

KIARA
Koalisi Rakyat untuk Keadilan Perikanan



MANGROVE

Biologi, Ekologi,
Rehabilitasi, dan Konservasi

Rignolda Djamaluddin

UNSRAT
PRESS

Mangrove

Biologi, Ekologi, Rehabilitasi, dan Konservasi

Rignolda Djamaluddin

Program Studi Ilmu Kelautan,
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,
Universitas Sam Ratulangi

Mangrove

Biologi, Ekologi, Rehabilitasi, dan Konservasi

Rancang Sampul : Brama Jabar S.Ik
Judul Buku : **Mangrove**
Biologi, Ekologi, Rehabilitasi, dan Konservasi
Penulis : Rignolda Djamaluddin
Penerbit : **Unsrat Press**
JI. Kampus Unsrat Bahu Manado 95115
Email : **percetakanunsrat@gmail.com**
ISBN : 978-602-0752-28-0

Cetakan Pertama 2018

Dilarang mengutip dan atau memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apa pun baik cetak, fotoprint, mikrofilm dan sebagainya.

Kata Pengantar

Sebagai salah satu sumber daya pantai tropis yang penting, selain terumbu karang dan lamun, mangrove belum menjadi fokus perhatian banyak peneliti botani, perikanan maupun kelautan. Kebanyakan laporan tentang mangrove berkaitan dengan inisiatif penanaman dan kampanye perlindungan yang dilakukan pemerhati lingkungan dan kelompok masyarakat tertentu. Bentuk laporan lainnya yang sering dipublikasikan yakni terkait dengan pengurangan luasan atau deforestasi, dampak kerusakan akibat berbagai faktor terutama antropogenik.

Sedikit sekali dipublikasikan buku-buku referensi yang membahas mangrove secara mendalam dan komprehensif. Padahal aspek-aspek spesifik tentang mangrove terkait dengan biologi, struktur komunitas dan perkembangannya, karakteristik habitat dan dinamikanya, rehabilitasi dan konservasi, merupakan satu kesatuan pengetahuan yang harus dipahami dengan baik. Kelemahan dalam pemahaman tentang aspek-aspek tersebut menjadi persoalan mendasar jika dikaitkan dengan kegagalan kita dalam pengelolaan mangrove secara berkelanjutan. Indonesia telah banyak kehilangan sumber daya ini, dan upaya-upaya rehabilitasi masih belum memberikan hasil yang memuaskan.

Kondisi mangrove di Indonesia yang kian memprihatinkan saat ini mendorong penulis untuk mempublikasikan buku ini. Proses belajar panjang baik formal maupun informal, uji dan survei lapangan hingga penelitian-penelitian jangka pendek maupun panjang telah dilakukan penulis, yang semuanya kemudian dituangkan dalam buku ini. Meskipun demikian, penulis merasa masih ada bagian topik tertentu tentang mangrove yang harus terus dipelajari karena masih meninggalkan pertanyaan-pertanyaan yang harus diungkap jawabannya. Contoh sederhana, berapa umur maksimum yang dapat

dicapai individu mangrove?, berapa banyak spesies mangrove (true mangrove) yang ada di Indonesia?, pada tingkat praktis, kondisi lahan mangrove seperti apa yang cocok untuk dijadikan tambak dan variabel utama apa yang harus digunakan untuk menentukannya? Menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut hanya dapat dilakukan dengan terus mempelajari mangrove secara serius dan mendalam.

Kehadiran buku ini diharapkan dapat menjadi sumber bacaan menarik tentang mangrove dan dinamikanya. Pembaca diajak untuk mendalami aspek-aspek mendasar terkait mangrove baik pada tingkat teoritis maupun praktis. Hal yang menjadi harapan utama setelah membaca buku ini yakni pembaca memperoleh pengetahuan-pengetahuan baru yang dapat digunakan dalam pengembangan ilmu, pembelajaran dan penelitian, serta pada tingkat praktis dapat digunakan untuk mengevaluasi kerja-kerja di lapangan atau mempraktekkannya dalam berbagai upaya pelestarian dan pengelolaan berkelanjutan sumber daya mangrove.

