

LAPORAN PELAKSANAAN KEGIATAN PENELITIAN FUNDAMENTAL

JUDUL:

Kajian model suksesi sekunder alami ekosistem mangrove:
sebuah uji lapangan pada lahan mangrove bekas tambak di Desa
Tiwoho, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara

Oleh:

DR. Ir. Rignolda Djamaluddin, MS (Ketua)
DR. Ir. Gybert, E. Mamuaya, DAA (Anggota)

**Dibiayai dari Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Nomor: 0125.0/023-
04.2/XXVII/2009 tanggal 31 Desember 2008 tahun Anggaran 2009 Satuan Kerja
Universitas Sam Ratulangi Departemen Pendidikan Nasional**

**LEMBAGA PENELITIAN
UNIVERSITAS SAM RATULANGI
MANADO
2009**

HALAMAN PENGESAHAN

1. **Judul Penelitian:** "Kajian proses suksesi sekunder alami ekosistem mangrove: sebuah uji lapangan pada lahan mangrove bekas tambak di Desa Tiwoho, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara"
2. **Ketua Peneliti**
 - a. Nama Lengkap : DR. Ir. Rignolda Djamaluddin, MS.
 - b. Jenis Kelamin : L
 - c. NIP : 19670321 199103 1 006
 - d. Pangkat/Golongan : Lektor/IIIc
 - e. Jabatan Fungsional : -
 - f. Fakultas / Jurusan : FPIK / MSP
 - g. Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi
 - h. Pusat Penelitian : Lembaga Penelitian
3. **Jumlah Tim Peneliti:** 2 orang
4. **Lokasi Penelitian:** Lahan mangrove bekas tambak di Desa Tiwoho, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara
5. **Kerjasama Dengan Institusi Lain**
 - a. Nama Instansi : Perkumpulan KELOLA
 - b. Alamat : Jl. Santo Josep No 56, Kleak Lingkungan IV, Manado
6. **Masa Penelitian** : 2 tahun
7. **Pembiayaan**
 - a. Usul Biaya Tahun I : Rp. 37.300.000
 - b. Usul Biaya Tahun II : Rp. 39.250.000
 - c. Usul dari Instansi lain (Rufford Small Grant) : diusulkan sebesar Rp. 50.000.000 untuk pemeliharaan lahan restorasi.

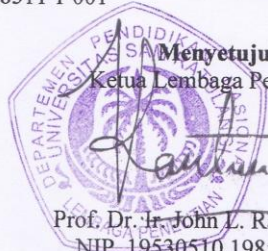


Mengetahui,
Dekan FPIK, Unsrat

Prof. Ir. K. W. A. Masengi, M.Sc, Ph.D
NIP. 19580613 198511 1 001

Manado, Mei 2008
Ketua Peneliti,

Dr. Ir. Rignolda Djamaluddin, Ms
NIP. 19670321 199103 1 006



Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian,

Prof. Dr. Ir. John L. Rantung, MS.
NIP. 19530510 198503 1 003

I. PENDAHULUAN

Awalnya disain penelitian direncanakan untuk menguji teknik rehabilitasi mangrove dengan cara memperbaiki kondisi hidrologi lahan seperti yang pernah dilakukan oleh Lewis dan Marshall (1997). Lahan mangrove bekas tambak seluas sekitar 12 ha di Desa Tiwoho diperbaiki kondisi hidrologinya, diamati dan dievaluasi perubahan fisik pada lahan yang terjadi serta tingkat keberhasilan perkembangan alami spesis mangrove. Hasil pengamatan dan evaluasi telah dilaporkan dalam beberapa dokumen (Kabes, 2002; Buhang, 2005; Djamaluddin, 2005 dan 2007; Padati, 2006.).

Dalam perkembangannya, peneliti melihat sebuah peluang besar untuk mengungkap sebuah model suksesi sekunder alami yang berlaku pada ekosistem mangrove. Lahan mangrove di Desa Tiwoho yang telah direstorasi menyediakan sebuah laboratorium lapangan yang ideal untuk mendukung pengamatan berlangsungnya sebuah proses suksesi sekunder alami.

Pengamatan awal menunjukkan bahwa suksesi sekunder alami pada lahan mangrove yang direstorasi dikontrol oleh faktor kondisi sedimen. Suksesi sekunder mulai berlangsung, difasilitasi oleh sejumlah spesis tertentu dan terbatas pada beberapa kondisi substrat. Pengamatan secara saksama dan analisis mendalam terhadap dinamika kondisi substrat dan pertumbuhan alami mangrove yang tengah berlangsung akan menghasilkan sebuah informasi lengkap dan mendalam berupa model suksesi sekunder alami ekosistem mangrove. Model ini tidak hanya penting bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya ekologi mangrove tetapi juga merupakan referensi penting dalam pengambilan keputusan pengelolaan dan perbaikan ekosistem mangrove.

II. TINJAUAN PUSTAKA

1. Definisi Mangrove

Kata 'mangrove' pertama kali digunakan untuk mendefinisikan tumbuhan dan komunitas, serta untuk menggambarkan komponen tumbuhan penyusun komunitas hutan rapat di daerah intertidal perairan pantai tropis (tropical intertidal closed forest community). Untuk menghindari terjadinya kebingungan secara kontekstual, sejumlah penulis mengkualifikasikan kata mangrove dalam bentuk berbeda seperti tumbuhan mangrove (mangrove plant) atau komunitas mangrove (mangrove community) (Tomlinson, 1986). Sementara itu, 'mangal', sebuah ungkapan yang diperkenalkan oleh Macnae (1966), digunakan ketika menjelaskan sesuatu komunitas yang dibentuk oleh spesies mangrove. Namun, ungkapan tersebut tidak populer lagi digunakan sekarang ini.

Darimanapun kata mangrove berasal, apakah kata tersebut diturunkan dari 'mangle grove' yang mungkin berkaitan dengan *Rhizophora mangle* (spesies mangrove yang tumbuh di daerah sub-tropis Amerika dan Pantai Atlantik Afrika), atau berasal dari kosa kata lama Malay 'mangin' atau 'manggi-manggi' (Claridge dan Burnett, 1993), atau mungkin berasal dari bahasa nasional Senegal 'mangue' (Vannuci, 1998), kata mangrove sekarang ini diaplikasikan untuk menjelaskan sebuah kelompok kecil jenis tumbuhan tingkat tinggi, atau keseluruhan komunitas tumbuhan, yang secara istimewa berhasil mengkolonisasi habitat intertidal yang terletak di antara daratan dan laut (Clough, 1979 dan Duke, 1992).

Banyak hal menarik tentang mangrove, karena ternyata dari segi asal katapun masih terjadi silang pendapat. Demikian halnya dengan pandangan tentang asal mula atau tempat pertama mangrove tumbuh, dimana hingga kini tak satupun pandangan tentang hal tersebut dapat diterima secara universal.

2. Pembuangan, Penyebaran Propagule/Buah/Biji, Germinasi, Establismen

Meski disadari bahwa pemahaman terhadap keberhasilan penyebaran dan establismen mangrove harus didukung oleh pengetahuan tentang mekanik bunga dan mekanisme pengisolasian genetik, namun tak banyak informasi yang berhasil

diungkap berkaitan dengan aspek-aspek tersebut. Saat dilepaskan, benih atau propagule mangrove banyak yang dapat mengapung, dan hal ini menunjukkan betapa pentingnya peran air dalam penyebaran propagule. Pada beberapa spesies mangrove lainnya bahkan terjadi modifikasi pada propagule sehingga mereka dapat mengapung. Bila menemukan habitat yang cocok, benih mangrove akan segera tumbuh, sementara sebagian lainnya juga memiliki kemampuan untuk mengapung kembali. Lokasi tumbuh benih mangrove bervariasi menurut spesies, ada yang tumbuh tepat di bawah pohon induk dan ada pula yang tersebar hingga beberapa ratus meter bahkan sebagian lainnya tersebar sangat jauh.

A. Pembungaan (Flowering)

Pengetahuan tentang efektivitas mekanik bunga dan mekanisme pengisolasian genetik sangat penting dalam rangka memahami keberhasilan penyebaran dan establismen spesies tumbuhan (Tomlinson, 1986). Namun, sangat disayangkan bahwa hingga kini hanya sedikit yang diketahui tentang biologi flora, penyerbukan (pollination), dan mekanisme perkebangbiakan (breeding mechanism) pada mangrove.

Primack and Tomlinson (1980) telah melakukan analisis terhadap deferensiasi seksual dan mekanisme floral pada mangrove. Mereka menemukan suatu kecenderungan bahwa pada mangrove berlaku mekanisme 'outbreeding'. Kebanyakan mangrove bersifat hermaphrodit (85%), monoecy sangat tidak umum (11%), dan dioecy jarang ditemukan (4%). Inflorescence pada *Nypa* sangat jelas bersifat protogynous; dengan hanya satu bunga fungsional terdapat pada percabangan vegetatif. Sebelum pollen dilepaskan pada ujung bunga lateral oleh bunga jantan copious, bunga betina telah terlebih dahulu terbuka dan siap menerima. Berbeda dengan bunga jantan dan betina pada *Nypa* yang jelas bersifat dimorphic, bunga jantan dan betina pada *Xylocarpus* sulit dibedakan (hampir sama). *Phempis* merupakan salah satu diantara sedikit jenis mangrove dengan bunga yang sempurna (floral dimorphism associated with incompatibility). *Avicennia* dan *Scyphiphora* tercatat memiliki derajat dichogamy berbeda-beda (biasanya protandry), sementara protandry tercatat lemah pada Rhizophoraceae.

Secara umum, mekanisme pemindahan pollen dari satu bunga ke bunga lainnya diperankan oleh hewan penyerbuk (pollinator) yang terdiri dari berbagai spesies. Generalisasi ini mungkin tak dapat diaplikasikan untuk *Rhizophora* dimana penyerbukan dibantu oleh angin (Tomlinson, 1986). Beberapa faktor seperti ratio pollen/ovule yang tinggi, ketidakhadiran bau penarik (attractive odour), dan ketidakhadiran alternatif imbalan selain pollen bagi hewan penyerbuk, dipertimbangkan sebagai alasan terjadinya penyerbukan dengan bantuan angin tersebut. Sementara itu, ditambahkan oleh Hogarth (1999) bahwa bunga pada mangrove yang menghasilkan nectar dalam jumlah besar adalah sangat mungkin diserbuki oleh hewan. Kelelawar (Tomlinson, 1980) dan kupu-kupu hawk (Primack dkk., 1981) dilaporkan mengunjungi bunga *Sonneratia*. Pengunjung bunga yang sangat umum yakni lebah, teramati mengunjungi bunga *Achantus*, *Aegiceras*, *Avicennia*, *Excoecaria*, dan *Rhizophora*. Burung yang mengunjungi bunga *Bruguiera gymnorhiza* pernah dilaporkan oleh Davey (1975) dan Tomlinson (1986). Sebagai informasi, berbagai jenis pengunjung bunga pada Rhizophoraceae telah dikenal dan didaftarkan oleh Tomlinson (1986), dan untuk jenis mangrove lainnya telah didaftarkan oleh Aluri (1990).

B. Penyebaran Propagule/Buah/Biji

Hampir semua spesies mangrove menghasilkan propagule yang dapat mengapung (water-borne propagules), dan ini menunjukkan peran penting air bagi penyebarannya (Duke dkk., 1998). Pada kebanyakan Rhizophoraceae seperti yang dicatat oleh Tomlinson (1986), benih yang berkembang secara viviparous merupakan suatu kesatuan penyebaran (unit of dispersal). Benih seperti ini dikeluarkan dari cotyledon dan kemudian tetap tinggal bersama buah pada spesies *Ceriops*, *Kandelia*, dan *Rhizophora*. Pada *Bruguiera*, satuan penyebaran menjadi lebih kompleks disebabkan karena buah dikeluarkan bersama dengan benih. Buah berbentuk kapsul terdapat pada sejumlah spesies mangrove seperti *Acanthus*, *Aegialitis*, *Excoecaria*, dan *Xylocarpus*. Pada spesies mangrove tersebut, satuan penyebaran yakni berupa biji secara individual. Setiap kapsul pada *Acanthus* terdiri dari empat buah biji berbentuk cakram dan pipih sehingga membantu paling tidak tambahan jarak tempuh sebaran hingga 2 meter pada saat lepas. Kapsul keras pada *Xylocarpus* sering

merekah/pecah ketika masih berada di pohon induk untuk melepaskan biji-biji berbentuk sudut runcing (angular seeds). Buah pada *Sonneratia* masih berwarna hijau ketika jatuh tetapi segera setelah itu calyx akan memisah. Secara umum, pada saat agen penyebaran berupa biji atau buah, maka akan terjadi modifikasi pada bagian tertentu propagule untuk memfasilitasi terjadinya pengapungan (floatation). Beberapa modifikasi tersebut antara lain: testa berupa gabus dan tebal pada *Xylocarpus*, mesocarp pada spesies lainnya seperti *Heritiera*, *Lumnitzera*, *Nypa*, dan *Scyphiphora* biasanya merupakan bagian dinding buah berserat (fibrous).

Sejumlah faktor dapat bersifat membatasi efektifitas penyebaran bagi setiap jenis mangrove (Duke dkk., 1998). Faktor-faktor tersebut antara lain yakni:

1. Lama waktu propagule mengapung dan tetap mampu hidup,
2. Laju aliran arus permukaan,
3. Kondisi air,
4. Ketersediaan habitat yang cocok.

Hasil pengamatan pada berbagai jenis propagule menunjukkan bahwa lama waktu mengapung berbeda-beda mulai dari beberapa hari seperti pada *Laguncularia* dan *Avicennia marina*, hingga beberapa bulan seperti pada *Avicennia germinans* dan *Rhizophora* spp. (Steinke, 1975 dan 1986; Rabinowitz, 1978). Untuk sejumlah spesies mangrove lama apung ternyata menjadi lebih panjang saat berada di air laut dibandingkan air tawar, tetapi pada *Avicennia* lama apung menjadi lebih pendek saat berada di air payau dibandingkan dengan air laut maupun air tawar (Rabinowitz, 1978). Lama waktu mengapung dapat pula meningkat sejalan dengan meningkatnya temperatur air (Steinke dan Naidoo, 1991). Di laut, laju dan arah arus permukaan berubah secara nyata menurut iklim, kondisi cuaca, musim, dan perubahan tahunan. Temperatur yang rendah dan keterbatasan habitat yang cocok dapat pula mempengaruhi kemampuan hidup propagule serta keberhasilan establismen (Duke dkk., 1998).

