengan permudaan alami. Merbau juga sangat mungkin untuk dijadikan jenis unggulan dalam pengelolaan hutan alam dengan silvikultur intensif (SILIN).

A photograph of a large tree trunk in a dense forest. The tree trunk is the central focus, showing its rough, textured bark. The surrounding forest is lush with green foliage, including various leaves and branches. Sunlight filters through the canopy, creating a dappled light effect. A semi-transparent white box with a thin black border is centered over the tree trunk, containing the text 'BAB V' and 'PENUTUP' in a bold, black, serif font.

BAB V
PENUTUP

Berdasarkan perkembangan pengetahuan taksonomi, ekologi maupun silvikultur merbau hingga saat ini tampak sudah cukup memadai untuk dipergunakan dalam menunjang pengembangan tanaman merbau baik dalam bentuk hutan tanaman maupun dalam usaha kita untuk tetap mempertahankan kelestariannya di habitat aslinya. Sekalipun demikian, masih banyak pula celah kekosongan yang perlu dilengkapi untuk memperoleh gambaran secara lengkap tentang merbau baik dalam bidang taksonomi, ekologi maupun silvikulturnya.

Penguasaan pengetahuan ekologi dan silvikultur merbau yang telah ada sampai saat ini, demikian pula melihat laju pertumbuhan merbau yang sebanding dengan jenis-jenis lainnya yang telah dikembangkan terlebih dahulu seperti jenis dipterokarpa, memperlihatkan bahwa penanaman merbau dalam skala yang besar sangat prospektif untuk dilakukan. Demikian pula penerapan regenerasi kembali lahan-lahan bekas tebangan baik melalui skema TPTI maupun SILIN yang selama ini di Papua dan Papua Barat lebih banyak mengikuti rekomendasi menggunakan jenis-jenis non lokal dapat digantikan dengan jenis merbau.

Pelestarian merbau dapat dimulai dengan melakukan penunjang tegakan benih yang dilindungi pada beberapa lokasi yang tersebar mewakili keadaan geografi Papua dan Papua Barat, maupun pendirian kebun benih dan kebun pangkas dengan menggunakan klon-klon unggul dari tegakan yang berasal dalam rentang geografi yang lebar untuk menjangkau koleksi yang mewakili keragaman genetik merbau yang ada. Usaha pelestarian ini disamping untuk menjaga ketersediaan keragaman genetik merbau untuk kebutuhan masa depan, sekaligus ditujukan untuk penyediaan benih dan bibit merbau unggul bagi kebutuhan penanaman lahan-lahan bekas tebangan, maupun pembangunan hutan tanaman, baik dalam skema hutan tanaman industri maupun hutan tanaman dengan pola agroforestri.



DAFTAR PUSTAKA

- Adel MN, Pourbabaei H, Dey DC. 2014. Ecological species group-environmental factor relationships in unharvested beech forests in the north of Iran. *Ecological Engineering* 69:1-7.
- Agerer R. 2006. Fungal relationships and structural identity of their ectomycorrhizae. *Mycol Progress* 5:67-107.
- Amri E, Lyaruu UML, Nyomora AS & Kanyeka ZL. 2010. Vegetatif propagation of African blackwood (*Dalbergia melanoxylon* Guill.&Perr.): effects of age of donor palnt, IBA treatments and cutting position on rooting ability of stem cuttings. *New Forest* 39:183-194
- Aoetpah M. 2015. Pembibitan merbau (*Intsia bijuga*) melalui stek pucuk. Karya tulis tugas akhir, Program Studi Diploma III Budidaya Hutan, Fakultas Kehutanan Universitas Papua (Tidak diterbitkan)
- Arthecha RN. 1995. Plant growth substances: Principles and aplication. New York, Chapman and Hall.
- Baskorowati L dan Pudjiono S. 2015, Morfologi pembungaan dan sistem reproduksi merbau (*Intsia bijuga*) pada plot populasi perbanyakan di Paliyan Gunungkidul. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan* 9(3):159-175.
- Brundrett M. 2004. Diversity and classification of mycorrhizal association. *Bul Rev* 79:473-495.
- Brundrett M, Malajezuk N, Mingqin G, Daping X, Snelling S, Dell B. 2005. Nursery inoculation of *Eucalyptus* seddlings in Western Australia and Southern China using spores and mycelial inoculum of diverse ectomycorrhizal fungi from different climatic regions. *For Ecol Manag* 209:193-205.
- Brundrett M., Bougher N, Dell B., Grove T., Malajczuk N. 1996. Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture. Wembley, WA: Australian Centre for International Agriculture Research (ACIAR).
- Bruns TD, Bidartondo MI, Taylor DL. Host specificity in ectomycorrhizal communities: What do the exceptions tell us? *Integ. & Comp Biol.*42: 352-359.
- Chen YL. 2006. Optimization of *Scleroderma* spore inoculum for *Eucalyptus* nurseries in south China [Thesis] Pert: Murdoch University.
- [CIFOR & UNIPA] Center for International Forestry Research & Universitas Negeri Papua. 2012. Carbon storage in mangrove and peatland ecosystems of Papua – Eastern Indonesia. Final Report. Universitas Negeri Papua.