Penulis telah berupaya semaksimal mungkin untuk menulis dan merampungkan buku ini dengan menuangkan segala pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki. Masih ada bagian tulisan dari buku ini yang harus dikembangkan, dan penulis akan terus berupaya untuk menelusuri dan mempelajarinya. Dapat menghadirkan buku ini menjadi sebuah kebanggaan bagi penulis karena telah mengambil peran dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan edukasi khususnya berkaitan dengan sumber daya mangrove.

Manado, November, 2018

R. Djamaluddin

Ucapan Terima Kasih

Hampir keseluruhan proses belajar dan kegiatan terkait pekerjaan penulis selalu ditemani istri tercinta Deitje Tamod dan kedua anak Olivia Mashita dan Reza. Kesetiaan dan kerelaan mereka menerima keadaan dalam situasi apapun menjadi penyemangat bagi Penulis.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Marine Science Project yang telah memberi kesempatan melakukan riset tentang suplai air tanah ke dalam ekosistem mangrove. Riset yang dilakukan pada tahun 1990 ini merupakan riset pertama penulis terkait mangrove. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Rohmin Dahuri, Dr. Enan Adiwilaga, dan Dr. Hapasis Sanusi yang telah membimbing penulis dalam penyelesaian riset terkait kontribusi mangrove terhadap ketersediaan Nitrogen dan Fosfor di perairan.

Penulis berterima kasih kepada Dr. Jim Davie, Ass. Prof. David Lamb, Prof. Eugene Moll, dan Dr. Norm Duke yang telah banyak membantu penulis saat belajar dan melakukan riset terkait mangrove di Queensland University, Australia. Kepada pihak-pihak yang telah memfasilitasi berbagai riset saya terkait mangrove yakni: Kemenristekdikti, NRM-USAID, IUCN, Balai Taman Nasional Bunaken, Mangrove Action Project, Rufford, Whitley Fund for Nature, dan pihak lainnya yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, diucapkan terima kasih.

Dalam banyak kegiatan di lapangan, penulis banyak dibantu oleh staf Perkumpulan KELOLA (Kelompok Pengelola Sumber daya Alam) yakni: Decky Tiwow, Sugeng Sutrisno, Ahmad Basoan, Zulkifli Makzum, Helda Rapar, Temmy Nugraha, Muh. Afif Kaumbo, Yahya Laode, Idrus Ibrahim, Ivonne Wua, Brama Jabar, Om Ano dan Akang, dll. Bantuan dan kesempatan belajar tentang mangrove juga diberikan oleh masyarakat Tiwoho, Arakan, Rap-rap, Bango, Deaga, Petambak Dipasena, Dagad di Lombok Timur,

Asosiasi Nelayan Tradisional Sulawesi Utara (Antra-Sulut), dan tentu saja dari almamater penulis yakni Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Unsrat. Atas segala bantuan diucapkan terima kasih.

Dalam cetakan pertama buku ini bantuan juga diberikan oleh KIARA (Koalisi Rakyat untuk Keadilan Perikanan). Atas bantuannya diucapkan terima kasih.

Daftar Isi

Kata Pengantar	iii
Ucapan Terima Kasih	v
Daftar Singkatan	xi
1. Pendahuluan	1
2. Definisi, Asal & Distribusi	9
2.1 Definisi Mangrove	9
2.2 Asal Mangrove	10
2.3 Distribusi di Dunia	11
2.4 Luas dan Distribusi Mangrove di Indonesia	14
3. Karakteristik Habitat	21
3.1 Pandangan Teoritis	21
3.2 Perendaman dan Sistem Hidrologi	26
3.3 Tekstur dan Salinitas Substrat Permukaan	32
3.4 Ketersediaan Hara	35
4. Biologi & Adaptasi	41
4.1 Mofologi, Anatomi dan Adaptasi Fisiologis	41
A. Bentuk tajuk pohon mangrove	41
B. Bentuk dan anatomi daun	43
C. Bentuk dan anatomi batang	45
D. Bentuk dan anatomi akar	46
E. Ciri xeromorfik dan transpirasi	49
F. Respon terhadap garam	50
4.2 Pembungaan (flowering)	52
4.3 Penyebaran propagule (buah, biji, benih)	54
4.4 Germinasi dan establismen	55
4.5 Laju Pertumbuhan	57
5. Proses Perkembangan & Regenerasi	61
5.1 Tahapan Perkembangan	61
5.2 Suksesi Ekologi	66
5.3 Laju Balik-Ulang (Turnover Rate)	68
5.4 Kasus Mangrove Dieback di Taman Nasional Bunaken	70
A. Dieback akibat penuaaan	75
B. Dieback akibat sedimentasi dan perubahanekstrim pada lahan	77
C. Dieback akibat serangan petir	79