C. Germinasi dan Establismen

Pertunasan atau germinasi pada mangrove dapat dibagi ke dalam dua tipe utama yakni: germinasi hypogeal (cotyledon tidak membesar dan terbuka) dan

germinasi epigeal (cotyledon membesar dan terbuka). Diantara kedua tipe tersebut terdapat bentuk spesialisasi atau modifikasi lain seperti yang dikenal dengan 'tipe *Rhizophora*' (Tomlinson, 1986). Hal umum yang berlaku bahwa terdapat suatu korelasi sederhana antara tipe germinasi dan ukuran biji. Biji dengan germinasi epigeal biasanya kecil, sementara mereka dengan germinasi hypogeal umumnya lebih besar. Namun demikian, generalisasi tersebut ternyata tidak selalu benar karena ternyata anakan yang besar pada *Avicennia* memiliki germinasi epigeal. Untuk informasi lebih lengkap menyangkut tipe germinasi dan ukuran biji pada berbagai spesies mangrove dapat dilihat dalam Tomlinson (1986).

Vivipary (termasuk cryptovivipary) merupakan topik yang relevan dibahas berkaitan dengan proses germinasi pada mangrove. Tomlinson (1986) menekankan bahwa vivipary pada mangrove harus dipertimbangkan sebagai sebuah proses kontinu dari perkembangan biji yang normal, meskipun proses tersebut mungkin terhenti sementara selama periode istirahat (dormancy) yang dapat berlangsung singkat maupun lama. Ditambahkan oleh Juncosa (1982) bahwa tahapan istirahat dapat tidak berlaku pada vivipary tulen (true vivipary) dalam kondisi pengecualian (exceptional condition). Embrio yang dihasilkan dari proses reproduksi seksual normal segera tumbuh keluar dari pembungkus dan selanjutnya keluar dari buah ketika masih berada di pohon induk. Jadi, propagule (organ propagasi) bukanlah berupa biji melainkan benih (seedling). Tipe perkembangan benih seperti ini merupakan ciri khusus bagi sejumlah jenis mangrove, dan ini juga berlaku bagi keseluruhan suku Rhizophoreae dan famili Rhizophoraceae. Bagi sejumlah spesies mangrove, embrio muncul dari kantong biji tetapi tidak muncul dari buah (dikenal dengan istilah cryptovivipary) sebelum embrio tersebut berkembang lebih besar. Bentuk perkembangan seperti ini ditemukan pada *Aegiceras*, *Avicennia*, *Nypa*, dan *Pelliciera*. Sebagai contoh, plumule keluar dari buah pada *Nypa* ketika ia dilepaskan (Tomlinson, 1986).

Bagi semua biji tanaman, establismen merupakan tahapan kritis dalam siklus hidup mereka. Berbagai kondisi edaphic (berkaitan dengan substrat) dan faktor pasang-surut di dalam lingkungan mangrove dapat membatasi establismen atau keberhasilan hidup benih mangrove. Kebanyakan propagule mangrove

membutuhkan waktu 5 hingga 10 hari untuk mengembangkan sistem perakaran yang menancap (anchoring root system) (Rabinowitz, 1978), dan umumnya semua propagule memperlihatkan pertumbuhan akar setelah 40 hari (Banus dan Kolehmainen, 1975). Rabinowitz (1978) juga menemukan bahwa waktu perakaran hanya sedikit berbeda antar jenis propagule yang berada di air laut dan air tawar, dan bahwa sejumlah benih ternyata mampu mengapung kembali setelah sebelumnya mereka tenggelam.

Jarak dimana propagule mangrove disebarkan dan kemudian siap tumbuh telah dipelajari pada beberapa spesis. Sebagai contoh, propagule *Avicennia*, ditemukan tertancap dalam jarak 2 km dari sumbernya, dan kebanyakan mereka berada dalam jarak 500 m dari pohon induk. Hal yang jelas berbeda terjadi pada propagule *Ceriops* dimana paling sedikit 75% propagule tertancap dan mulai tumbuh dalam jarak 1 m dari pohon induk, dan kira-kira 91% berada dalam jarak 3 m (Hogarth, 1999). Berbeda dengan propagule *Ceriops*, hanya 2% propagule *Kandelia* siap tumbuh langsung di bawah pohon induk, kira-kira 12% berada dalam jarak 50 m, dan kebanyakan diantara mereka tidak ditemukan dan diasumsikan tersebar dalam jarak yang jauh (Clarke, 1993; McGuinness, 1997).

3. Distribusi Spasial

Tiga faktor utama berikut merupakan penentu kehadiran mangrove di berbagai situasi, yakni; geofisik, geomorfik, dan biologik. Faktor geofisik meliputi berbagai tenaga/energi fisik yang beroperasi mulai dari skala global (contohnya; atmosferik, sirkulasi oseanik, proses-proses geofisik yang semuanya mempengaruhi sejarah kontinental, dan pergeseran tektonik daratan dan muka laut) hingga skala regional (contohnya; parameter mesoklimatik, geologi basin drainase, dan proses-proses fisika marin seperti regim pasang-surut dan gelombang). Interaksi dari berbagai energi tersebut menghasilkan karakter geomorfik di suatu tempat tertentu (locality) (Thom, 1982).

Perubahan muka air laut yang disebabkan oleh suatu kombinasi pergeseran daratan dan muka air laut merupakan salah contoh produk interaksi antar energi. Sebagaimana diketahui bahwa setiap tempat memiliki sejarah tingkat muka air laut

tertentu yang dihasilkan dari suatu interaksi perubahan global volume air samudera dan pergerakan oseanik dan kontinental. Faktor geofisik lainnya yang berpengaruh adalah pola iklim dan regim pasang-surut. Meskipun hubungan langsung antara parameter iklim dan distribusi mangrove ternyata tidak mudah ditentukan, tetapi banyak fakta menunjukkan bahwa iklim mikro dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman melalui berbagai cara. Regim iklim juga mempengaruhi variabiliti masukan air tawar melalui sungai (river run-off), konsekuensinya terhadap suplai sedimen, dan tentu saja mempengaruhi regim salinitas suatu daerah dimana mangrove tumbuh. Faktor pertukaran air laut melalui pasang-surut, dan konsekuensinya terhadap tingkat perendaman (inundation) dan pembukaan (exposure) pada substrat mangrove, dapat mempengaruhi kondisi lingkungan (environmental setting) dimana mangrove tumbuh (Thom, 1982).

Faktor lingkungan yang ke-dua, geomorfik, dapat mempengaruhi mangrove melalui berbagai cara (Thom, 1982). Pada tingkat makro terdapat dua kelas bentuk lahan berdasarkan proses deposisi yang berlaku. Kelas pertama meliputi daerah dimana bentuk lahan pantai merupakan hasil pengendapan sedimen terrigenous yang dibawa melalui sungai atau berasal dari laut (contohnya; delta sungai, penghalang pantai, dan lagoon). Bentuk lahan ke-dua meliputi daerah dimana akumulasi sedimen berasal dari pertumbuhan *in situ* terumbu karang atau berasal dari material klastik karbonat (carbonate clastic materials) atau presipitasi (precipitate). Pada tingkatan selanjutnya, bahwa di daerah pantai terdapat bentukan lahan yang secara keseluruhan merupakan produk dari proses-proses spesifik yang berlaku secara lokal. Delta merupakan salah satu contoh dari hal tersebut (Galloway, 1975), dimana bentuk lahan seperti ini dapat hadir sebagai delta yang didominasi oleh gelombang, sungai, atau proses pasang-surut.

Di wilayah pantai, gradien lingkungan berhubungan erat dengan semua faktor berikut: elevasi atau kemiringan muka daratan, drainase dan stabilitas yang sangat tergantung pada kondisi substrat atau sedimen seperti tekstur, komposisi dan struktur, serta input nutrien. Setiap jenis mangrove memberi respon berbeda terhadap kehadiran topografi mikro sebagai bentuk lahan khusus seperti penghalang di tepian sungai (river levee) atau jembatan pantai (beach ridge). Menurut Thom

(1982), pada suatu kondisi dimana habitat bersifat spesifik, akan hadir mangrove tertentu sebagai respon terhadap kondisi yang menekan.

Pada skala geomorfologik lokal, mangrove sering ditemukan berasosiasi dengan salah satu dari ke-enam kelas kategori geomorfik utama sebagaimana digambarkan oleh Pernetta (1993). Penjelasan ke-enam kelas kategori tersebut adalah didasarkan pada generalisasi kondisi lingkungan seperti yang dikemukakan oleh Thom (1982) dan Huchings dan Saenger (1987). Ke-enam kelas kategori tersebut adalah:

1. Rataan alluvial; dimana air tawar dan sedimen input bersifat dominan,
2. Rataan pasang-surut; dimana pengaruh pasang-surut lebih besar dibandingkan pada rataaan alluvial,
3. Penghalang (barrier) dan lagoon; kondisi lingkungan dicirikan oleh hadirnya beting di laut (offshore shoal),
4. Pantai berbatu yang tenggelam (transgressed bedrock coast),
5. Pantai karang; dimana sedimen mangrove hadir dalam bentuk karbonat, humus autochthonous atau substrat terkonsolidasi.

Ditambahkan oleh Thom (1967, 1982) bahwa distribusi mangrove di suatu tempat yang bersifat lokal tidak dapat dipisahkan dengan keanekaragaman pantai itu sendiri. Secara khusus ia menyarankan bahwa daerah dengan tingkat diversitas yang tinggi memiliki suatu pola distribusi mangrove yang kompleks.

Faktor ke-tiga yang mempengaruhi distribusi mangrove yakni atribut biologik mangrove itu sendiri. Watson (1928) dalam studi klasiknya tentang "mangal" di Malay Peninsula menjelaskan zonasi mangrove berdasarkan tingkat perendaman pasang-surut (inundation class). Ia menentukan tipe zona yang diturunkan dari lima kelas perendaman yang kemudian dikenal sebagai 'kelas perendaman Watson' (Watson's inundation classes), dimana kehadiran jenis mangrove tertentu terbatas pada suatu kelas perendaman tertentu. Walaupun kelas perendaman Watson tersebut berkaitan dengan kondisi mangrove di daerah Klang, tetapi sering pula digunakan oleh berbagai penulis untuk menggambarkan distribusi mangrove untuk tempat lainnya (lihat juga Duke dkk., 1998 yang telah mengusulkan tiga posisi intertidal yakni; bawah, tengah, dan atas sebagai penyederhanaan terhadap lima kelas perendaman Watson). Berkaitan dengan penyortiran propagule (propagule sorting) sebagai faktor biotik yang mempengaruhi distribusi mangrove, kita perlu mempertimbangkan hipotesa penyortiran propagule oleh Rabinowitz yang

berbunyi bahwa 'benih mangrove yang ditanam di tempat yang salah, tidak akan selamat'. Hal penting lainnya yang perlu dipertimbangkan dalam menjelaskan distribusi mangrove yakni persaingan (competition) dan interaksi antar jenis (Ball, 1980; Lugo, 1980). Untuk pemahaman teori umum tentang interaksi jenis, beberapa literatur berikut dapat dijadikan bahan bacaan; McInntosh (1981), Oliver dan Larson (1996), Vandermeer (1996), dan Tilman (1997).

Sejumlah penulis mempertimbangkan perbedaan adaptasi atau respon fisiologis sebagai faktor utama yang mempengaruhi perkembangan dan pola zonasi pada mangrove (Thom, 1982; Ball, 1998). Dilaporkan oleh Lugo dkk. (1975) bahwa pertukaran gas *in situ* pada tiga jenis mangrove yang tumbuh sepanjang gradien salinitas di Florida ternyata berbeda-beda. Respon fisiologis jenis mangrove yang mempengaruhi distribusi mereka sepanjang gradien estuari juga telah diinvestigasi oleh Duke (1992). Ia menemukan bahwa profil salinitas berkorelasi dengan batas distribusi estuarin (limiting estuarine range) pada *Sonneratia* dan *Avicennia*. Ball (1998) menekankan bahwa atribut fisiologis pada mangrove berkontribusi terhadap perbedaan interspesifik yang ditunjukkan spesies mangrove tertentu berkaitan dengan distribusi mereka sepanjang gradien lingkungan seperti salinitas dan perendaman. Masih berhubungan dengan salinitas, kebanyakan jenis mangrove bertumbuh baik pada kondisi dengan salinitas relatif rendah. Tetapi, setiap jenis mangrove memiliki batas toleransi terhadap salinitas, yakni suatu batas dimana laju pertumbuhan maksimum dapat dipertahankan. Secara umum, pada kondisi salinitas optimal, semakin toleransi suatu spesies terhadap salinitas (atau semakin lebar batas toleransi garam suatu spesies), semakin lambat laju pertumbuhan jenis tersebut (Ball, 1998).

4. Perkembangan dan Regenerasi

Sudah merupakan fakta bahwa mangrove memiliki kemampuan untuk tumbuh di lingkungan intertidal. Mereka tumbuh dan beregenerasi secara konstan, dan ini menunjukkan bahwa mereka bersifat dinamik dan memiliki strategi regeneratif yang cukup berhasil (Duke, 2001). Strategi tersebut berbeda dibandingkan dengan yang dimiliki oleh kebanyakan hutan darat, terutama disebabkan karena kondisi lingkungan mangrove yang spesifik, dan tumbuhan

mangrove memiliki spesialisasi untuk kondisi lingkungan yang demikian. Jadi, sangat penting untuk mempertimbangkan proses dinamika pada mangrove secara terpisah dari proses yang telah dikenal berlaku untuk hutan darat terutama hutan tropis sebagaimana dijelaskan dalam Whitmore (1991), Bazzaz (1991), dan Richard (1996).