- Condit R, Ashton PS, Baker P, Bunyavejchewin S, Gunatilleke S, Gunatilleke N, Hubbell SP, Foster RB, Itoh A, LaFrankie JV, Lee HS, Losos E, Manokaran N, Sukumar R dan Yamakura T. 2000. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science* 288:1414-1417.
- Danu. 2009. Hubungan antara umur dan tingkat juvenilitas dengan keberhasilan stek dan sambungan pucuk meranti tembaga (*Shorea leprosula* MIQ.). Thesis IPB, Bogor.
- Dames JF, Straker CJ, Scholes MC. 1999. Ecological and anatomical characterization of some *Pinus patula* ectomycorrhizas from Mpumalanga, South Africa. *Mycorrhiza* 9:9-24.
- de Fretes Y, Kameubun C, Rachman I, Nugroho JD, Wally E, Remetwa H, Kabiay M, Suartana KG, dan Rumarhobo BT. 2002. A Biodiversity Assesment of Yongsu-Cyclops Mountains and the Southern Mamberamo Basin, Papua, Indonesia. *RAP Bulletin of Biological Assessment* 25.
- DeMeo R.A. & Marler TE. 1998. Growth, morfologi and physiology of *Intsia bijuga* trees under varied light conditions. *HortScience* 33(3):480.
- de Souza FHD, Marcos-Filho J. 2001. The seed coat as a modulator of seed-environment relationship in Fabaceae. *Revta brasil Bot.* Vol.24, No.4:365-375.
- Dinas Kehutanan Irian Jaya. 1976. Mengenal beberapa jenis kayu Irian Jaya. Jayapura: Dinas Kehutanan Irian Jaya.
- Dress EM. 1938. Kort Overzicht der Geslachten *Intsia* en *Pahudia*. Korte medeeling van het Boschbouwproefstation No.67.
- Ernawati K, Husin A, Sisunandar. 2014. Penambahan 6-Benzil Amino Purine (BAP) dan Asam Naftalenaasetat (NAA) berhasil menginduksi pembentukan pemanjangan tunas merbau (*Intsia bijuga* (Colebr.) O. Kuntze) secara in vitro. Seminar Nasional XI Pendidikan Biologi FKIP UNS, Solo.
- [FAO] Food & Agriculture Organization (FAO). Overviews of Forest Pest. Forest Healt and Biosecurity. Working Papers FBS/19E, FAO, Rome.
- Fatem S, Unenor E, Bauw A & Ayomi M. 2011. Laporan pelaksanaan survey inventarisasi dan identifikasi potensi unggulan jenis merbau di kampung Moruku, Distrik Dekai, Kabupaten Yahukimo, Provinsi Papua. Dinas Kehutanan dan Konservasi Provinsi Papua, Jayapura.
- Fenner M. 2000. Seed: The ecology of regeneration in plant community. 2nd edition. Wallingford, UK: CABI Publishing. 410 Hal.