D. Pengaruh penebangan terhadap fenomena dieback	79
6. Klasifikasi Vegetasi & Struktur Komunitas	81
6.1 Klasifikasi Formasi Struktural	82
6.2 Zonasi dan Profil Vegetasi	87
6.3 Distribusi Kelas Diameter dan Biomassa	90
7. Dampak Penebangan: Studi Kasus Taman Nasional Bunaken	95
7.1 Sejarah Pemanfaatan	96
7.2 Dampak Terhadap Sifat Pertumbuhan dan Atribut Struktural	98
7.3 Dampak Terhadap Perubahan Fisik Lahan	101
7.4 Dampak Terhadap Penciptaan Ruang Terbuka	102
A. Formasi ruang terbuka pada lokasi penebangan intensif di Pulau Mantehage	103
B. Formasi ruang terbuka pada lokasi penebangan <i>Ceriops tagal</i>	105
7.5 Pembukaan Tambak dan Dampaknya	107
8. Rehabilitasi Lahan Mangrove	111
8.1 Tujuan Rehabilitasi	112
8.2 Survei Lahan Rencana Rehabilitasi	113
8.3 Memilih Teknik Rehabilitasi	121
8.4 Teknik Penanaman Artifisial (Artificial Plantation)	123
A. Penyediaan bibit	123
B. Persemaian	125
C. Penanaman	126
D. Pemeliharaan lahan	126
8.5 Teknik Restorasi Hidrologi	127
8.6 Konsep Spesies Tertentu Memfasilitasi Spesies Lain	131
9. Konservasi & Pemanfaatan Mangrove Berkelanjutan	133
9.1 Isu Penting Terkait Konservasi Mangrove	134
A. Arah kebijakan dan peraturan terkait	135
1. Jalur hijau (mangrove belt)	135
2. Strategi nasional (stranas) di bidang Pengelolaan mangrove dan Kelompok Kerja Mangrove Nasional (KKMN)	135
3. Peraturan-peraturan	141
4. Catatan dalam penegakan hukum	145
B. Tragedi properti publik (tragedy of common properties)	147
C. Stabilitas lahan mangrove	148
D. Kegagalan rehabilitasi dengan cara penanaman artifisial	151
E. Rehabilitasi mangrove secara ekologis (<i>ecological</i>)	

<i>mangrove rehabilitation</i>)	153
F. Pengelolaan mangrove berbasis komunitas (<i>community-based mangrove management</i>)	155
G. Mangrove dan mitigasi bencana	159
9.2 Alternatif Pemanfaatan Berkelanjutan	160
A. Pengembangan eko-wisata	160
B. Pemanfaatan langsung produk berbahan mangrove	163
C. Pengembangan usaha penangkapan dan budidaya kepiting	167
D. Penebangan secara terbatas	169
10. Metode Penelitian & Pengenalan Mangrove Flora	173
10.1 Metode Penelitian	174
A. Pengamatan struktur vegetasi dan respon Terhadap gangguan	174
B. Metode kuadran kontinu	177
C. Metode pemeriksaan titik (spot check method)	180
10.2 Mangrove Flora	182
A. <i>Acrostichum speciosum</i> Willdenow, 1810	182
B. <i>Achantus ilicifolius</i> Linnaeus, 1753	183
C. <i>Aegiceras corniculatum</i> (Linnaeus) Blanco., 1837	184
D. <i>Aegiceras floridum</i> Roemer dan Schultes, 1819	185
E. <i>Avicennia marina</i> (Forssk.) Vierh., 1907	186
F. <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> (Linnaeus) Lamk. 1797-8	187
G. <i>Bruguiera cylindrica</i> (Linnaeus) Blum, 1827	188
H. <i>Ceriops zippeliana</i> Blume	189
I. <i>Ceriops tagal</i> (Perr.) C.B. Robinson, 1908	190
J. <i>Excoecaria agallocha</i> Linnaeus, 1759	191
K. <i>Heritiera littoralis</i> Dryand, 1789	192
L. <i>Lumnitzera littorea</i> (Jack) Voigt, 1845	193
M. <i>Lumnitzera racemosa</i> Willd, 1803	194
N. <i>Nypa fruticans</i> (Thunb.) Wurm.,1781	195
O. <i>Osbornia octodonta</i> F. Muell.	196
P. <i>Phempis acidula</i>	197
Q. <i>Rhizophora apiculata</i> Blume, 1827	198
R. <i>Rhizophora mucronata</i> Lamk., 1804	199
S. <i>Rhizophora stylosa</i> Griffith, 1854	200
T. <i>Scyphyphora hydrophyllacea</i> Gaertn.f. 1805	201
U. <i>Sonneratia alba</i> J. Smith, 1819	202
V. <i>Sonneratia caseolaris</i> (Linnaeus) Engler, 1897	203
W. <i>Sonneratia ovata</i> Backer, 1929	204
X. <i>Xylocarpus granatum</i> König, 1784	205
Y. <i>Xylocarpus moluccensis</i> Pierre, 1897	206