Perkembangan tegakan pada mangrove dapat dibagi ke dalam empat tahapan progresif, yakni; kolonisasi, berkembang menuju fase perkembangan awal, kemudian kematangan (maturity), dan berakhir pada penuaan (senescence). Model empat tahapan perkembangan ini telah dikembangkan untuk menjelaskan perbedaan yang teramati pada atribut struktural menurut umur (Jimenez dkk., 1985; Fromard dkk., 1998). Pada model yang diusulkan tersebut, perkiraan lama waktu untuk sebuah siklus lengkap yakni 80 – 100 tahun. Uraian berikut merupakan penjelasan terhadap ke-empat tahapan perkembangan sebagaimana didefinisikan kembali oleh Duke (2001) berdasarkan pengamatan di lapangan terhadap tegakan *Rhizophora* di Panama (lihat juga Duke dkk., 1993, 1999, dan Duke, 1996):

1. Kolonisasi (colonization) merupakan tahapan establismen. Pada tahapan ini, propagule mulai menghasilkan akar dan tumbuh pada daerah pasang-surut yang baru dan terbuka, benih kemudian tumbuh meninggi dengan cepat. Secara umum, kepadatan pohon cukup banyak pada tahapan ini, dan poin akhir relatif pada tahapan ini terjadi saat penutupan kanopi dicapai.
2. *Perkembangan awal* (early development) merupakan tahapan lanjutan setelah penutupan kanopi dicapai. Pada tahapan ini, penjarangan (self-thinning) mulai terjadi dan kepadatan pohon berkurang secara nyata. Dalam kondisi kanopi yang padat/tertutup, sumber benih mulai ada. Gap atau ruang terbuka mulai terbentuk disebabkan oleh faktor seperti kayu gelondongan yang hanyut, material terapung, erosi dan deposisi sediment. Pertumbuhan tinggi pohon berkurang pada akhir tahapan ini disebabkan karena kanopi telah mencapai tinggi maksimum (site maximal canopy height).
3. *Pematangan* (maturity) dimulai ketika tinggi kanopi maksimum telah dicapai. Biomasa pohon secara individual mengalami peningkatan. Penjarangan terus berlangsung sehingga kepadatan pohon berkurang. Gap mungkin terbentuk oleh karena adanya serangan petir, angin dan badai es, cyclone, dll.
4. *Penuaan* (senescence) dimulai ketika individu pohon yang masih berdiri menunjukkan indikasi ke arah kematian. Pada kasus-kasus yang lain, pohon mulai roboh dan mati, atau mereka banyak ditumbuhi oleh koloni tumbuhan menempel (epiphyte), atau mereka mati karena mengalami pembusukan. Selama fase ini, kepadatan pohon sangat rendah dan penjarangan minimal. Gap mulai terbentuk oleh karena kematian pohon yang besar, atau erosi dan deposisi sediment. Faktor cuaca seperti badai menjadi kurang penting pada

kondisi ini, secara sederhana disebabkan karena hadirnya pohon-pohon yang sudah tua dan biasanya besar. Fakta menunjukkan bahwa tahapan penuaan ini jarang dicapai secara bersamaan pada suatu waktu (Jimenes dkk., 1985), walaupun pada sejumlah kasus telah dilaporkan adanya tegakan yang tua (Fromard dkk., 1998; Ewel dkk., 1998).

Terdapat dua asumsi yang dikenakan terhadap model perkembangan mangrove yang telah dijelaskan. Asumsi pertama, bahwa perkembangan hutan mangrove terjadi tanpa interupsi. Asumsi berikutnya, bahwa pohon-pohon secara individu dalam tegakan yang telah tua semuanya merupakan pohon yang berhasil hidup, dan berasal dari cohort koloni pertama. Berdasarkan kedua asumsi tersebut maka model ini dapat dianggap sebagai siklus hidup individu tumbuhan dalam suatu hutan mangrove yang diawali dari establismen hingga berumur tua (Duke, 2001).

Duke (2001) melakukan pembahasan dan penilaian lebih jauh terhadap model perkembangan hutan mangrove yang telah diuraikan sebelumnya. Beberapa kualifikasi yang penting bahwa:

1. Umur pohon tidak harus benar-benar sama dengan umur hutan,
2. Pohon dalam tegakan yang telah tua mungkin saja tidak hadir pada fase kolonisasi mula-mula,
3. Kematian pohon dapat pula disebabkan oleh faktor selain penuaan.

Apabila kualifikasi tersebut adalah benar, maka pengkualifikasian hutan berdasarkan kelompok umur tidak mungkin dilakukan, dan umur hutan tidak dapat digunakan untuk mengurutkan tingkat perkembang suatu hutan. Oleh sebab itu, ketika umur cohort dihitung sebagai umur tegakan dan pertumbuhan hutan terjadi melalui tahapan perkembangan, maka pada sejumlah saat tertentu pohon mungkin mati karena usia yang telah tua. Dalam rangka mengantisipasi beberapa kelemahan pada model perkembangan ini, Duke (2001) mengusulkan sebuah model yang mengkombinasikan generasi gap (gap generation) dan perkembangan tegakan. Uraian selanjutnya merupakan penjelasan ringkas fase regenerasi gap cahaya (light gap regeneration phase) yang diusulkan.

Kehadiran gap dalam mangrove dapat disebabkan oleh berbagai faktor antara lain: badai angin yang kencang (Smith dkk., 1994), kerusakan karena kondisi cuaca yang dingin (Lugo dan Zucca, 1977), kerusakan karena badai es (Houston, 1999), serangan petir (Paijman dan Rollet, 1977), patogen tumbuhan (Pegg dkk., 1980;

Wesre dkk., 1991), insek pengebor kayu (Feller dan McKee, 1999), dll. Berbeda dengan gap dalam hutan darat, kebanyakan gap dalam mangrove biasanya lebih kecil dan terdiri dari 10 – 20 pohon mati. Menurut Craighead (1971), ukuran gap seperti ini sangat mungkin disebabkan oleh serangan petir.

Kehadiran gap-gap yang kecil dalam mangrove menyebabkan terbentuknya alur-alur regenerasi berukuran kecil berupa mosaik dengan umur dan tahapan pemulihan kanopi (canopy recovery) yang bervariasi. Secara umum, pemulihan gap merupakan hasil kombinasi antara proses reproduksi (establismen dan pertumbuhan pohon baru) dan proses vegetatif (pohon sekitar gap tumbuh secara lateral atau coppicing/percabangan). Struktur dan komposisi hutan dipengaruhi oleh kedua proses regenerasi tersebut.

Berdasarkan pengamatan pada *Rhizophora*, Duke (2001) mengusulkan sebuah proses skematik penciptaan dan pemulihan gap (gap creation and recovery). Secara ringkas proses ini terdiri dari enam fase yang dimulai ketika sebuah hutan yang telah matang (mature forest) dengan tanpa gap berkembang melalui dua fase penciptaan gap (yaitu penciptaan dan pembukaan gap), dan tiga fase pemulihan (rekrutmen, pengisian, dan penutupan gap), sebelum menuju kembali pada suatu kondisi tanpa perubahan. Penjelasan lebih jauh menyangkut masing-masing fase dapat dilihat dalam Duke (2001).

Sebagaimana yang telah dijelaskan, Duke (2001) mengusulkan sebuah kombinasi antara model regeneratif dan perkembangan tegakan. Untuk kelengkapan model yang disarankannya, Ia melakukan penambahan peran gap kanopi dalam mempengaruhi proses balik-ulang (turnover) pada mangrove. Pada suatu waktu, kehadiran gap berukuran kecil akan mempengaruhi suatu bagian kecil dalam hutan, tetapi dalam suatu jangka waktu tertentu pengaruh akumulatif banyak gap akan menjadi cukup signifikan dan merata dalam suatu area tertentu oleh karena lokasi gap-gap tersebut bersifat acak. Jika penggantian pohon diasumsikan bersifat acak dan sistematik, maka konsekuensinya dalam hutan berupa perlambatan keseluruhan perkembangan tegakan. Sebagai perbandingan, dampak yang dihasilkan oleh pertumbuhan dan penjarangan pohon dipertimbangan bersifat kontan oleh karena proses tersebut berlangsung sebagai sebuah kondisi perkembangan hutan yang

normal. Oleh sebab itu, ketika laju balik-ulang melalui proses penciptaan gap lebih cepat dari pada laju balik ulang yang terjadi melalui proses perkembangan tegakan (yaitu situasi dimana frekuensi penciptaan gap sangat cepat), selanjutnya perkembangan tegakan diperhitungkan akan tertahan, dan kondisi ini menghasilkan hutan yang relatif muda. Pada kondisi yang lebih ekstrim dimana gangguan/kerusakan hutan diakibatkan oleh terbentuknya gap ternyata sangat berat dan berulang-ulang terjadi, maka hutan dapat benar-benar rusak (collaps).

5. Suksesi Ekologis

Suksesi merupakan suatu proses dimana suatu komunitas tumbuhan berubah ke dalam bentuk yang lain (Crawley, 1997). Proses ini melibatkan masuk-keluar dan kepunahan jenis yang berhubungan dengan perubahan pada kelimpahan relatif tumbuhan tertentu. Suksesi terjadi oleh karena bagi setiap spesies paling tidak dua hal berikut ini mengalami perubahan:

1. Peluang establisemen berubah menurut waktu,
2. Perubahan terjadi pada lingkungan abiotik (contoh; kondisi substrat dan intensitas cahaya) dan biotik (contohnya; kelimpahan musuh alami, sifat dan kemampuan tumbuhan sekitar).

Sejumlah suksesi terjadi memusat hingga seragam, bermuara pada suatu titik akhir yang dapat diprediksi, dan bebas dari kondisi awal. Sementara yang lainnya bersifat tidak memusat atau siklik (cyclic), atau memiliki titik akhir yang stabil dengan suatu dinamika yang keseluruhannya didominasi oleh sejarah perombakan dan imigrasi.

Berkaitan dengan mangrove, hanya sedikit studi tentang suksesi yang telah dilakukan, walaupun hal tersebut telah dipelajari secara ekstensif bagi sistem di darat. Sejumlah penulis seperti Mambberley (1991), Richard (1996), dan Crawley (1997) berpendapat bahwa letusan Pulau Krakatau pada 27 Agustus 1883 yang diikuti dengan munculnya sederetan jenis tumbuhan penginvansi dengan berbagai bentuk hidup (life-form) selama periode 45 tahun, merupakan sebuah contoh bentuk suksesi primer yang baik. Dalam kebanyakan kasus (contohnya; letusan gunung berapi, kejadian mengikuti kemunduran glasial, deposisi sedimen, atau perubahan muka laut), proses suksesi primer ditentukan oleh dua faktor berikut:

1. Peningkatan nitrogen tanah,

2. Peningkatan tinggi tumbuhan dewasa (mengarah kepada penaungan terhadap jenis tumbuhan yang tumbuh rendah).

Interaksi antara peningkatan naungan dan peningkatan nutrient substrat seringkali menentukan susunan penggantian spesis. Akumulasi nitrogen dalam substrat sering diperhitungkan sebagai proses yang sangat penting. Ekosistem yang telah matang sering didukung oleh cadangan nitrogen pada substrat permukaan berkisar 5.000 hingga 10.000 kg ha⁻¹. Sejumlah percobaan pada berbagai varitas substrat murni menunjukkan bahwa tumbuhan berkayu tidak dapat mengivasi komunitas yang sedang mengalami suksesi sebelum kondisi cadangan nitrogen dalam substrat berkisar antara 400 hingga 1.000 kg ha⁻¹; dan proses ini dapat berlangsung mulai dari 20 hingga 100 tahun atau mungkin lebih lama (Crawley, 1997).

Berbeda dengan suksesi primer, suksesi sekunder berawal dari kondisi dimana substrat mulai matang dan terdapat jumlah benih dan propagule vegetatif yang cukup. Berkaitan dengan penjelasan tentang mekanisme yang mungkin berlaku untuk suksesi sekunder, sejumlah model mungkin dapat dipertimbangkan. Pertama, 'model komposisi floristic mula-mula' (initial floristic composition model), yang mendefinisikan suksesi tidak lebih dari penggantian spesis tumbuhan kecil dan berumur pendek oleh tumbuhan lain yang lebih besar dan berumur panjang. Model kedua adalah 'model floristik relay' (relay floristic model) yang menekankan tata-urutan spesis tumbuhan secara lebih ketat serta penekanan pada aspek fasilitasi (facilitation), dimana suatu spesis memberikan jalan bagi spesis lainnya dengan cara merubah kondisi lingkungan ke arah yang lebih cocok bagi spesis yang menggantikannya. Di antara kedua model yang telah dijelaskan, terdapat model toleransi (tolerance model) dan model penghambatan (inhabitation model). Model toleransi mengasumsikan bahwa meskipun terjadi pengurangan cahaya dan nutrient disebabkan oleh spesis pertama, suksesi akan terus berlangsung karena koloni berikutnya akan dapat menerima suatu kondisi baru yang tercipta. Sebaliknya, model penghambatan mengasumsikan bahwa spesis pertama akan secara mudah dihambat establismentnya oleh spesis berikutnya dengan cara melakukan pengosongan suatu site (site pre-emption) terlebih dahulu. Semakin panjang masa hidup spesis pertama, semakin kecil peluang spesis berikutnya menggantikan dan menempati suatu tempat, selanjutnya semakin lambat proses suksesi berlangsung

(Crawley, 1997). Untuk konsep yang berlaku pada mangrove, beberapa tulisan oleh Eagler (1952), Lewis dan Dunstan (1975), Lugo (1980), Kangas dan Lugo (1990) dapat dijadikan sumber bacaan.

6. Laju Balik-Ulang (Turnover Rate)

Laju balik-ulang keseluruhan komunitas merupakan laju dimana pohon mengalami kematian dan kemudian digantikan (Richards, 1996). Waktu capaiannya bervariasi menurut spesis, tempat, struktur tegakan, dan kondisi lainnya (Oliver dan Larson (1996). Apabila kondisi lingkungan ternyata tetap stabil maka proses balik-ulang suatu spesis semakin lambat dan suatu kondisi diam akan dicapai. Kondisi diam tersebut terjadi pada hutan klimaks (climax forest) dimana penggantian secara siklik berlangsung. Namun demikian, pada sejumlah hutan ternyata kondisi ini tidak pernah dicapai oleh karena waktu antar katastrofik (catastrophic) sangat singkat (Whitmore, 1991).

Suatu ekosistem mangrove dikatakan stabil sepanjang ia menempati suatu area yang sama di daerah intertidal, dan dikatakan tidak stabil jika batas-batasnya bertambah ke arah laut atau mundur ke arah daratan. Sejumlah fakta menunjukkan bahwa sisi terluar sistem mangrove menampilkan kecenderungan perluasan ke arah laut sebagaimana diindikasikan oleh hadirnya anakan dan pohon muda yang melimpah. Perkembangan ke arah laut yang terjadi juga ditunjukkan oleh keadaan tinggi kanopi yang semakin bertambah, demikian pula umur dan ukuran pohon ke arah darat. Pada kondisi lainnya, tepian mangrove terlihat cukup jelas dengan indikasi seperti pangkal batang terbuka karena pengikisan dan pohon-pohon mulai tumbang. Ini merupakan kondisi dimana resesi sedang terjadi (Bird dan Barson, 1979).

Pada kondisi dimana sisi terluar mangrove mengalami perluasan, sering ditemukan suatu migrasi yang bersifat kompensasi pada sisi sebelah darat bagian tengah disebabkan karena kematian mangrove dan penggantian (replacement) oleh bentuk vegetasi lain seperti rawa asin atau hutan darat, atau kondisi hipersalin tanpa vegetasi. Pada kondisi demikian, zona mangrove secara keseluruhan mengalami perpindahan ke arah laut. Kondisi sebaliknya dapat terjadi, ditunjukkan oleh adanya

penyebaran tumbuhan mangrove muda dari sisi sebelah dalam ke arah darat disebabkan karena bagian mangrove terluar/sebelah darat mengalami erosi atau penurunan. Perubahan yang lain dalam zona mangrove terjadi ketika saluran pasang-surut berpindah secara lateral, mengerosi mangrove pada suatu sisi pinggir dan menimbun pada sisi lainnya (Bird dan Barson, 1979).