- Finkeldey R & Hattermer HH. 2007. Tropical Forest Genetics. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 315 hal.
- [GBIF] The Global Biodiversity Information Facility. Intsia. [diakses 07/08/2019].
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF). 2019 (Diambil dari www.gbif.org, pada 10/11/2019)
- Greigh-Smith P. 1983. Quantitative plant ecology. Blackwell Scientific Publication Oxford. 106 Hal.
- Gunawan LW. 1992. Teknik Kultur Jaringan. Bogor: Pusat Antar Universitas Bioteknologi Institut Pertanian Bogor.
- Gultom RP. 2002. Struktur dan Komposisi Tegakan pada kebun plasma nutfah PT. Dharma Mukti Persada Kabupaten Manokwari. Skripsi Sarjana Fakultas Kehutanan Universitas Papua.
- Gunawan LW. 1992. Teknik Kultur Jaringan. Bogor: Pusat Antar Universitas Bioteknologi Institut Pertanian Bogor.
- Hamzah T. 2003. Respon pertumbuhan kultur pucuk merbau (Intsia bijuga OK) pada berbagai media dasar secara in vitro [skripsi]. Manokwari: Fakultas Kehutanan Universitas Negeri Papua.
- Harto S, Nugroho JD & Tasik S. 2013. Description of beetle (Order Coleoptera: Sub Order Polyphaga, Fam. Anobiidae): New record for potential seed pest of merbau [Intsia bijuga (Colebr.) O. Kuntze]. Poster pada seminar International Conference of Indonesia Forestry Researchers, 2nd INAFOR, 27-28 August 2013, Jakarta
- Hartman HT, Kester DE, Davies FT, Geneve R. 2002. Plant propagation: principle and practices. 7th Ed. Prentice-Hall International, Int, New Jersey. 646 hal.
- Harvey LM, Smith JE, Kristiansen B, Neil J, Senior E. 1998. The cultivation of ectomycorrhizal fungi. Di dalam: Whipps JM, Lumaden RD, editor. Biotechnology of fungi for improving plant growth. Cambridge: Cambridge University Press. Hlm. 27-40.
- Hou D. 1994. Studies in Malesian Caesalpinioideae (Leguminosae). I. The Genera *Acrocarpus*, *Azefelia*, *Copaifera*, and *Intsia*. *Blumea* 38:313-330
- Hubbell SP. 1979. Tree dispersion, abundance, and diversity in a tropical Dry Forest. *Science* 203:1299-1309.
- Husch B, Beers TW, Kershaw JA. 2003. Forest Mensuration. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.

- Hutapea PN. 2000. Keragaman jenis pohon komersil di areal kebun plasma nutfah pada HPH PT. Wapoga Mutiara Timber Unit I Wasior Kabupaten Dati II Manokwari [Skripsi].
- Khan D & Sahito ZA. 2012. *Eurema hecabe* (Linnaeus, 1758) [Lepidoptera: Pieridae], A serious seedling pest of *Acacia stenophylla* A. Cunn.Ex, Benth., in Karachi. *Int.J. Biol. Biotech.* 9(3):307-312.
- Kimmins J. 1987. *Forest Ecology*. New York: McMilan Publishing.
- Kjøller R, Bruns TD. 2002. Rhizopogon spore bank community within and among California pine forest. *Mycologia* 95(4):603-613.
- Lande RC and Shannon S. 1996. The role of genetic variation in adaptation and population persistence in a changing environment. *Evolution* 50:434-437. DOI: 10.2307/2410812
- Lee SL, Ng KKS, Saw LG, Norwati A, Salwana MHS, Lee CT, Norwati M. 2002. Population genetic of *Intsia bijuga* (Leguminosae) and genetic conservation of virgin jungle reserves in Peninsular Malaysia. *American Journal of Biology* 89(3):447-459.
- Lekitoo K, Nugroho JD, Metalmetry RCH. 2005. Analisis Vegetasi Pada Hutan Koridor Cagar Alam Pegunungan Tamrau Utara dan Suaka Margasatwa Jamusba-Medi Sorong. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* 11(4): 303-317.
- Lestari DP. 2011. Pola sebaran spatial jenis merbau (*Intsia* spp.) pada hutan primer dan hutan bekas tebangan di areal IUPHK-HA PT Mamberamo Alasmandiri Provinsi Papua [Skripsi]. Departemen Manajemen Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Ludwig JA & Reynolds JF. 1988. *Statistical ecology: A primer on methods and computing*. A Wiley-Interscience publication, New York. 337 Hal.
- Machmud R. 2003. Kultur in vitro pucuk *Intsia bijuga* O.K. dengan penambahan zat pengatur tumbuh Naphthelena Acetic Acid (NAA) dan Kinetin [Skripsi]. Manokwari: Fakultas Kehutanan Universitas Negeri Papua.
- Mahfudz 2013a. 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.
- Mahfudz 2013b. Hubungan antara keragaman dengan isoenzim dan pertumbuhan merbau. *Info BPK Manado* 3(2):103-112
- Mahfudz, Na'iem M, Sumardi, dan Hardiyanto EB. 2010. Analisis sistem perkawinan merbau (*Intsia bijuga* O.Ktze) berdasarkan penanda Isoenzim.

Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan. 4(2):109-116. DOI: 10.20886/jpth.2010.4.2.109-116

Mansur I. 2013. Teknik Silvikultur Untuk Reklamasi Lahan Bekas Tambang. Cetakan ke III. SEAMEO BIOTROP, Bogor.

Maran P. 2010. Potensi tegakan tinggal jenis komersil pada areal bekas tebangan blok RKT 2011. PT. Bade Makmur Orissa Kabupaten Boven Digul. Sripsi Fakultas Kehutanan Universitas Negeri Papua.

Mariska I, Hobir, Sukmajaya D. 1977. Penelitian kultur jaringan tanaman industry. Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian 16(2):37-42.

Marler TE & Guzman LC. 1996. Intsia bijuga is moderately tolerant of flooding. HortScience 31(4):649.

Marler TE. 2015. Balancing growth and wood quality of Intsia bijuga under management: complexity of silviculture conservation decisions. Journal of Tropical Forest Science 27(3):427-432.

Mirmanto E. 2009. Analisis vegetasi Hutan Pamah di Pulau Batanta, Raja Ampat, Papua. Jurnal Biologi Indonesia 6(1): 79-96

Misiro STU. 2013. Pendugaan potensi dan pola sebaran tegakan pada kawasan hutan pantai Distrik Manokwari Kabupaten Manokwari. [Skripsi]. Fahutan Unipa. Manokwari.

Moeljono S. Randalinggi, AB dan Bakhtiar. 2011. Laporan pelaksanaan survey inventarisasi dan identifikasi potensi unggulan jenis merbau Distrik Sukikai Selatan, Kabupaten Dogeyai, Provinsi Papua. Dinas Kehutanan dan Konservasi Provinsi Papua

Molina R, Massicotte HB, Trappe JM. 1992. Ecological role of specificity phenomena in ectomycorrhizal plant community: Potensial for interplant linkages and guild development. Di dalam: Read DJ, Lewis DH, Fitter AH, Alexander IJ, editor. Mycorrhizal in Ecosystem. Walingford: CAB International,. Hlm. 106-112

Narita S, Nomura M, Kato Y, Yata O, Kageyama D. 2007. Molecular phylogeography of two sibling species of *Eurema* butterflies. Genetica 131:241-253.

Nouhra ER, Horion TR, Cazares E, Castellano M. 2005. Morphological and molecular characterization of selected *Ramaria* mycorrhizae. Mycorrhiza 15:55-59

Nugroho JD. 1994. Litterfall and Soil Characteristics under plantation of Five Tree Species in Irian Jaya, Indonesia. Thesis. University of The Philippines at Los Banos, Philippines. 143 hal.