Daftar Pustaka	207
Glosarium	221
Indeks	231
Tentang Penulis	237

Daftar Singkatan

AEP (Atlantic East Pacific)

Bakosurtanal (Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional)

Bappeda (Badan Perencanaan Pembangunan Daerah)

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

FPC (Foliage Projective Cover)

HAT (Highest Astronomical Seawater Tide)

HHK (Hasil Hutan Kayu)

HHNK (Hasil Hutan Non-Kayu)

HPH (Hak Pengusahaan Hutan)

HSL (Highest Seawater Level)

IBCSWG (International Blue Carbon Scientific Working Group)

IWP (Indo-Pacific West)

IUCN (International Union for Conservation of Nature)

Kab (Kabupaten)

KELOLA (Kelompok Pengelola Sumber Daya Alam)

Kemenristekdikti (Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia)

KKMN (Kelompok Kerja Mangrove Nasional)

LS (Lintang Selatan)

LU (Lintang Utara)

MAP (Mangrove Action Project)

MSL (Mean Seawater Level)

NASA (National Aeronautics and Space Administration)

NC-IUCN (Netherland Committee – International Union for Conservation of Nature)

NRM-USAID (Natural Resources Management – United States Agency for International Development)

PN (Pengadilan Negeri)

PSAP-UGM (Pusat Studi Asia Pasifik Universitas Gadjah Mada)
PSSDAL (Pusat Survei Sumber Daya Alam Laut)
SD (Standard Deviation)
SFFL (Small Fisher Folk Federation of Lanka)
SK (Surat Keputusan)
SKB (Surat Keputusan Bersama)
SNPEM (Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove)
Stranas (Strategi Nasional)
TGHK (Tata Guna Hutan Kesepakatan)
TNB (Taman Nasional Bunaken)
UNEP (United Nations Environment Programme)
USDA (United State Department of Agriculture)
UU (Undang-Undang)

1 Pendahuluan

Mangrove didefinisikan berbeda-beda oleh para ahli, tetapi pandangan yang umum berlaku yakni; mangrove merupakan tumbuhan tingkat tinggi yang berhasil tumbuh dan berkembang pada habitat intertidal yang berada di antara daratan dan laut di daerah tropis dan sub-tropis. Sifat halofitik atau kemampuan hidup pada lingkungan bergaram pada tumbuhan mangrove dapat terjadi karena tumbuhan ini berhasil mengembangkan adaptasi khusus secara molekular, anatomi, morfologi, dan fisiologi. Tumbuhan ini hadir dalam beberapa bentuk fungsional yakni berupa pohon, semak, palma, dan paku-pakuan. Dalam buku ini, istilah mangrove dibatasi secara khusus untuk tumbuhan mangrove sejati (*true mangrove*), yaitu jenis tumbuhan yang benar-benar tumbuh di habitat intertidal bergaram. Jenis tumbuhan lainnya yang dikelompokkan sebagai mangrove asosiasi atau tumbuhan pantai (*coastal plant*) tidak disertakan dalam pembahasan pada buku ini.