Dalam hubungannya dengan perubahan salinitas secara alami khususnya yang terjadi pada substrat yang mengalami peningkatan oleh karena faktor seperti sedimentasi, Chapman (1966) berpendapat bahwa perubahan tersebut dapat mendukung terjadinya penggantian suatu sepsis oleh yang lain; suatu indikasi proses suksesi. Perubahan pada muka laut, jumlah masukan air tawar, atau laju suplai sedimen yang berakibat pada terbentuknya variasi dalam substrat dan salinitas di suatu sistem mangrove, akan sangat mungkin menyebabkan terjadinya kematian sejumlah spesies mangrove dan penggantian oleh jenis lainnya. Apabila perubahan yang terjadi sangat ekstrim maka hal yang mungkin terjadi yakni kematian seluruh vegetasi mangrove.

7. Kasus Die-back pada Mangrove di Taman Nasional Bunaken

‘Dieback’ merupakan sebuah kata yang digunakan untuk menjelaskan kondisi kesehatan pohon yang kehilangan kemampuan fisik atau energi. Indikasi die-back bermacam-macam dan sering dihubungkan dengan faktor penyebabnya. Pada kebanyakan kasus, die-back diindikasikan oleh kematian pada suatu ujung cabang pohon. Die-back dapat bersifat balik kembali (reversible) pada kondisi semula (pohon menjadi sehat), tetapi dalam banyak kasus die-back berakhir dengan kematian pohon. Sejumlah tulisan berikut dapat dijadikan dasar bacaan untuk pemahaman lebih jauh tentang konsep dan masalah yang berkaitan dengan die-back, yakni: Heatwole dan Lowman (1986), Manion (1989 dan 1991), Manion dan Lachance (1992), Innes (1993), dan Muller-Dombois (1992).

Walaupun sejumlah faktor penyebab die-back pada hutan darat juga dilaporkan berlaku bagi hutan mangrove, tetapi sebenarnya ada faktor-faktor yang khusus berlaku pada mangrove. Hal ini tidak mengherankan karena lingkungan

mangrove memang berbeda dengan hutan darat. Sejumlah faktor berikut pernah dilaporkan sebagai penyebab die-back pada mangrove, antara lain:

1. Kejadian episodik (episodic events): hurricane atau cyclones (di Australia: Heinson dan Spain, 1974; Stocker, 1976; Hutchings dan Saenger, 1987 dan Bardsley, 1985; di Florida: contohnya Stoddart, 1974; Craighead dan Gilbert, 1962; Tabb dan Jones; 1962; and Smith dkk., 1994, tsunami (di Republik Dominika: Sachtler, 1973),
2. Agen biologik: insekta (pengebor kayu di Belize: Feller dan Mathis, 1997; Feller dan McKee, 1999, sejenis cacing 'bagworm' (*Oiketicus kirbyi*) di mangrove Ekuador: Gara dkk., 1990), rayap pemakan kayu-hidup in Malaysia (Tho, 1973, 1982),
3. Polutan: tumpahan minyak di Panama (Duke dkk., 1997),
4. Banjir yang berlangsung lama: di Australia (Choy dan Booth, 1994), di Jawa - Indonesia (Soerianegara, 1968), di India (Blasco, 1975),
5. Petir: di Florida (Craighead, 1971; Paijmans dan Rollet, 1977; dan Smith, 1992),
6. Hipersalinitas: (Servant dkk., 1978; Cintron dkk., 1978; dan Gordon, 1987), kekeringan/hipersalinitas (Davie, 1983; pengamatan pribadi),
7. Deposisi: (Fromard dkk., 1998), dan erosi (Semeniuk, 1980; Gordon, 1987; dan Saenger dan Bellan, 1995),
8. Peningkatan muka laut (sea level rise) (Ellison dan Stoddart, 1991).

Skala kerusakan yang disebabkan oleh berbagai faktor yang telah disebutkan bervariasi mulai dari kematian pohon tunggal hingga kematian sejumlah besar pohon (Jiminez dkk., 1985; Duke, 2001). Beberapa diantara faktor penyebab yang telah disebutkan (contohnya; badai hurricane dan petir) dapat pula secara sederhana dipertimbangkan sebagai penyebab kerusakan fisik pada mangrove dari pada penyebab die-back. Uraian selanjutnya merupakan ringkasan hasil investigasi kejadian die-back pada mangrove di Taman Nasional Bunaken seperti yang dilaporkan oleh Djamaluddin (2002).

Hutan mangrove di Taman Nasional Bunaken sangat unik karena banyaknya spesis (30 spesis, tidak termasuk hybrid dan tumbuhan asosiasi) dan tingkat perkembangan yang dicapai. Proses ekologi yang tengah berlangsung dalam hutan ini menggambarkan suatu kondisi die-back yang jarang ditemukan pada mangrove dimanapun. Seperti yang telah disinggung dalam bahasan sebelumnya, tahapan tua (senescence) pada mangrove sangat jarang dicapai. Hal tersebut disebabkan karena gangguan exogenous seperti perusakan oleh badai yang kemudian menghentikan perkembangan mangrove (Duke, 2001). Begitu juga dengan perubahan pada garis

pantai yang disebabkan baik oleh proses sedimentasi maupun erosi, ternyata dapat menyebabkan perubahan pada kondisi substrat (edaphic change) yang kemudian mengakibatkan kematian atau perubahan pada spesies dominan. Fakta yang berlaku pada mangrove di Taman Nasional Bunaken menunjukkan bahwa mangrove di tempat ini telah mencapai kondisi tua dimana pohon tinggi dan besar secara jelas telah kehilangan kemampuan tumbuh, sebagian telah mati dan sebagian lainnya mengindikasikan akan mati (komunikasi pribadi dengan Jim Davie). Pohon tinggi dan besar mengalami kematian pada bagian ujung atas, mereka dikolonisasi oleh tumbuhan epifit, dan sebagian lagi mengembangkan percabangan lateral.

Meskipun die-back pada mangrove di tempat ini bukan merupakan suatu fenomena baru, tetapi hal ini baru menjadi perhatian pada akhir tahun 1995 ketika suatu studi ekologi dilakukan dalam kaitannya dengan penyusunan strategi pengelolaan Taman Nasional Bunaken. Sekarang, indikasi die-back sudah sangat umum berlaku pada mangrove di Pulau Mantehage dan beberapa lokasi lainnya di Selatan Taman Nasional ini (Djamaluddin, 2004).

Ada tiga proses potensial yang telah memulai atau mempercepat terjadinya die-back pada hutan mangrove di tempat ini. Ketiga proses tersebut adalah:

1. Pendewasaan hutan, penuaan, dan mati,
2. Deposisi secara berlebihan,
3. Penebangan yang menyebabkan terjadinya pembukaan dalam mangrove dan kemudian mengurangi integritas tegakan.

Proses pertama, pendewasaan hutan, dipertimbangkan sebagai faktor internal yang mengawali terjadinya die-back. Sementara proses deposisi dan penebangan dipertimbangkan sebagai faktor eksternal yang mungkin berperan secara tidak langsung terhadap kejadian die-back. Hal yang menjadi pertanyaan kemudian adalah bagaimana faktor-faktor tersebut secara sendiri-sendiri atau bersama faktor lain berkontribusi terhadap die-back (Djamaluddin, 2004).

Menjadi tua (senescence) hampir disepakati oleh semua pihak sebagai fenomena yang jarang dicapai oleh mangrove. Pada saat mangrove menjadi tua maka beberapa ciri seperti: sedikit jumlah pohon besar dan tua, adanya gap berukuran besar dalam canopi, dan kurangnya regenerasi, akan ditemukan (Jimenez dkk., 1985). Ciri lain yang ditambahkan Duke (2001) yakni: pohon besar mulai mati

tetapi tetap berdiri atau mati karena pembusukan. Sekarang, semua ciri yang telah digambarkan dapat ditemukan dalam mangrove di Taman Nasional Bunaken. Sementara kita tidak tahu berapa lama mangrove dapat hidup, dan tidak mudah menentukan umur mangrove, ukuran pohon mangrove yang besar dan tinggi yang telah dicapai sekarang ini mengindikasikan bahwa mangrove di Taman Nasional Bunaken tengah berada pada tahap matang dan mungkin tua secara ekologis. Dugaan ini juga didukung oleh fakta bahwa pohon kecil dan masih muda tidak mengalami die-back (Djamaluddin, 2004).

Akumulasi sedimen secara berlebihan juga berkontribusi terhadap die-back, dan ini terutama berlaku pada beberapa lokasi seperti di lokasi sebelah darat antara Desa Rap-Rap dan Sondaken dimana sejumlah pohon *Avicennia rumphiana* berada dalam kondisi die-back, lokasi dekat Desa Pungkol dimana hampir semua pohon besar *Rhizophora* spp. mengalami die-back, dan lokasi antara Desa Pungkol dan Tanjung Pasir Putih dimana pohon besar *Ceriops* spp. juga dalam kondisi die-back. Pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa kemiringan pada ketiga lokasi tersebut telah banyak mengalami perubahan (meningkat) disebabkan terutama karena adanya masukan sedimen yang berasal dari daratan terdekat. Pada kondisi seperti ini ternyata pohon berukuran besar lebih mudah terpengaruh (mengalami tekanan) dibandingkan dengan pohon muda yang terlihat masih sehat dan tumbuh baik di lokasi yang sama. Hingga kini belum ditemukan bukti bahwa proses sedimentasi yang terjadi juga mempengaruhi pohon mangrove lainnya seperti *S. alba*, *B. gymnorrhiza*, dan *Rhizophora* spp. yang tumbuh di bagian tengah hutan atau sepanjang tepi sebelah laut (Djamaluddin, 2004).

Penebangan pohon dapat menjadi suatu mekanisme yang mempengaruhi die-back secara tidak langsung terutama melalui peningkatan pembukaan kanopi pada suatu lokasi tertentu, kemudian karena pembukaan tersebut maka akan mengurangi integritas tegakan. Namun, benarkah hal tersebut berlaku bagi die-back mangrove di Taman Nasional Bunaken. Penting dicatat bahwa die-back di hutan ini telah dimulai pada tahun 1986, yakni sebelum masyarakat menebang pohon-pohon besar di Pulau Mantehage pada tahun 1989. Sekarang, integritas tegakan dalam hutan mangrove khususnya di Pulau Mantehage jelas sudah sangat lemah disebabkan karena

penebangan. Tegakan yang ada diperkirakan sudah tidak memiliki kemampuan melindungi diri dari tiupan angin yang kencang karena habitatnya yang sudah sangat terbuka. Meskipun demikian, masih sangat sulit menjelaskan apakah proses pelemahan (weakening) integritas tegakan yang terjadi telah mempercepat proses die-back di lokasi ini atau tidak sama sekali, terutama bila diperhadapkan dengan kenyataan bahwa wilayah mangrove di tempat ini terhindar dari tiupan angin yang bersifat merusak (destructive winds).

Pada kebanyakan lokasi dalam mangrove di Taman Nasional Bunaken, pohon besar *S. alba* biasanya dominan di kanopi atau mereka mencuat keluar dari kanopi dominan (emergent). Pohon-pohon tersebut dihipotesakan sebagai koloni mangrove pertama yang menempati hutan mangrove ini. Fakta bahwa banyak pohon *S. alba* mengalami die-back, dan bahwa pohon muda dan anakan spesies ini sudah sangat jarang ditemukan, menjadi petunjuk runtuhnya (collapse) koloni pertama dalam hutan mangrove ini. Tahapan ini menjadi indikasi suatu proses yang sering diistilahkan dengan siklus hutan (forest cycling process), dimana generasi pertama akan digantikan oleh generasi berikutnya yang dalam kasus ini didominasi oleh *Rhizophora* spp. Arah perubahan yang berbeda akan berlaku pada komunitas dimana pohon *B. gymnorrhiza* dan *Rhizophora* spp. berada dalam kondisi die-back. Pada komunitas seperti ini, anakan dan pohon muda dari spesies yang sama tetap hadir, sehingga komposisi spesies pada generasi selanjutnya akan tetap sama dengan generasi pertama (Djamaluddin, 2004).

8. Restorasi Habitat Mangrove

Restorasi atau rehabilitasi biasa menjadi pertimbangan ketika suatu sistem telah berubah dalam tingkat tertentu sehingga tidak dapat lagi memperbaiki atau memperbaharui diri secara alami. Dalam kondisi seperti ini, ekosistem homeostasis telah berhenti secara permanen dan proses normal untuk suksesi tahap kedua atau perbaikan secara alami setelah kerusakan terhambat oleh karena beberapa alasan. Konsep ini belum pernah dianalisis atau dibahas secara lengkap untuk habitat mangrove (Lewis, 1982b). Untuk banyak kasus seringkali pengelola suatu program restorasi melakukan penanaman mangrove sebagai pilihan pertamanya. Padahal

pendekatan terbaik restorasi adalah dengan mengetahui penyebab hilangnya mangrove, tangani penyebabnya, kemudian melakukan proses perbaikan habitat mangrove. Bibit mangrove hanya ditanam jika mekanisme alami tidak memungkinkan dan hanya setelah dilakukan pembenahan hidrologi.

Menurut Lewis (1982a) semua habitat mangrove dapat memperbaiki kondisinya secara alami dalam waktu 15 – 20 tahun, jika paling tidak dua kondisi berikut dapat dipenuhi:

1. Kondisi normal hidrologi tidak terganggu,
2. Ketersediaan biji dan bibit mangrove serta jaraknya tidak terganggu atau terhalangi.

Jika kondisi hidrologi ternyata sudah normal atau mendekati keadaan normal tetapi biji mangrove tidak dapat mendekati daerah restorasi, maka mangrove dapat direstorasi dengan cara konvensional yakni melalui penanaman.

Oleh karena habitat mangrove dapat diperbaiki tanpa penanaman, maka rencana restorasi harus terlebih dahulu melihat potensi aliran air laut yang terhalangi atau tekanan-tekanan lingkungan lainnya yang mungkin menghambat perkembangan mangrove (Cintron – Molero, 1992). Jika aliran air terhalangi dan ditemukan adanya tekanan lainnya, maka hal-hal tersebut harus ditangani terlebih dahulu. Jika masalah ini tidak ada atau telah ditanggulangi, maka perlu dilakukan pengamatan untuk memastikan tersedianya bibit alami. Bila bibit dari alam tidak cukup tersedia, maka penanaman dapat dilakukan untuk membantu perbaikan alami.

Sangat disayangkan bahwa banyak kegiatan restorasi mangrove langsung dimulai dengan aktivitas penanaman tanpa mempertimbangkan mengapa perkembangan secara alami tidak terjadi. Seringkali kegiatan-kegiatan seperti ini berakhir dengan kegagalan sebagaimana yang terjadi di kebanyakan proyek penanaman mangrove di Indonesia dan tempat lainnya.