- Nugroho JD. 1997. Litterfall and soil characteristics under plantation of five tree species in Irian Jaya. *Science in New Guinea* 23(1):17-26.
- Nugroho JD. 2010. Peran mikoriza dalam regenerasi pohon merbau [Intsia bijuga (Colebr.) O. Kuntze] asal Papua. Disertasi Institut Pertanian Bogor: 214 hal.
- Nugroho JD. 2012. Kajian potensi dan prospek pengembangan merbau (Intsia spp) di Papua. Paper disampaikan pada Rakordabanghut Provinsi Papua di Asmat, Papua.
- Nugroho JD. 2011. Perkembangan pengetahuan silvikultur dan ekofisiologi merbau. Paper disampaikan pada Pertemuan Rapat Koordinasi Pengelolaan Konservasi Jenis Merbau di Papua Barat. Sekretaris Jenderal Pusat Pengendalian Pembangunan Kehutanan Regional IV.
- Nugroho JD, Mansur I, Purwito A, Suhendang E. 2013. Keberhasilan stek merbau [Intsia bijuga (Colebr.) O. Kuntze] menggunakan auksin (IBA/ NAA) dan inokulum ektomikoriza. *Prosiding Seminar Nasional I Silvikultur. Universitas Hasanudin Makasar*. Hal. 367-371.
- Nugroho JD. 2014. Intensitas kerusakan pohon merbau (Intsia bijuga (Colebr.) O. Kuntze) oleh ngengat Cossidae di Arboretum Fakultas Kehutanan, Universitas Papua Manokwari. *Prosiding Seminar Silvikultur II. Universitas Gajah Mada*. Hal. 658-662.
- Nurhasbi, Sudrajat DJ. 2009. Teknik penaburan benih merbau (Intsia bijuga) secara langsung di Hutan Penelitian Parung Panjang, Bogor. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman* 6(4):209-217.
- Okuda T, Kachi N, Yap SK dan Manokaran N. 1997. Tree distribution pattern, and fate of juvenile in lowland tropical forest – implications for regeneration and maintenance of species diversity. *Plant Ecology* 131:155-171.
- Ormuseray Y, Wanggai J, Saroy S, Sunardi, Sumiarto, Sutiana U. 2010. Laporan pelaksanaan survey inventarisasi dan identifikasi potensi unggulan jenis merbau di IUPHK PT. Diadyani Timber, Distrik Mimika Barat Jauh, Kabupaten Mimika, Provinsi Papua. Dinas Kehutanan dan Konservasi Pemerintah Propinsi Papua (tidak diterbitkan).
- Pamungkas P, Siregar IZ, Dwisutomo AN. 2018. Stand structure and species composition of merbau in logged-over forest in Papua, Indonesia. *Biodiversitas* 19(1):163-171.
- Pierik RLM. 1999. *In vitro culture of Higher Plants*. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publisher.

- Phillips GC, Hubstenberger JF, Hansen EE. 1995. Plant regeneration from callus and cell suspension cultures by somatic embryo. Di dalam: Gamborg OL, Phillips GC, editor. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture: Fundamental Methods*. Berlin: Springer-Verlag. Hlm. 81-90.
- [PROSEA] Plant Resources of South-East Asia. 1994. *Plant Resources of South-East Asia 5*. Di dalam: Leummans RHMJ, Soerianegara, Editor. (1) *Timber Trees: Major Commercial Timbers*. Bogor: PROSEA.
- Pudjiono S, Mahfudz. 2007. Perbanyak tanaman merbau dan upaya pengembangannya. Paper dipresentasikan pada Pertemuan Merbau tanggal 31 Juli 2007 di Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan Yogyakarta.
- Rao RV & Hodgkin T. 2002. Genetic diversity and conservation and utilization of plant genetic resources. *Plant Cell, Tissue & Organ Culture* 68:1-19. DOI:10.1023/A:1013359015812.
- Rettob BB, Purba L, Da Costa J, Joumilena A. 2008. Laporan pelaksanaan inventarisasi & identifikasi potensi hasil hutan/survei potensi unggulan jenis merbau di Kampung Takar, Distrik Pantai Timur Barat, Kabupaten Sarmi, Provinsi Papua Barat. Dinas Kehutanan Provinsi Papua, Jayapura
- Rimbawanto A & Widyatmoko AYPBC. 2006. Keragaman genetic empat populasi *Intsia bijuga* berdasarkan penanda RAPD & Implikasinya bagi program konservasi genetik. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman* 3(3):149-154.
- Rouchoudhury N, Chandra S, Singh RB, Barve SK, Das AK. 2015. New record of insect pests on seedlings of *Eucalyptus*. *Indian Journal of Forestry* 38(2):117-124.
- Sabarofek DA. 2010. Potensi tegakan merbau (*Intsia spp*) pada areal bekas tebangan IUPHK PT. Megapura Mambramo Bangun di Distrik Isim Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat. Skripsi Fakultas Kehutanan Universitas Negeri Papua.
- Sartiami D. 2006. Keberadaan *Dysmicoccus brevipes* (Cockerell) (Hemiptera: Pseudococcidae) sebagai vektor Pineapple Mealybug Wilt-associated virus (PMWAV) pada tanaman Nenas. *J.II. Pert.Indon.* 11(1):1-6
- Setioharnowo, J.P. 1984. Perubahan Distribusi Diameter Pohon Komersil Pada Pembalakan di Petak Tebang Mandopi Kompleks Hutan Pami PT Inhutani II Manokwari [Skripsi]. Fakultas Pertanian Peternakan dan Kehutanan, Universitas Cenderawasih, Manokwari.
- Schmidt L. 2002. Pedoman Penanganan Benih Tanaman Hutan Tropis dan Subtropics 2000. Jakarta: Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial, Departemen Kehutanan.