Indonesia sangatlah beruntung karena memiliki tumbuhan mangrove dengan keanekaragaman yang tinggi dan ukuran luasan terbesar di dunia. Kondisi ini dimungkinkan karena beberapa faktor antara lain yang utama yaitu terkait dengan posisi geografis, sejarah geologi dan tipologi kepulauan, serta ciri oseanografi khas yang dimiliki Indonesia. Berada dekat katulistiwa sehingga mendapat cukup penyinaran matahari sepanjang tahun dengan temperatur udara rata-rata sekitar 27° C, diapit oleh dua benua (Asia dan Australia) dan dua samudera (Hindia dan Pasifik), beriklim muson tropis dengan dengan dua musim yaitu hujan (basah) dan kemarau (kering). Sejarah geologi yang berbeda-beda dan tipologi kepulauan memberi kontribusi terhadap keragaman habitat di wilayah intertidal. Massa air Samudera Hindia dari bagian Barat, massa air Samudera Pasifik dari bagian Timur, dan massa air Laut China Selatan dari bagian Utara, sirkulasi dan pencampurannya mempengaruhi

kualitas air laut dan kehadiran benih mangrove dari berbagai tempat. Secara alamiah, seluruh daerah intertidal wilayah perairan pantai Indonesia dapat ditumbuhi tumbuhan mangrove sepanjang kondisi lokal mendukung pertumbuhannya.

Secara umum, sebaran mangrove di dunia dibatasi oleh kondisi temperatur udara kurang dari 23° C, dan spesies *Avicennia marina* tercatat memiliki sebaran terjauh ke arah Utara maupun Selatan belahan dunia. Hal menarik tentang biogeografi mangrove yaitu adanya fakta bahwa terdapat perbedaan jumlah spesies mangrove yang sangat menonjol antara belahan bumi bagian Timur termasuk Afrika Timur, India, Asia Tenggara, Australia dan Pasifik Barat, dan belahan bumi bagian Barat mencakup Afrika Barat, Amerika Selatan Atlantik, Karibia, Florida, Amerika Tengah, Pasifik Utara dan Amerika Selatan. Jumlah spesies mangrove di belahan bumi bagian Timur tercatat paling sedikit 40 spesies dibandingkan hanya 8 spesies di belahan bumi bagian Barat (Tomlinson, 1986). Spesies mangrove yang ditemukan di wilayah Indonesia termasuk dalam dua kelompok wilayah biogeografi belahan bumi bagian Timur yakni: Indo-Malesia dan Asia, Australasia dan Pacific Barat, sebagaimana dikelompokkan oleh Duke dkk. (1992). Di kedua wilayah ini jumlah spesies mangrove tercatat paling sedikit 57 spesies, termasuk hibrida putatif. Catatan lainnya menurut Gieasen dkk. (2006), jumlah spesies di Indonesia paling sedikit 48 jenis. Jumlah ini termasuk yang paling banyak di Asia Tenggara. Hingga kini, diperkirakan semua spesies mangrove di Indonesia telah terkoleksi tetapi kelemahan mendasar terjadi pada proses identifikasi dan publikasi hasil koleksi spesimen.

Sebagai tumbuhan maupun ekosistem, mangrove memiliki nilai manfaat penting. Sejak lama masyarakat pesisir telah memanfaatkan bagian tertentu tumbuhan mangrove untuk keperluan obat-obatan, makanan, bahan bangunan, pengawet dan pewarna jaring ikan yang biasa digunakan nelayan, dll.