Secara ringkas, Lewis dan Marshall (1997) menyarankan lima tahap penting untuk keberhasilan suatu kegiatan restorasi mangrove, yakni:

1. Memahami autecology (ekologi setiap jenis mangrove), pola reproduksi, distribusi benih, dan keberhasilan pembentukan bibit,
2. Memahami pola hidrologi normal yang mengatur distribusi dan keberhasilan pembentukan dan pertumbuhan spesies mangrove yang menjadi target,
3. Memperkirakan perubahan lingkungan mangrove asli yang menghalangi pertumbuhan alami mangrove,

4. Disain program restorasi untuk memperbaiki hidrologi yang layak, dan jika memungkinkan digunakan benih alami mangrove untuk melakukan penanaman,
5. Hanya melakukan penanaman bibit, memungut, atau mengolah biji setelah mengetahui langkah alami di atas (1 – 4) tidak memberikan jumlah bibit dan hasil, tingkat stabilitas, atau tingkat pertumbuhan sebagaimana yang diharapkan.

Faktor penting dalam mendisain suatu kegiatan restorasi mangrove adalah pengenalan hidrologi (frekuensi dan durasi pasang-surut air laut) yang berlaku pada suatu komunitas mangrove yang berdekatan dengan areal restorasi. Sebagai pengganti atas biaya pengumpulan data yang mahal yaitu dengan menggunakan batas air pasang serta melakukan survei terhadap mangrove yang tumbuh sehat untuk mendapatkan suatu diagram penampang distribusi spasial, kemiringan, dan morfologi suatu ekosistem mangrove, yang kemudian menjadi model konstruksi. Penggalian dan penimbunan kembali bekas galian diperlukan untuk membentuk tingkat kemiringan yang sama serta ketinggian relatif terhadap batas areal yang ditentukan untuk memastikan hidrologinya sudah benar.

Di areal dimana penimbunan dilakukan terhadap lahan yang pernah ditumbuhi mangrove, pengerukan kembali timbunan tersebut untuk mencapai tanah humus mangrove sebelumnya kemungkinan akan menghasilkan kondisi yang terlalu lembab untuk pembentukan mangrove, ini disebabkan karena kepadatan dan kerapatan lapisan aslinya. Seperti telah dikemukakan sebelumnya, ketinggian dapat disesuaikan dengan ketinggian habitat mangrove yang masih ada. Bentuk lain dari restorasi mangrove yaitu melibatkan penggabungan kembali areal-areal hidrologi yang terpisah ke situasi jangkauan air yang normal (Brockmeyer, 1997; Turner and Lewis, 1997).

Penanaman mangrove hanya diperlukan bila pertumbuhan alami tidak mungkin terjadi akibat kurangnya kecambah (propagule) atau kondisi tanah yang kurang mendukung. Ketika penanaman diperlukan, penempatan bibit *Rhizophora* yang matang secara langsung dalam humus dapat mempercepat pembentukan mangrove. Teknik ini tidak dapat diterapkan untuk genus mangrove lainnya karena diperlukan pelepasan kulit biji dari kecambah sebelum pembentukannya, serta membutuhkan akar yang menyentuh permukaan tanah secara langsung dengan

cotyledon yang terbuka. Kematian bibit di tahap awal jarang terjadi, namun tingkat harapan keberhasilannya adalah sekitar 50%. Kerapatan khas mangrove dewasa adalah sekitar 1.000 pohon per hektar atau 1 pohon per 10 meter persegi, jadi 50% kematian penanaman tahap awal dengan jarak 1 meter tidak akan berpengaruh terhadap kerapatan hutan. Meskipun penanaman pada musim panas adalah yang ideal, tetapi bibit mangrove dapat pula ditanam sepanjang tahun dengan hasil yang memuaskan. Sebagai petunjuk lengkap tentang teknik penanaman mangrove, beberapa tulisan berikut dapat membantu seperti Hachinohe (1998) dan Liyanage (2000).

9. Kondisi Umum Lahan Restorasi Mangrove Bekas Tambak di Desa Tiwoho

Luasan total mangrove di Sulawesi Utara diperkirakan sekitar 4.333 ha, dan sejumlah 590 ha diantaranya telah dikonversi menjadi tambak udang. Kini, hampir keseluruhan tambak tersebut tidak lagi beroperasi alias ditinggalkan. Dalam beberapa tahun belakangan, berbagai upaya menghutankan kembali (melalui penanaman ulang) sejumlah lahan bekas tambak tersebut baik oleh masyarakat maupun pemerintah sering mengalami kegagalan. Salah satu diantaranya yaitu upaya penanaman mangrove di lokasi bekas tambak seluas 12 ha dekat Desa Tiwoho, Kecamatan Wori, Kabupaten Minahasa Utara. Lahan ini pernah dibuka pada tahun 1991 oleh PT. Wori Mas untuk dijadikan tambak, tetapi tidak pernah berhasil dan ditinggalkan. Tercatat sekitar lima kali lahan ini direhabilitasi melalui penanaman ulang tetapi sedikit yang berhasil tumbuh (Djamaluddin, 2005).

Sejak tahun 2002 lahan ini dijadikan lokasi percontohan rehabilitasi hidrologi oleh Kelompok Pengelola Sumberdaya Alam (KELOLA) dan Mangrove Action Project (MAP) bekerjasama dengan masyarakat Tiwoho. Program rehabilitasi ini mengimplementasikan lima teknik restorasi seperti diusulkan Lewis dan Marshal (1997). Bagaimana program rehabilitasi ini dilaksanakan, akan diuraikan secara detail dalam pembahasan selanjutnya.

A. Kondisi ekologi mangrove

Tiga spesies mangrove dominan ditemukan dalam lokasi restorasi, yakni: *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba*, and *Ceriops tagal*. Jenis lainnya juga ditemukan seperti *Aegiceras corniculatum*, *Avicennia marina*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Ceriops decandra*, *Herritiera litoralis*, *Lumnitzera littorea*, *Nypa fruticans*, *Rhizophora stylosa*, *Rizophora mucronata*, *Schyphiphora hydrophyllacea*, tetapi kehadiran mereka adalah tidak umum (Djamaluddin, 2005).

Lima tipe komunitas ditemukan pada mangrove sekitar lahan restorasi di Tiwoho, yakni:

1. Komunitas 1 dibentuk oleh *R. apiculata*, *R. stylosa*, and *S. alba*,
2. Komunitas 2 dibentuk oleh *R. apiculata* and *S. alba* dengan kehadiran sejumlah kecil *B. gymnorrhiza*,
3. Komunitas 3 merupakan tipe khusus yang dicirikan oleh hadirnya pohon mati ujung (top-dying) spesies *R. apiculata*,
4. Komunitas 4 merupakan tipe khusus mangrove di daerah yang agak miring dengan kehadiran bersama *R. apiculata* and *C. tagal*,
5. Komunitas 5 didominasi oleh *Ceriops tagal* sebagai spesies mangrove bagian belakang (high tidal species), dan biasanya tumbuh kerdil (stunted) dan padat.

Berdasarkan pengamatan yang relatif singkat diperoleh bahwa antara ketiga jenis yang umum ditemukan, *C. tagal* dan *S. alba* memproduksi bunga, buah/propagule dalam jumlah yang melimpah. Pada saat bersamaan, kebanyakan pohon *R. apiculata* memproduksi bunga tetapi dengan jumlah propagule yang sedikit. Selama periode pengamatan antara November 2002 hingga Mei 2003, sejumlah spesies mangrove yang ada di lokasi restorasi juga memproduksi bunga dalam jumlah yang nyata kecuali *H. litoralis* yang ditemukan tanpa bunga tetapi dengan jumlah buah yang melimpah. Dalam studi lainnya tentang siklus reproduksi mangrove di wilayah sekitar Tiwoho, Djamaluddin (2002) menemukan bahwa semua jenis mangrove di wilayah ini ternyata memproduksi bunga dan buah selama periode pengamatan 24 bulan, meskipun selang waktu pembungaan dan produksi buah ternyata sangat berbeda antar spesies. Hal lain yang penting dicatat bahwa banyak buah *S. alba* yang jatuh sebelum matang setelah diserang oleh sejenis insek pemakan buah. Serangan insek juga teramati signifikan pada propagule *Ceriops* spp.

Pengamatan lapangan terhadap distribusi propagules menunjukkan bahwa propagule *B. gymnorrhiza*, *Ceriops* spp. and *Rhizophora* spp. yang berukuran besar

jarang ditemukan di daerah terbuka. Mereka hanya hadir secara signifikan di bawah atau sekitar pohon induk. Pada beberapa tempat ke arah laut, anakan *Rhizophora* spp. telah berhasil tumbuh dalam petak tambak. Dalam jumlah terbatas, anakan *A. marina* and *S. alba* terlihat mulai berhasil tumbuh dalam beberapa petak tambak bagian belakang ke arah darat dan di sisi sebelah atas saluran pasang-surut bagian Barat (Djamaluddin, 2005).

B. Kondisi fisik lahan

Hasil pengukuran oleh Kabes (2002) ditemukan bahwa kemiringan lereng lahan mangrove sebelum direstorasi terkriteria lereng datar dan landai. Hal lain yang ditemukan bahwa telah terjadi perubahan kemiringan lereng akibat adanya penebangan dan pembuatan konstruksi tambak. Persentasi kemiringan lereng yang terukur pada sejumlah profil yakni bervariasi antara 0,07 – 3,29 %. Kehadiran pematang tambak dan saluran utama inlet dan outlet pada lahan bekas tambak jelas mempengaruhi kontur permukaan lahan. Ada bagian yang terangkat karena sedimentasi, sementara bagian lainnya terutama pada lahan-lahan terbuka telah mengalami pengerusan.

Tingkat perendaman pada lahan sebelum direstorasi bervariasi menurut periode umur bulan. Selama periode umur bulan Perbani Awal kisaran tinggi air rata-rata terendah tercatat sebesar 0 cm dan tertinggi mencapai 40 cm. Pada bulan Purnama rata-rata tinggi air terendah adalah 21 cm dan tertinggi mencapai 89 cm. Saat perbani akhir, hasil pengamatan menunjukkan bahwa rata-rata tinggi air terendah adalah sebesar 0 cm dan tertinggi mencapai 45 cm (Kabes 2003).

Pengamatan awal menunjukkan bahwa komposisi sedimen pada lahan mangrove yang diamati didominasi oleh pasir dengan nilai persentase bervariasi antara 71,35 – 72,55%, diikuti debu antara 17,35 – 18,37%, dan liat bervariasi antara 9,26 – 10,37%. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa tanah pada lahan mangrove terkriteria lempung berliat (50%), lempung liat berpasir (21,4%), liat berpasir (21,4%), lempung liat berdebu (7,1%) (Buhang, 2005).

III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini dirancang untuk mendapatkan informasi ilmiah secara detail tentang proses terjadinya suksesi sekunder secara alami pada sebuah ekosistem mangrove. Informasi ilmiah tersebut akan dianalisis secara mendalam dan diformulasikan sebagai sebuah model suksesi sekunder alami ekosistem mangrove.

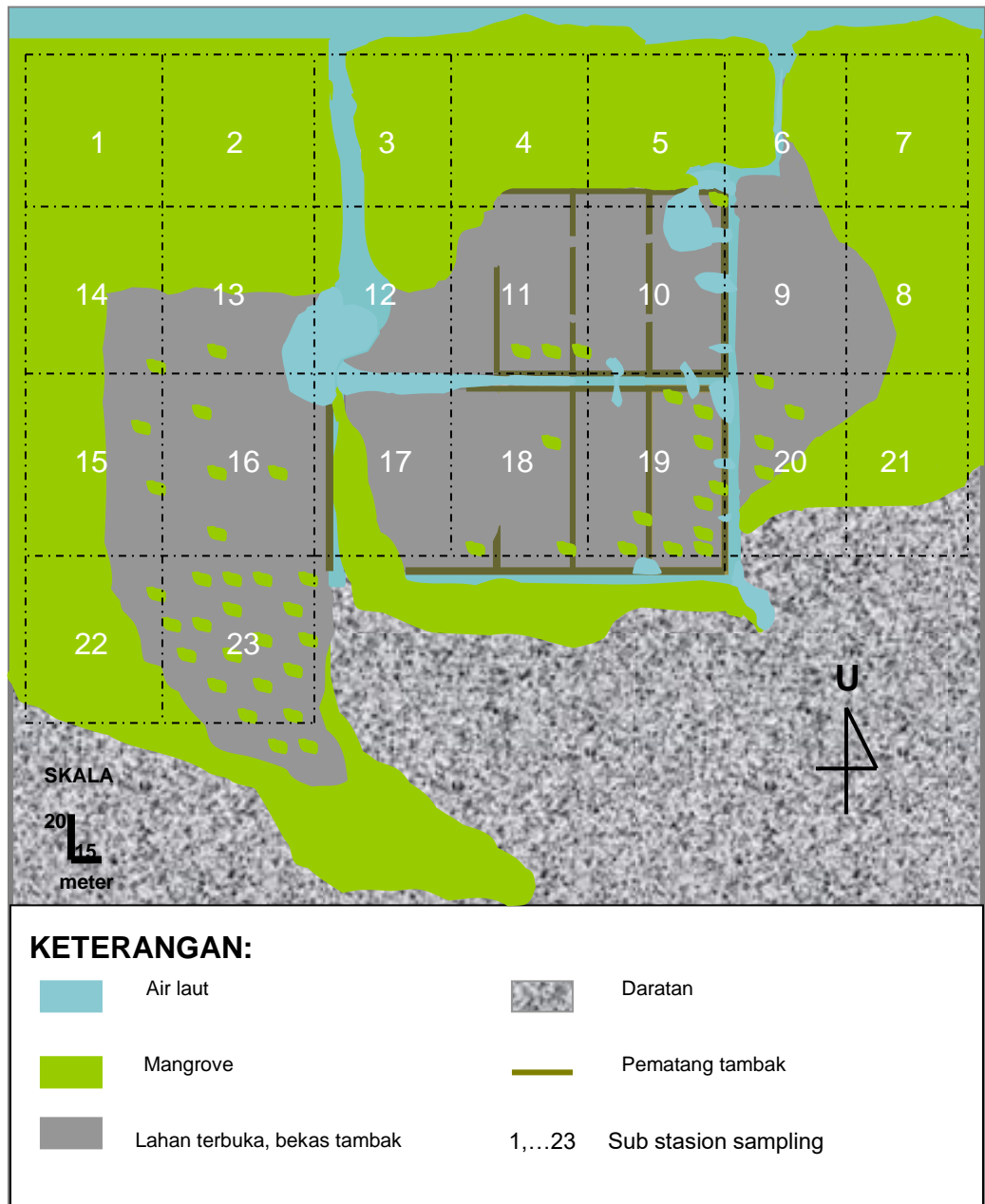
Model suksesi sekunder alamiah yang akan dihasilkan dalam riset ini merupakan informasi ilmiah yang sangat penting dalam mendukung perkembangan pengetahuan khususnya ekologi mangrove. Pada tingkat pengetahuan terapan, informasi ilmiah tersebut menjadi sangat penting dalam perencanaan pengelolaan dan pengembangan teknik rehabilitasi mangrove yang hingga kini masih menghadapi banyak kendala.