- Schneider T, Aston MS, Montagnini F, Milan PP. 2013. Growth performance of sixty tree species in smallholder reforestation trials on Leyte, Philippines. *New Forest* DOI10.1007/s11056-013-9393-5.
- Schwarz OJ, Sharma AR, Beaty RM. 2005. Propagation from non-meristematic tissue: organogenesis. Di dalam: Trigiano RN, Gray DJ, editor. *Plant Development and Biotechnology*. New York: CRC Press. Hlm. 159-171.
- Siaguru P. 1992. Effect of shade on growth of lowland forest tree seedlings in Papua New Guinea. Dissertation, University of Aberdeen.
- Silvertown J & Charlesworth D. 2001. Introduction to plant population biology. 4th ed. Blackwell Science, London. 347 hal.
- Sims KS, Sen R, Watling R, Jeffries P. 1999. Species and population structures of *Pisolithus* and *Scleroderma* identified by combined phenotypic and genomic marker analysis. *Mycol. Res* 103 (4): 449-458
- Simangunsong EM, Riniarti M & Duryat 2006. Upaya perbaikan pertumbuhan bibit merbau darat (*Intsia palembanica*) dengan naungan dan pemupukan. *Jurnal Silva Lestari* 4(1):81-88.
- Sirami EV, Marsono D, Sadono R, Imron MA. 2019. Typology of native species as the shade tree for merbau (*Intsia bijuga*) plantation in Papua, Indonesia based on ecological species group. *Biodeiversitas* 20(1):43-53.
- Sirami EV, Marsono D, Sadono R, Imron MA. 2018. Ideal planting space for merbau (*Intsia bijuga*) forest plantations in Papua based on distance-dependence competition. *Biodeiversitas* 19(6):2219-2231.
- Smith SE & Read DJ. 2008. *Mycorrhizal symbiosis*. New York: Academic Press
- Spurr SH & Barnes BV. 1980. *Forest ecology*. 3rd Ed. John Wiley & Sons, New York. 687 hal.
- Sukendro A, Mansur I & Trisnawari R. 2010. Studi pembiakan vegetatif *Intsia bijuga* (Colebr.) O.K. melalui grafting. *Jurnal Silvikultur Tropika* 01(01):6-10.
- Suripatty BA, Maai RR, Leppe D, Seran D, dan Yafit B. 2001. Silvikultur Jenis Beberapa Jenis Andalan Penghasil Kayu dan Bukan Kayu di Papua. Prosiding Lokakarya Ekspose Hasil-Hasil Penelitian Balai Penelitian Kehutanan Manokwari Tahun 2001. BPK Manokwari. Hlm 101 -117.
- Tedersoo L, Suvi T, Beaver K, Kõljag U. 2007. Ectomycorrhizal fungi of the Seychelles: diversity patterns and host shifts from the native *Vateriopsis seychellarum* (Dipterocarpaceae) and *Intsia bijuga* (Caesalpiniaceae) to the introduced *Eucalyptus robusta* (Myrtaceae) but not *Pinus caribaea* (Pinaceae). *New Phytol* 175:321-333.