IV. METODE PENELITIAN

1. Penentuan Lokasi Pengamatan dan Stasion Sampling

Lahan mangrove bekas tambak di Desa Tiwoho, Kecamatan Wori, Kabupaten Minahasa Utara dipilih sebagai lokasi pengamatan untuk penelitian ini. Lahan mangrove bekas tambak ini dipertimbangan ideal untuk penelitian suksesi sekunder ekosistem mangrove karena beberapa pertimbangan. Pertama, suksesi sekunder pada ekosistem ini tidak terjadi selang periode lebih dari 10 tahun pasca penebangan untuk pertambakan. Kedua, berbagai upaya rehabilitasi melalui penanaman artifisial tidak memberikan hasil yang optimal. Ketiga, kondisi hidrologinya telah diperbaiki secara manual menggunakan metode seperti yang diusulkan Lewis dan Marshall (1997). Keempat, data dasar kondisi fisik dan ekosistem mangrove tersedia. Kelima, lokasi ini telah ditetapkan sebagai zona rehabilitasi dalam Taman Nasional Bunaken, dikenal dan dijaga oleh masyarakat setempat.

Stasion sampling dipusatkan pada lahan mangrove bekas tambak yang telah diperbaiki hidrologinya dan lahan mangrove sekitar yang ditumbuhi mangrove (control). Stasion sampling dibagi atas 23 sub-stasion sampling yang mewakili beberapa kondisi; sub stasion sebelah laut (sub-stasion nomor 1 - 7), sub-stasion bagian tengah (sub-stasion nomor 14 - 21) meliputi bagian bermangrove , lahan terbuka dan bekas tambak, dan sub-stasion belakang sebelah daratan (sub stasion nomor 22 – 23) meliputi lahan bermangrove dan sudah ditanami. Gambar 1 menampilkan sketsa stasion pengamatan dan sub-stasion pengamatan di lokasi pengamatan.



Gambar 1. Sketsa lokasi pengamatan dan stasion/sub stasion sampling.

2. Peubah yang Diamati

Dalam penelitian ini ada beberapa peubah yang diamati/diukur. Secara lengkap, masing-masing peubah beserta metode analisis dan pengukurannya dapat dilihat dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Peubah yang diamati.

No.	Peubah	Metode Analisis/Alat
1.	Granulometri sedimen (ukuran partikel dan klasifikasi kelas menurut ukuran)	Metode pipet, Diagram Segi Tiga Tekstur menurut USDA
2.	Salinitas substrat permukaan	Refractometer ATAGO/MILL
3.	Suksesi	
	a. komposisi spesis benih/anakan	Identifikasi dan determinasi lapangan
	b. kepadatan benih/anakan	Empiris
	c. Mortalitas	Empiris
4.	Ekologi mangrove	
	a. Profil vegetasi	Deskripsi
	b. Komposisi jenis	Identifikasi dan determinasi lapangan
	c. Kepadatan	Empiris
	e. Biomassa	Empiris
	d. Pembungaan dan ketersediaan bibit	Pengamatan langsung

3. Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini data dapat dikelompokkan dalam empat komponen, yakni; data granulometri sedimen, data salinitas substrat permukaan, data suksesi dan bio-ekologi mangrove. Teknik pengumpulan masing-masing data tersebut dijelaskan secara rinci dalam penjelasan selanjutnya.

Data granulometri sedimen dan salinitas substrat diperoleh dari contoh substrat permukaan yang dicuplik secara komposit di masing-masing sub-stasiun sampling. Substrat permukaan (0 – 30 cm) dicuplik dari 5 titik acak dalam setiap sub-sampling, dicampurkan dan diambil paling kurang 300 gram. Contoh substrat permukaan juga dicuplik secara komposit pada titik-titik dalam sub stasiun sampling dimana ditemukan adanya pertumbuhan alami benih/anakan mangrove. Ukuran sedimen ditentukan menggunakan metode pipet seperti yang diusulkan oleh Gardner (1965), dan pengklasifikasiannya ditetapkan mengikuti segitiga tekstur menurut USDA (United State Department of Agriculture). Semua proses analisa granulometri dilakukan di Laboratorium Fisika dan Konservasi Tanah dan Air, Fakultas Pertanian, Unsrat.

Data salinitas substrat permukaan diperoleh dari contoh substrat yang sama untuk analisis granulometri. Kadar salinitas diukur pada contoh air yang diekstrak

dari contoh substrat permukaan, dan diukur menggunakan Refractometer ATAGO/MILL (Djamaluddin, 2004). Semua proses pengukuran salinitas substrat permukaan dilakukan di Laboratorium Fisika dan Konservasi Tanah dan Air, Fakultas Pertanian, Unsrat.

Kuadrat berukuran 1 x 1 meter yang ditempatkan dalam sub-stasion sampling digunakan untuk mengumpulkan data suksesi. Bentuk daun, batang dan tipe percabangan diamati secara cermat untuk menentukan genus masing-masing benih. Jumlah benih per genus yang ditemukan dalam kuadrat selanjutnya dihitung untuk mendapatkan nilai kepadatan. Jumlah benih/anakan yang mati juga dicatat. Pengamatan dilakukan secara temporal setiap interval 3 bulan.

Profil vegetasi mangrove diperoleh dengan cara menggambarkan penampakan tegakan sepanjang empat transek memotong tegak lurus garis pantai pada empat kondisi yakni; lahan bermangrove sebelah Barat, lahan terbuka dan sudah ditanami, lahan bekas tambak, dan lahan terbuka sebelah Timur. Semua spesies mangrove yang ditemukan di lokasi penelitian diidentifikasi dan diterminasi menggunakan referensi berikut: Van Stennis (1955-58), Ding Hou (1958), Percival dan Womersley (1975), Chapman (1976), Blasko (1984), Tomlinson (1986), Duke (1991), Mebberley, dkk (1995) . Data kepadatan tegakan diperoleh dengan cara menghitung jumlah tegakan yang hadir dalam kuadrat 10 x 10 meter yang ditempatkan di sub-stasion sampling. Lingkaran batang setiap tegakan dalam kuadrat diukur untuk mendapatkan diameter batang, yang juga digunakan untuk perhitungan biomassa. Pengamatan pembungaan dan ketersediaan benih/buah dilakukan setiap bulan dengan mengamati langsung kehadiran bunga, benih/buah per spesies tegakan mangrove. Data yang dicatat berupa data kategori sebagai berikut: tidak ada (bila tidak ditemukan), jarang (bila hanya ditemukan pada sejumlah pohon), banyak (bila ditemukan pada sebagian besar pohon), melimpah (bila ditemukan pada semua pohon dan jumlahnya banyak per pohon).

4. Analisis Data

Data yang terkumpul selanjutnya dianalisis secara deskriptif dan secara inferensial. Secara deskriptif, hasil observasi dan/atau pengukuran dianalisis untuk

disajikan dalam suatu peta tematik. Sementara untuk menelaah penampilan atribut ekologi mangrove menurut perbedaan tekstur sedimen dan salinitas substrat, pendekatan inferensial dilakukan dengan serangkaian analisis sidik ragam.

Analisis deskriptif

Peta tematik suksesi mangrove menurut atribut ekologi dan granulometri sedimen beserta salinitas substratnya disusun berdasarkan hasil analisis ukuran pemusatan dan penyebaran dari data yang terhimpun. Aplikasi statistik ini difasilitasi perangkat lunak Excel. Selanjutnya, hasil pengolahan data ini disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk kemudian digunakan sebagai data dasar dalam pemetaan dengan menggunakan perangkat lunak Canvas.

Pendugaan biomassa

Biomassa tegakan dihitung menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Puts dan Chan (1986) untuk *Rhizophora apiculata* yang tumbuh di hutan mangrove tua di Malaysia. Rumus yang dikembangkan adalah sebagai berikut:

$$\text{Log}_{10} \text{Biomassa} = 2,516 (\text{log}_{10} \text{dbh}) - 0,7673$$

dimana, dbh adalah diameter tinggi dada yang diperoleh dari perhitungan keliling lingkaran batang/3,14. Persamaan biomasa di atas hanya menyediakan indeks bagi biomassa aktual beberapa spesis di lokasi penelitian; oleh karena ketidakterediaan indeks untuk semua spesis di lokasi penelitian.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Ekologi mangrove

Sebanyak 11 spesis mangrove ditemukan di lokasi penelitian, yakni: *Aegiceras corniculatum*, *Avicennia marina*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Ceriops tagal*, *Ceriops decandra*, *Herritiera litoralis*, *Lumnitzera littorea*, *Nypa fruticans*, *Rhizophora stylosa*, *Rizophora mucronata*, *Schyphiphora hydrophyllacea*, *Sonneratia alba*. Tiga spesis (*Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba*, and *Ceriops tagal*) sangat umum dan berdistribusi luas.

Berdasarkan komposisi jenis dan struktur kanopi dominan, ditemukan lima tipe komunitas, yakni:

1. Komunitas I dibentuk oleh *R. apiculata*, *R. stylosa*, and *S. alba*,
2. Komunitas II dibentuk oleh *R. apiculata* and *S. alba* dengan kehadiran sejumlah kecil *B. gymnorrhiza*,
3. Komunitas III merupakan tipe khusus yang dicirikan oleh hadirnya pohon mati ujung (top-dying) spesis *R. apiculata*,
4. Komunitas IV merupakan tipe khusus mangrove di daerah yang agak miring dengan kehadiran bersama *R. apiculata* and *C. tagal*,
5. Komunitas V didominasi oleh *Ceriops tagal* sebagai spesis mangrove bagian belakang (high tidal species) dan biasanya tumbuh kerdil (stunted) dan padat.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kepadatan tegakan dan biomasa bervariasi antar tipe komunitas (Tabel 2). Komunitas III memiliki kepadatan vegetasi terendah sebanyak 21 pohon/ha dengan nilai biomasa terhitung sebesar 76,3 t/ha. Komunitas I dan II yang kurang mengalami gangguan oleh manusia memiliki nilai biomasa yang relatif besar, berturut-turut 91,1 t/ha dan 215 t/ha, dengan kepadatan tegakan masing-masing 26 pohon/ha untuk Komunitas I dan 33 pohon/ha untuk komunitas II. Meskipun Komunitas IV dan V memiliki tegakan terbanyak, masing-masing 67 pohon/ha dan 90 pohon/ha, biomasa kedua komunitas ini relatif rendah (berturut-turut 56,5 t/ha dan 6,5 t/ha).

Tabel 2. Kepadatan tegakan dan biomasa.

Tipe Komunitas	Kepadatan (Pohon/Ha)	Biomasa
Komunitas I	26	91,1 t/ha
Komunitas II	33	215 t/ha
Komunitas III	21	76,3 t/ha
Komunitas IV	67	56,5 t/ha
Komunitas V	90	6,5 t/ha

Pengamatan periode pembungaan dan buah/seedling yang dilakukan sejak November 2002 hingga Oktober 2009 menunjukkan bahwa semua spesies menghasilkan bunga dan buah lebih dari satu kali dalam setahun dengan jumlah yang bervariasi. Frekuensi pembungaan terbanyak dihasilkan oleh *C. tagal*, diikuti oleh *R. Apiculata*, *B. Gymnorrhiza* dan *S. Alba*. Berbeda dengan spesies lainnya, *C. Tagal* dan *R. apiculata* memproduksi bunga dan buah secara kontinu, mengindikasikan periode pembungaan yang singkat dan tingkat keberhasilan polinasi yang tinggi. Kehadiran bunga ditemukan melimpah pada hampir seluruh spesies selang november hingga mei. Temuan penting di lapangan bahwa serangan serangga terhadap buah *S. alba* dan propagule *C. tagal* cukup signifikan, dan ini sangat mempengaruhi produksi benih sehat bagi kedua spesies.

Pengamatan lapangan terhadap distribusi propagules menunjukkan bahwa propagule *B. gymnorrhiza*, *C. tagal* and *R. apiculata* yang berukuran besar jarang ditemukan di daerah terbuka. Mereka hanya hadir secara signifikan di bawah atau sekitar pohon induk. Pada beberapa tempat ke arah laut, anakan *Rhizophora apiculata* telah berhasil tumbuh dalam petak tambak. Dalam jumlah terbatas, anakan *A. marina* and *S. alba* terlihat mulai berhasil tumbuh dalam beberapa petak tambak bagian belakang ke arah darat dan di sisi sebelah atas saluran pasang-surut sebelah Barat.

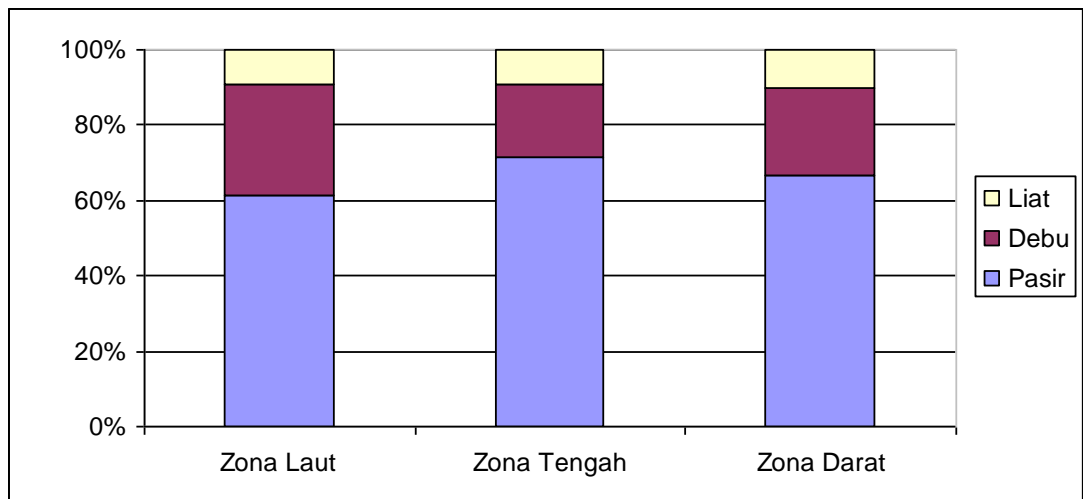
B. Salinitas dan granulometri sedimen

Salinitas

Pengukuran salinitas pada 20 sampel sedimen permukaan yang dicuplik menunjukkan bahwa salinitas bervariasi antara 8 ‰ dan 21 ‰. Beberapa titik sampling pada zona tengah (bekas tambak yang masih terbuka) memiliki salinitas yang relatif tinggi (19 – 21 ‰), sementara itu beberapa titik sampling zona tengah dan sebelah darat yang mendapat masukan air tawar secara reguler memiliki salinitas yang relatif rendah (8 – 12 ‰). Kondisi salinitas yang relatif tinggi pada beberapa titik pengamatan dipertimbangkan menjadi salah satu faktor penting yang mempengaruhi establismen dan pertumbuhan benih mangrove pada lahan bekas tambak. Kematian benih dan pohon muda pada beberapa titik saat musim kemarau dapat disebabkan oleh kondisi salinitas sedimen permukaan yang tinggi.

Granulometri sedimen

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa komposisi sedimen lahan mangrove yang diobservasi didominasi oleh pasir (Gambar 2). Jika dibandingkan antar stasiun pengamatan, komposisi pasir terbanyak ditemukan di zona tengah dengan nilai rata-rata 71,7%, terkecil di zona sebelah laut sebesar 61,6%. Debu ditemukan dalam jumlah terbesar di zona sebelah laut (29,2%) dan terkecil di zona tengah (19,2%). Sementara itu, jumlah liat terbesar sebanyak 10,2% ditemukan di zona sebelah darat dan terkecil 9,1 di zona tengah.



Gambar 2. Komposisi sedimen pada lahan mangrove yang diobservasi.

Hasil analisis terhadap seluruh data komposisi sedimen, diperoleh dua kelompok tekstur yakni lempung berpasir dan lempung. Lempung berpasir nampak mendominasi lahan mangrove baik di sebelah laut, tengah maupun sebelah darat. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa tekstur sedimen pada lahan mangrove bekas tambak yang diobservasi telah mendekati kondisi tektur alami seperti yang dilaporkan oleh Djamaluddin (2004). Jika dibandingkan dengan hasil pengamatan pada tahun 2005 (Buhang, 2005), tektur sedimen sekarang tidak mengalami perubahan.

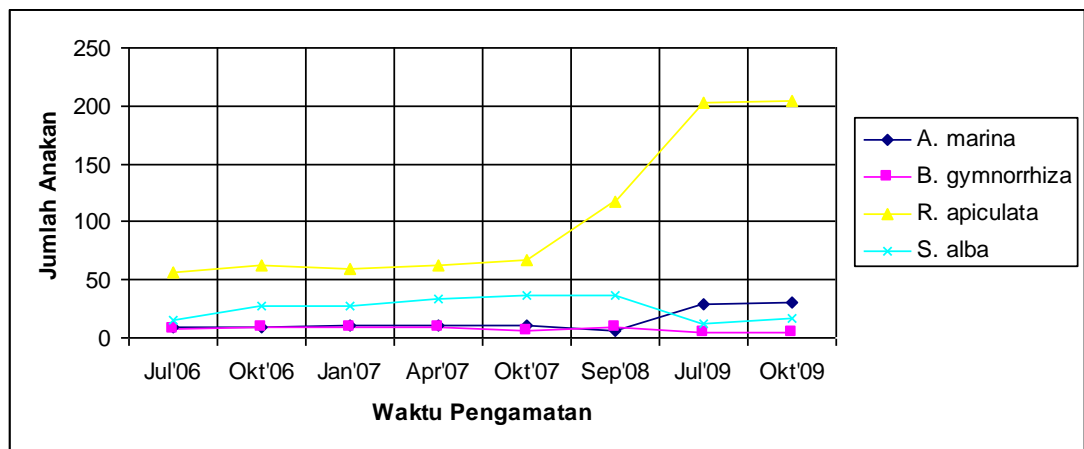
C. Suksesi

Pengamatan lapangan menunjukkan bahwa proses suksesi pada lahan yang direstorasi diinisiasi oleh tiga spesies mangrove (*Avicennia marina*, *Sonneratia alba*, dan *Rhizophora apiculata*). Seedling (anakan) *A. marina* banyak ditemukan di sekitar pohon induk terutama di daerah belakang sebelah darat. Gambar 3 menunjukkan populasi anakan *A. marina* di sekitar pohon induk di daerah dekat saluran sebelah daratan pada lahan restorasi. Diperkirakan anakan spesies ini akan mengalami kesulitan untuk menginvasi daerah bagian tengah dan sisi sebelah laut. Establismen berpeluang terjadi pada lokasi dengan tipe substrat keras dan berpasir di daerah belakang sebelah daratan.

Dua spesies lainnya, *S. alba* and *R. apiculata*, umum ditemukan dalam lahan restorasi. Kedua spesies ini diperkirakan akan mendominasi ekosistem mangrove yang akan terbentuk di masa akan datang. Pengamatan lapangan menunjukkan bahwa anakan kedua spesies ini mulai menginvasi lokasi-lokasi bagian tengah dan sisi belakang sebelah darat lahan restorasi.

Gambar 3 menampilkan komposisi dan jumlah spesies mangrove yang berhasil tumbuh selama waktu pengamatan. Data dalam Gambar ini diringkas dari tujuh kwadrat sampling permanen dalam lokasi restorasi, belum termasuk anakan *C. tagal* yang ditanam secara artifisial. Seperti ditunjukkan dalam Gambar ini, jumlah anakan *R. apiculata* terus meningkat dan sejak Oktober 2007 mengalami peningkatan yang sangat signifikan. Pola ini menjelaskan kemungkinan formasi ekosistem mangrove dengan dominasi *R. apiculata* di masa akan datang. Sementara

itu, anakan *B. gymnorrhiza* ditemukan hanya pada satu kwadrat sampling permanen, dan nampak masih mengalami kesulitan untuk bertahan hidup. Sejak September 2008 (dua tahun setelah restorasi) terjadi establismen anakan *A. marina* pada lokasi pengamatan sebelah darat, sementara sejumlah anakan *S. alba* tidak mampu bertahan hidup. Perubahan pada pola establismen anakan mangrove diduga berkaitan dengan musim kemarau yang relatif panjang selang Tahun 2009. Anakan *B. Gymnorrhiza* dan *S. alba* diduga tidak cukup adaptif terhadap kondisi lahan yang kering saat kemarau.



Gambar 3. Komposisi spesies dan kelimpahan anakan, hasil pengamatan selang Juli 2006 - Oktober 2009 (sumber data hingga oktober 2007 berasal dari studi sebelumnya oleh Djamaluddin, 2006)

Proses establismen yang spesifik terjadi di lokasi sisi sebelah belakang lahan restorasi. Koloni anakan *A. marina* seedling mulai tumbuh tiga bulan setelah dilakukan perbaikan kondisi hidrologi. Koloni ini nampak tumbuh cepat, dan masing-masing individu terlihat sehat. Diperkirakan, koloni ini akan berhasil mengkolonisasi tempat ini.

Pengamatan lapangan juga menunjukkan bahwa kondisi lahan yang direstorasi mendukung pertumbuhan yang lebih sehat pada pohon-pohon muda *R. apiculata* and *S. alba*, sebagaimana yang dapat dilihat dari penampilan fisik mereka. Pohon-pohon muda ini menghasilkan banyak buah dan seedling yang tentunya sangat penting mendukung keberlangsungan proses suksesi sekunder alami. Pada sejumlah lokasi,

laju pertumbuhan pohon muda *C. tagal* yang ditanam secara artifisial nampak meningkat pasca perbaikan hidrologi yang dilakukan. Ke depan, keberlangsungan hidup pohon-pohon muda *C. tagal* ini sangat mungkin terhambat karena kondisi fisik lokasi sepanjang aliran pasang-surut akan mengalami perubahan.

Pada tahap awal restorasi, sejumlah anakan dan pohon muda *R. apiculata* and *B. gymnorhiza* ditanam sepanjang saluran pasang-surut sebelah Utara dan pada lokasi yang tinggi/terangkat. Pertumbuhan anakan dan pohon muda yang ditanam berjalan sangat lambat, dan lebih dari setengah tidak berhasil hidup.

Pada lokasi yang tererosi dan terbuka di sebelah Selatan lahan restorasi, pohon muda *C. tagal* yang ditanam mengalami hambatan pertumbuhan. Pertumbuhan mereka tertahan dan menjadi kerdil karena tekanan salinitas yang tinggi dalam sedimen. Pada lokasi yang sama, pohon muda *R. apiculata* yang ditanam juga mengalami permasalahan yang sama, tetapi tingkat kematian mereka tidak signifikan. Pola perubahan fisik pada lokasi ini diperkirakan akan menuju ke arah kondisi normal, dan ini berbeda dengan arah perubahan fisik yang berlaku pada lokasi sebelah Utara.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Penelitian ini memberikan beberapa petunjuk penting terkait proses suksesi yang berlangsung pada lahan mangrove bekas tambak yang telah direstorasi kondisi hidrologinya, yakni:

1. Ekosistem mangrove sekitar lahan yang direstorasi mampu berperan sebagai penyedia benih alami, ditunjukkan oleh produksi bunga dan buah (propagule) secara periodik dan kehadiran benih alami.
2. Gangguan serangga pemakan buah *S. alba* dan propagule pada *C. tagal* dapat mengurangi produksi benih alami kedua spesies tersebut.
3. Kondisi fisik lahan khususnya salinitas sedimen permukaan yang relatif tinggi (19 – 21 ‰) dapat menjadi penghambat establismen dan pertumbuhan benih mangrove di beberapa lokasi bagian tengah dan belakang sebelah darat, sedangkan tekstur sedimen (lempung berpasir dan lempung) sudah mencirikan tekstur sedimen alami untuk ekosistem mangrove.
4. Secara umum, proses suksesi sekunder yang terjadi diinisiasi oleh anakan spesies *R. apiculata* dengan penyebaran yang cukup luas. Establismen anakan *A. marina* juga terjadi tetapi dengan penyebaran terbatas di sekitar pohon induk. Anakan *S. alba* dan *B. gymnorrhiza* masih mengalami hambatan.

2. Saran

Masih diperlukan tambahan waktu satu (1) tahun pengamatan establismen anakan mangrove secara periodik untuk mendapat gambaran lebih detil tentang proses suksesi yang berlangsung pada lahan yang diobservasi. Kondisi salinitas yang masih relatif tinggi di beberapa lokasi bekas tambak juga perlu untuk diturunkan dengan penanaman artifisial dan penurunan ketinggian permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aluri, R.J.S. (1990). Observations on the floral biology of certain mangroves. *Proceeding of the Indian National Science Academy*, part B, 56(4):367-374.
- Ball, M.C. (1980). Patterns of secondary succession in a mangrove forest of Southern Florida. *Oecologia*, 44:226-235.
- Ball, M.C. (1998). Mangrove species richness in relation to salinity and waterlogging: a case study along the Adelaide River floodplain, northern Australia. *Global Ecology and Biogeography Letter*, 7(1):73-82.
- Banus, M.D. and Kolehmainen, S.E. (1975). Floating, rooting, and growth of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.) seedlings: effect on expansion of mangroves in south-western Puerto Rico. In: Walsh, G.E., Snedaker, S.C., and Teas, H.J. (Eds.). 'Proceeding of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves', pp370-384. Institute of Food and Agriculture Science, University of Florida, Gainesville.
- Bardsley, K.N. (1985). The effects of Cyclone Kathy on mangrove vegetation. In: Bardsley, K.N., Davie, J.D.S. and Woodroffe, C.D. (Eds) 'Coastal and Tidal Wetlands of the Australian Monsoon Region', pp.167-185. Australian University, North Australia Research Unit, Darwin. Mangrove Monograph 1.
- Bazzaz, F.A. (1991). Regeneration of tropical forest: physiological responses of pioneer and secondary species. In: Gomez-Pompa, A., Whitmore, T.C., and Hadley, M. (Eds.). 'Rain Forest Regeneration and Management'. *Man and The Biosphere Series*, 6:91-118.
- Bird, E.C.F. and M.M. Barson. (1979). Stability of mangrove systems. In: Clough, B.F. (ed.) *Mangrove Ecosystem in Australia: Structure, Function and Management*, pp265-275. AIMS with ANU Press, Canberra, Australia.
- Blasco, F. (1975). The mangroves of India. *Travaux de la Section Scientifique et Technique*, 14(1):101-175.
- Blasco, F. (1984). Taxonomic considerations of the mangrove species. In: Snedaker, S.C. and Snedaker, J.G. (Eds.). *The Mangrove Ecosystem: Research Methods*, pp81-90. UNESCO.
- Brockmeyer, R.E.Jr., Rey, J.R., Virnstein, R.W., Gilmore, R.G., and Ernest, L. (1997).
Rehabilitation of impounded estuarine wetland by hydrologic reconnection to the Indian River Lagoon, Florida (USA). *Wetland Ecology and Management*, 4(2):93-109.
- Buhang, R. SY. (2005). Komposisi dan kandungan bahan organik sediment lahan mangrove sebelah Timur Desa Tiwoho Kecamatan Wori. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Unsrat.
- Chapman, V.J. (1966). Some factors involved in mangrove establishment. *Scientific Problems in Humid Tropical Zone Deltas*. UNESCO, pp219-224.

- Chapman, V.J. (1976). Mangrove vegetation. J. Cramer, Vaduz.447p.
- Choy, S.C. and Booth, W.E. (1994). Prolong inundation and ecological changes in an *Avicennia* mangrove: implications for conservation and management. *Hydrobiologia*, 285:237-247.
- Cintron, G., Lugo, A.E., Pool, D.J., and Morris, G. (1978). Mangroves of arid environments in Puerto Rico and adjacent islands. *Biotropica*, 10(2):110-121.
- Cintron – Molero, G. (1992). Restoring mangrove systems. Restoring the Nation's marine environment. G.W. Thayer, ed., Maryland Sea Grant Program, College Park, MD.223-277.
- Claridge, D and J. Burnett. (1992). Mangroves in focus. *Marino Lithographics*, Queensland. 160p.
- Clarke, P.J. (1993). Dispersal of gray mangrove (*Avicennia marina*) propagules in south-eastern Australia. *Aquatic Botany*, 45:192-204.
- Clough, B.F. (1979). Mangrove ecosystem in Australia: structure, function and management. Proceedings of the Australian National Mangrove Workshop, Australian Institute of Marine Science, Cape Ferguson 18-20 April 1979.
- Craighead, F.C. (1971). The trees of south Florida, vol. 1. University of Miami Press, Coral Gables, Florida.
- Craighead, F.C. and Gilbert, V. (1962). The effect of hurricane Donna on the vegetation of southern Florida. *Quart. J. Fla. Acad. Sci.*, 25(1):1-28.
- Crawley, M.J. (1997). Plant ecology. Blackwell Scientific Publication, London. pp77-96.
- Davey, J.E. (1975). Notes on the mechanism of pollen release in *Bruguiera gymnorhiza*. *South Africa Journal of Botany*, 41:269-272.
- Davie, J.D.S. (1983). Pattern and process in the mangrove ecosystems in Moreton Bay, Southern Queensland, Ph.D. Thesis, University of Queensland, Australia.
- Ding Hou. (1958). Rhizophoraceae. *Flora Malesiana*, I(5):429-493.
- Djameluddin, R. (2002). The dynamics of mangrove forest in relation to die-back and human use in Bunaken National Park, North Sulawesi, Indonesia. Doctoral thesis in the University of Queensland, Australia. 327p.
- Duke, N.C. (1991). A systematic revision of the mangrove genus *Avicennia* (Avicenniaceae) in Australia. *Australian Systematic Botany*, 4:299-324.
- Duke, N.C. (1992). Mangrove floristics and biogeography. In: Robertson, A.I. and Alongi, D.M. (Eds.). 'Coastal and Estuarine Studies',pp63-100. American Geophysical Union, Washington, D.C.
- Duke, N.C. (1996). Mangrove reforestation in Panama: an evaluation of planting in areas deforested by a large oil spill. In: Field, C. (Ed.). 'Restoration of Mangrove Ecosystems', pp.209-232. International Society of Mangrove

Ecosystems ISME and International Tropical Timber Organization ITTO, Okinawa, Japan.