- Thaman RR, Thomas LAJ, DeMeon R, Areki F, Elevich CR. 2004. Intsia bijuga (Vesi). Di dalam: Elevich CR, editor. Species Profile for Pacific Islands Agroforestry.[Terhubung berkala]. <http://www.traditional tree.org> [25 Apr 2005]
- Tokede MJ, Mambai BV, Pangkali LB, dan Mardiyadi Z. 2013. "Antara opini dan fakta kayu merbau, Jenis niagawi hutan tropika Papua primadona yang dikhawatirkan punah. WWF-Indonesia.
- Tuheteru FD, Mansur I, Wibowo C. 2011. Pengaruh teknik pembenihan langsung dan penyiangan terhadap pertumbuhan awal merbau (Intsia bijuga OK.). *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 8(3): 227-236.
- Untarto TM. 1998. Merbau Jenis Andalan yang Unggul (AYU) Irian Jaya. Informasi Teknis Balai Penelitian Kehutanan Manokwari No. 5.
- Van Mastrigt H, Mambrasar R, Ramandey E dan Piran I. 2010. Buku panduan lapangan kupu-kupu untuk wilayah Kepala Burung termasuk Pulau-pulau Provinsi Papua Barat. Kelompok Entomologi Papua, Jayapura. 196 Hal.
- Van Mastrigt H & Rosariyanto E.2005. Buku panduan lapangan kupu-kupu untuk wilayah Mamberamo sampai Pegunungan Cyclops. Conservation International-Indonesia Program, Jakarta. 146 Hal.
- Virginia RA. 1986. Soil developmen under legume trees canopies. *For.Ecol. Mgmt.* 16:66-79.
- Von Arnold S, Sabala I, Bozhkov P, Dyachok J, Filonova L. 2002. Developmental pathways of somatic embryogenesis. *Plant Cell, Tissue and Organ Cult* 69:233-249.
- Waimbo 2013. Perkecambahian biji dan pertumbuhan anakan merbau (Intsia bijuga O.K) pada kondisi naungan dengan posisi pembenaman yang berbeda [Skripsi]. Fakultas Kehutanan Universitas Papua, Manokwari
- Wann SR. 1988. Somatic embryogenesis in woody species. *Hort Rev* 10:153-181.
- Wanggai IJ. 2007. Demografi jenis-jenis merbau (Intsia spp.) di HutanTaman Wisata Alam Gunung Meja. Skripsi, Fahutan Unipa, Manokwari.
- Watimena GA et al. 1992 Bioteknologi Tanaman. Bogor: PAU-Bioteknologi IPB.
- Watling R, Lee SS, Turnbull E. 2002. The occurrence and distribution of putative ectomycorrhizal basidiomycetes in regenerating south-east asian rain forest. Di dalam: Watling R, Frankland AM, Isaac S, Robinson CH, editor. *Tropical Mycology, Volume I: Macromycetes*. CABI Publishing, New York. Hal. 25-53.

- Watofa M. 2014. Identifikasi Serangga Perusak Batang Merbau (*Intsia bijuga* OK). [Skripsi] Fakultas Kehutanan Universitas Negeri Cenderawasih. Manokwari.
- Way Y, Sinclair L, Hall IR, Cole ALJ. 1995. *Boletus edulis* Semen Lato: a new record for New Zealand. *NZ J Crop Hort Sci* 23:227-231.
- White TL, Adams WT dan Neale DB. 2007. *Forest Genetics*. CABI Publishing, Wallingford. 682 hal.
- Wong KN, Tan WL, Che FE. 2009. Identification and characterization of microsatellite loci in *Intsia palembanica* (Leguminosae), a valuable tropical timber species. *Molecular Ecology Resources* 9(1):360-364. doi: 10.1111/j.1755-0998.2008.02491.x
- Wulandari AS. 2002. Beberapa gatra biologi ektomikoriza *Scleroderma* pada melinjo. [Disertasi]. Bogor: Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Wurzburger N, Bidartondo MI, Bledsoe CS. 2001. Characterization of *Pinus* ectomycorrhizas from mixes conifer and pygmy forest using morphotyping and molecular methods. *Can J Bot* 79:7211-721.
- Yarangga AA. 2013. Studi persebaran *Intsia* spp. (Fabaceae) di kawasan Papuaasia [Tugas Akhir]. Program Studi D-III Konservasi Sumberdaya Hutan, Fakultas Kehutanan Universitas Papua.
- Yudohartono TP. 2008. Variasi genetik beberapa populasi merbau (*Intsia bijuga* O. Ktze). Berdasarkan penanda isoenzim. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan* 2(3):1-7.
- Yuniarti N. 2002. Metode penyimpanan benih merbau (*Intsia bijuga* O. Kutze). *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* Vol. VIII No.2:89-95