- Duke, N.C. (2001). Gap creation and regenerative process driving diversity and structure of mangrove ecosystems. *Wetlands Ecology and Management*, 9:257-269.
- Duke, N.C., Ball, M.C., and Ellison, J.C. (1998). Factor influencing biodiversity and distribution gradients in mangrove. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7(1):27-47.
- Duke, N.C., Burns, K.A., Swannell, R.P.J., Dalhaus, O. and Rupp, R.J. (1997). Dispersant use and a bioremediation strategy as alternate means of reducing impacts of large oil spills on mangroves: the Gladstone field trial. *Marine Pollution Bulletin*, 41(7-12):403-412.
- Duke, N.C., Pinzone, Z.S. and Prada, M.C. (1993). Mangrove forests recovering from two large oil spills in Bahia Las Minas, Panama, in 1992. In: Keller, B.D. and Jackson, J.B.C. (Eds.). 'Long-term Assessment of the 1986 Oil Spill at Bahia Las Minas, Panama', pp.39-80. Final Report, Marine Spill Response Corporation MSRC, Washington, D.C.
- Duke, N.C., Pinzone, Z.S. and Prada, M.C. (1999). Recovery of tropical mangrove forests following a major oil spill: a study of recruitment and growth, and benefits of planting. In: Yanez-Arancibia, A. and Lara-Domingues, A.L. (Eds.). 'Ecosistemas de manglar en America Tropical', pp231-254. Instituto de Ecologia, A.C. Mexico, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Springs MD USA.
- Eagler, F.E. (1952). Southeast saline everglades vegetation, Florida and its mangement. *Vegetatio*, 3:213-265.
- Ellison, J.C. and Stoddart, D.R. (1991). Mangrove ecosystem collapse during predicted sea-level rise: holocene analogues and implications. *Journal of Coastal Research*, 7(1):151-166.
- Ewel, K.C., Zheng, S., Pinzon, Z.S. and Bourgeois, J.A. (1998). Environmental effects of canopy gap formation in high-rainfall mangrove forests. *Biotropica*, 30(4):510-518.
- Feller, I.C. and Mathis, W.N. (1997). Primary herbivory by wood-boring insects along an architectural gradient of *Rhizophora mangle*. *Biotropica*, 29:440-451.
- Feller, I.C. and McKee, K.L. (1999). Small gap creation in a Belizean mangrove forests by a wood-boring insect. *Biotropica*, 31:607-617.
- Fromard, F., Puig, H., Mougin, E., Marty, G., Betoulle, J.L. and Cadamuro, L. (1998). Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. *Oecologia*, 115:39-53.
- Galloway, W.E. (1975). Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems. In: Broussard, M.L.

- (Ed.). Deltas, Models for Exploration, pp87-98. Houston Geological Society, Houston.
- Gara, R.I., Sarango, A. and Cannon, P.G. (1990). Defoliation of an Ecuadorian mangrove forest by the bagworm, *Oiketicus kirbyi* Guilding (Lepidoptera: Psychidae). *Journal of Tropical Forest Science*, 3(2):181-186.
- Gordon, D.M. (1988). Disturbance to mangroves in tropical-arid Western Australia: hypersalinity and restricted tidal exchange as factors leading to mortality. *Journal of Arid Environment*, 15:117-145.
- Hachinohe, H., Suko, O., and Ida, A. (1998). Nursery manual for mangrove sepsis. Ministry of Forestry and Estate Crops – JICA, Bali Post. 49p.
- Heatwole, H. And Lowman, M. (1986). Dieback: death of an Australian landscape. Reed books Pty Ltd., NSW. 150p.
- Heinson, G.E. and Spain, A..V. (1974). Effect of a tropical cyclone on littoral and sublittoral communities and on a population of dugong (*Dugong dugon*). *Biol. Cons.*, 6(2):143-152.
- Hogarth, P.J. (1999). The biology of mangrove. Oxford University Press, New York. 228p.
- Houston, W.A. (1999). Severe hail damage to mangroves at Port Curtis, Australia.
- Hutchings, P and P. Saenger. (1987). Ecology of Mangroves. University of Queensland Press. St. Lucia, Australia. 388p.
- Innest, J.L. (1993). Forest health: its assessment and status. CAB Inter., Wallington, U.K. 677p.
- Jimenez, J.A., Lugo, A.E., and Cintron, G. (1985). Tree mortality in mangrove forests. *Biotropica*, 17:177-185.
- Juncosa, A.M. (1982). Embryo and seedling development in the Rhizophoraceae. Ph.D Thesis. Duke University, Durham, North Carolina.
- Kabes, Y. (2002). Evaluasi kondisi fisik lahan mangrove bekas tambak di Desa Tiwoho Kecamatan Wori. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Unsrat.
- Kangas, P.C. and Lugo, E. (1990). The distribution of mangroves and saltmarsh in Florida. *Tropical Ecology*, 31(1):32-39.
- Lewis, R.R. (1982a). Mangrove forests. Creation and restoration of coastal plant communities. R.R. Lewis, ed., CRC Press, Boca Raton, FL.153-172.
- Lewis, R.R. (1982b). Low marshes, peninsular Florida. Creation and restoration of coastal plant communities. R.R. Lewis, ed., CRC Press, Boca Raton, FL.153-172.
- Lewis, R.R. and Dunstan, F.M. (1975). The possible role of *Spartina alterniflora* loisel. in establishment of mangroves in Florida. In: Lewis, R.R. (Ed.).'Proceeding of the Second Annual Conference on Restoration of Coastal

- Vegetation in Florida', pp82-101. Hillsborough Community College, Tampa, Florida.
- Lewis, R.R., and Marshall, M.J. (1997). Principal of successful restoration of shrimp aquaculture ponds back to mangrove forests. *Programa/resume de Marcuba '97, September 15/20, Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba*. 126.
- Milano, G.R. (1999). Restoration of coastal wetlands in southeastern Florida. *Wetland Journal*, 11(2):15-24, 29.
- Liyanage, S. (2002). Planting manual for the mangrove of Sri Lanka. MAP-SFFL Mangrove Research Centre, Chilaw, Sri Lanka. 60p.
- Lugo, A.E. (1980). Mangrove ecosystems: successional or steady state. *Biotropica*, 12(suppl.):65-72.
- Lugo, A.E. and Zucca, C.P. (1977). The impact of low temperature stress on mangrove structure and growth. *Tropical Ecology*, 18:149-161.
- Lugo, A.E., G. Evink, M.M. Brinson., A. Broce and S.C. Snedaker. (1975). Diurnal rates of photosynthesis, respiration and transpiration in mangrove forests of south Florida. In: Golley, F. and Medina, E. (Eds.). 'Tropical Ecological Systems', pp 335-350. Springer-Verlag, New York.
- Macnae, W. (1968). A general account of the fauna and flora of mangrove swamps and forests in the Indo-West Pacific region, *Adv. Mar. Biol.* 6:73-270.
- Mambberley, D.J. (1991). Tropical rainforest ecology. Blackie and Son Ltd., 2nd ed., Glasgow, London.300p.
- Mannion, P.D. (1989). Hardwood forest decline-concept and management. *Proc. Soc. Amer. For. Conv.*, Rochester, N.Y. pp127-130.
- Mannion, P.D. (1991). Tree disease concepts. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.Y. 399pp.
- McIntosh, R.P. (1981). Succession and ecological theory. In: West, D.C., Shugart, H.H., and Botkin, D.B. (Eds.). 'Forest Succession: Concepts and Applications', pp10-23. Springer Verlag, N.Y.
- McGuiness, K.A. (1997). Dispersal, establishment and survival of *Ceriops tagal* propagules in a north Australian mangrove forest. *Oecologia*, 109:80-87.
- Mueller-Dombois, D. (1992). A natural dieback theor, cohort senescence as an alternative to the decline disease theory. In: Manion, P.D. and Lachanche, D. (Eds.). 'Forest Decline Concepts', pp26-37. The American Phytopathological Society, Minnesota.
- Oliver, C.D. and B.C. Larson. (1996). Forest stand dynamics. Wiley, N.Y. 449p.
- Padati, Y. (2006). Morfometri dan tingkat perendaman pada lahan mangrove bekas tambak yang telah direhabilitasi secara fisik di sebelah Timur Desa Tiwoho Kecamatan Wori. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Unsrat.
- Paijmans, K. and Rollet, B. (1977). The mangroves of Galley Reach, Papua New Guinea. *Forests Ecology and Management*, 1:119-140.

- Pegg, K.G., Gillespies, N.C., and Forsberg, L.I. (1980). *Phytophthora* sp. associated with mangrove death in central coastal Queensland, Australia. *Plant Physiol.*, 9:6-7.
- Percival, M. and J.S. Womersley. (1975). Floristics and ecology of the mangrove vegetation in Papua New Guinea. *Bot. Bull.*, No. 8., Department of Forests, Division of Botany, Lee, Papua New Guinea.
- Pernetta, J.C. (1993). Mangrove forests, climate change and sea level rise: hydrological influences on community structure and survival, with examples from the Indo-West Pacific. IUCN, Gland, Switzerland. 46p.
- Primarck, R.B., Duke, N.C., and Tomlinson, P.B. (1981). Floral morphology in relation to pollination ecology in five Queensland coastal plants. *Austrobaileya*, 4:346-355.
- Rabinowitz, D. (1978). Dispersal properties of mangrove propagules. *Biotropica*, 10:47-57.
- Richards, P.W. (1996). The tropical rain forest. Cambridge University Press, 2nd ed. 575pp.
- Saenger, P. And Bellan, M.F. (1995). The mangrove vegetation of the Atlantic Coast of Africa. Universite de Toulouse Press, Toulouse.96pp.
- Semeniuk, V. (1980). Mangrove zonation along an eroding coastline in King Sound, North-western Australia. *Journal of Ecology*, 68:789-812.
- Servant, J.N., Jean-Bart, and Sobesky, O. (1978). Le phenomene "etang bois-sec": une zone d' hypersalvre en mangrove. *Bull. De Liaison du Groupe de Travail*, 4:64-69. Comite Gestion des Ressources Naturelles Renovedable, Guadelope.
- Smith III, T.J., Robblee, M.B., Wanless, H.R. and Doyle, T.W. (1994). Mangroves, hurricanes, and lightning strikes. *Bioscience*, 44(4).
- Smith-III, T.J. (1992). Forests structure. In: Robertson, A.I. and Alongi, D.M. (Eds.). 'Tropical Mangrove Ecosystems', pp101-136. American Geophysical Union, Washington, D.C.
- Soerianegara, I. (1968). The cause of mortality of *Bruguiera gymnorrhiza* trees in the mangrove forest near Tjilacap, Central Java. *Rimba Indonesia*, 13(1/4):1-11.
- Steinke, T.D. (1975). Some factors affecting dispersal and establishment of propagules of *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. In Walsh, G.E., Snedaker, S.C., and Teas, H.J. (Eds.). 'Proceeding of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves', pp402-414. Institute of Food and Agricultural Science, University of Florida, Gainesville.
- Steinke, T.D. and Naidoo, Y. (1991). Respiration and net photosynthesis of cotyledons during establishment and early growth of propagules of mangroves, *Avicennia marina*, at three temperatures. *South African Journal of Botany*, 57:171-174.

- Stocker, G.C. (1976). Report on cyclone damage to natural vegetation in the Darwin area after Cyclone Tracy, 25 December, 1974. Forestry and Timber Bureau, Leaflet No. 127, Darwin.
- Stoddart, D.R. (1971). Coral reefs and islands and catastrophic storms. In: Steers, J.A. (Ed.). 'Applied Coastal Geomorphology', pp155-197. Macmillan, N.Y.
- Tabb, D.C. and Jones, A.C. (1962). Effect of hurricane Donna on the aquatic fauna of the north Florida Bay. *Transaction of the American Fisheries Society*, 91(4):375-378.
- Tho, Y.P. (1974). The termite problem in plantation forestry in Peninsular Malaysia. *Malay. For.*, 37:278-283.
- Tho, Y.P. (1982). Gap formation by the termite *Microtermes dubius* in lowland forests of Peninsular Malaysia. *Malay. For.*, 45:184-192.
- Thom, B.G. (1967). Mangrove ecology and deltaic geomorphology, Tobasco, Mexico. *Journal of Ecology*, 55:301-343.
- Thom, B.G. (1982). Mangrove ecology - a geomorphological perspective. In: Clough, B.F. (Ed.). 'Mangrove ecosystem in Australia: Structure, Function and Management', pp3-17. AIMS with ANU Press, Canberra, Australia.
- Tilman, D. (1997). Mechanisms of plant competition. In: Crawley, M.J. (Ed.). 'Plant Ecology', pp239-261. Blackwell Science Ltd., 2nd ed.
- Tomlinson, P.B. (1986). The botany of mangroves. Cambridge University Press, New York. 413p.
- Turner, R.E., and Lewis, R.R. (1997). Hydrologic restoration of coastal wetlands. *Wetlands Ecology and Management*, 4(2):65-72.
- Vandermeer, J. (1996). Disturbance and neutral competition theory in rain forest dynamics. *Ecological Modeling*, 85:99-111.
- Van Steenis, C.G.G.J. (1955-1958). Flora Malesiana. Noordhoff-Kolff N.V., Djakarta. pp472-473.
- Watson, J.G. (1928). Mangrove forests of the Malay Peninsula. *Malay, For. Rec.* No.6.
- Wesre, C.J., Cahill, D., and Stamps, D.J. (1991). Mangrove dieback in north Queensland, Australia. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 79:165-167.
- Whitmore, T.C. (1991). Tropical rain forest dynamics and its implication for management. In: Gomez-Pompa, A., Whitmore, T.C., and Hadley, M. (Eds.). 'Rain Forest Regeneration and Management', Vol. 6, pp67-89. Man and The Biosphere Series.