Profil Penulis

Julius Dwi Nugroho

Dr. Ir. Julius Dwi Nugroho, M.Sc berkarya sebagai dosen di Fakultas Kehutanan Universitas Papua Manokwari sejak tahun 1987. Sejak tahun 2010 penulis dipercaya untuk menjabat sebagai Kepala Laboratorium Silvikultur di Fakultas Kehutanan Universitas Papua. Pendidikan dasar hingga menengah diselesaikan di Kota Jayapura, Papua. Gelar sarjana kehutanan diperoleh dari Fakultas Pertanian, Peternakan dan Kehutanan (FPPK) Universitas Cenderawasih di Manokwari pada tahun 1986. Setelah memperoleh gelar sarjana, penulis bekerja sebagai dosen di Universitas yang sama pada tahun 1987 yang kemudian berubah nama menjadi Universitas Papua di Manokwari. Penulis memperoleh gelas Master of Science di bidang Silvikultur dari Departement of Silviculture and Forest Influences, University of the Philippines at Los Baños, Filipina pada tahun 2004 dengan topik thesis tentang siklus unsur hara pada lima jenis pohon asal Papua. Pada tahun 2010 penulis memperoleh gelar doktor dari Program Studi Ilmu Kehutanan Sekolah Pascasajana IPB, dengan topik disertasi tentang regenerasi merbau asal Papua. Penulis menekuni bidang silvikultur dengan menekankan pada pengembangan jenis-jenis tumbuhan endemik Papua. Penulis banyak terlibat sebagai pembahas proposal maupun hasil penelitian Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Manokwari. Banyak hasil tulisan telah diterbitkan di beberapa jurnal ilmiah. Penulis juga merupakan anggota aktif dari Masyarakat Silvikultur Indonesia (MasSI), Asosiasi Mikoriza Indonesia (AMI) dan Perhimpunan Mikologi Indonesia (Mikoina).



Biodata Singkat

Irdika Mansyur

Dr. Ir. Irdika Mansur, M.For.Sc. adalah Dosen di Departemen Silvikultur Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Institut Pertanian Bogor (IPB University) yang saat ini juga mengemban tugas sebagai Direktur SEAMEO BIOTROP lembaga penelitian dan pengembangan biologi tropika Asia Tenggara dibawah Organisasi Menteri-menteri Pendidikan negara-negara Asia Tenggara berkedudukan di Bogor. Dr Irdika menyelesaikan Sarjana Kehutanan di Fakultas Kehutanan IPB pada tahun 1988, memperoleh gelar Master of Forestry Science dari School of Forestry-University of Canterbury at Christchurch New Zealand pada tahun 1994 dengan topik penelitian Silvopastura (kombinasi antara hutan dengan peternakan) dan menyelesaikan program doktor di Department of Biosciences-University Kent at Canterbury Inggris tahun 2000 dengan topik penelitian kombinasi Rhizobium dan Mikoriza, bioteknologi yang bermanfaat untuk rehabilitasi hutan dan lahan terdegradasi.

Dr Irdika Mansur telah terlibat dalam program rehabilitasi hutan dan pelestarian jenis-jenis pohon unggulan lokal melalui kegiatan reklamasi lahan bekas tambang maupun Corporate Social Responsibility (CSR). Berbagai jenis pohon lokal bernilai ekonomi tinggi, diantaranya eboni, merbau, meranti dll. telah dikembangkan di lahan bekas tambang, juga di taman hutan raya, kawasan industri dan perumahan bekerjasama dengan perusahaan dalam rangka pelaksanaan program CSR. Dr Irdika Mansur bersama mahasiswa bimbingan program Sarjana, Master, dan Doktornya dari berbagai daerah terus berupaya meneliti dan mendorong pembudidayaan jenis-jenis pohon lokal dari daerah mana para mahasiswa bimbingan berasal, seperti merbau, gaharu, dan matoa (Papua), cendana (NTT), gosale (Maluku), kayu kuku, biti, dan longkida (Sulawesi Tenggara), kenanga (Jawa Timur), damar mata kucing (Lampung), dll.

Dr Irdika telah menulis beberapa buku, diantaranya Buku Teknik Silvikultur Untuk Reklamasi Lahan Bekas Tambang yang diantaranya berisi jenis-jenis pohon yang dapat ditanam serta teknik budidayanya di lahan bekas tambang, Buku Kayu Jabon yang berisi pengenalan jenis pohon jabon, teknik budidaya, dan pemanfaatannya, dan Buku Bisnis Dan Budidaya 18 Kayu Komersial yang berisi pilihan jenis-jenis pohon dan teknik budidayanya untuk di berbagai kondisi lahan, baik lahan basah maupun kering.



**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN DAERAH
PROVINSI PAPUA BARAT**

Gedung Kantor Gubernur Sayap 1 Lt. 2 dan 3
JL. Brig. Jen. Mar. (Purn) Abraham O. Atururi Arfai Manokwari
Papua Barat 98312



<http://balitbangda.papuabaratprov.go.id>



@balitbangdaPap1



Balitbangda Papua Barat



balitbangda_papua_barat