Eksosistem mangrove memberi kontribusi terhadap kesuburan perairan sekitar melalui suplai hara hasil perombakan materi organik terutama dalam bentuk nitrit dan nitrat. Selain sebagai habitat bermacam-macam organisme benthik terutama moluska dan gastropoda, ekosistem mangrove dijadikan sebagai bagian dari siklus hidup jenis ikan dan organisme laut tertentu. Secara fisik, tegakan pohon mangrove yang padat menjadi perisai wilayah pantai dari aksi gelombang, intrusi air laut, dan abrasi. Kita mungkin masih ingat bagaimana kehadiran mangrove di wilayah pantai dapat meredam energi rambatan gelombang tsunami pada tahun 2004 di Aceh dan juga wilayah lain di Sri Lanka dan Thailand sehingga pada beberapa lokasi seperti di Semeleuh Aceh dan Thailand bagian Selatan banyak masyarakat yang tinggal di wilayah pesisir terselamatkan. Hal serupa terjadi saat kejadian gempa yang diikuti tsunami di Palu dan Donggala Sulawesi Tengah pada 28 September 2018, dimana sejumlah pemukiman pesisir terhindar dari kerusakan dan kerugian besar karena adanya perisai mangrove di pesisir pantai mereka. Deforestasi ekosistem hutan daratan yang telah dan tengah berlangsung begitu cepat di sejumlah wilayah menyebabkan hilangnya habitat alami fauna daratan. Hewan-hewan tersebut teridentifikasi menjadikan hutan mangrove sebagai habitat baru/alternatif mereka. Pada beberapa tempat, nampak bahwa proses geomorfologi di wilayah pantai tidak hanya menghasilkan daerah-daerah yang dapat ditumbuhi mangrove tetapi juga jenis lahan pantai seperti gisik yang kemudian menjadi habitat alami hewan liar atau tempat untuk perkembangbiakan jenis hewan tertentu seperti burung maleo, penyu, dll. Belakangan, keberadaan ekosistem mangrove banyak dihubungkan dengan isu perubahan iklim dimana ekosistem ini ternyata memiliki kemampuan menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan dengan ekosistem daratan.

Kawasan mangrove terluas di dunia terdapat di Asia Tenggara dengan luasan mencapai 5,1 juta ha atau sekitar 33.5% mangrove dunia (Spalding dkk.,

2010), dan sekitar 60% dari jumlah tersebut terdapat di Indonesia (Giesen dkk., 2006). Mangrove ditemukan berdistribusi secara luas di sepanjang daerah intertidal Indonesia. Vegetasi tersebut terdapat di sepanjang estuari bagian Timur Sumatera, pesisir pantai Timur dan Selatan Kalimantan, pesisir pantai Selatan Papua, serta daerah-daerah pantai yang relatif sempit di Sulawesi, Maluku, Nusa Tenggara dan sejumlah pulau-pulau kecil lainnya (Budiman dkk., 1985; Sunardi, 1996). Sangat disayangkan bahwa aktivitas manusia banyak memberi dampak perubahan pada mangrove (UNEP, 2014; Thomas dkk., 2017; Feller dkk., *In Press*). Secara global, berkurangnya luasan mangrove terutama disebabkan oleh pembukaan tambak (Thomas dkk., 2017). Bagaimana dengan deforestasi mangrove di Indonesia? Deforestasi mangrove di Indonesia tergolong paling cepat di dunia (FAO, 2007; Campbell dan Brown, 2015). Laju deforestasi mangrove di Indonesia dilaporkan sebesar 0,05 juta ha per tahun (Margono dkk., 2014; Kementerian Kehutanan Republik Indonesia, 2014). Oleh karena kondisi tersebut, upaya rehabilitasi kawasan mangrove yang telah rusak menjadi sangat penting untuk dilakukan.

Program rehabilitasi mangrove telah berlangsung sangat extensif di berbagai tempat di dunia (Field, 1999), dan di Asia Tenggara kebanyakan upaya rehabilitasi menggunakan pendekatan coba-coba (*try and error*) tanpa kerangka kerja yang terintegrasi, dasar informasi ekologis, serta pertimbangan pelibatan masyarakat. Akibatnya, sedikit dari program-program yang dilaksanakan berhasil (Aksornkoe, 1996; Al-khayat dan Jones, 1999; Bandaranayake, 1998). Menurut Brown dkk. (2014) upaya rehabilitasi mangrove di Indonesia banyak mengalami kegagalan, dan faktor penyebab utamanya adalah karena kesalahan pandangan bahwa rehabilitasi mangrove dapat dilakukan dengan mudah melalui penanaman utamanya menggunakan bibit jenis marga *Rhizophora*. Salah satu program masif yang dapat dijadikan pembelajaran yaitu restorasi pantai dan penanaman mangrove di Aceh pasca tsunami 26 Desember 2004 dimana sekitar

27.532 ha wilayah pantai dialokasikan untuk penanaman mangrove. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan program masih jauh dari harapan, dan faktor penyebabnya antara lain kondisi lingkungan yang mengalami perubahan, kesalahan memilih lokasi, persiapan dan pengalaman yang kurang, lemahnya koordinasi dan ketidakjelasan perencanaan ruang (Wibisono dkk., 2006). Dalam banyak laporan tentang pelaksanaan program rehabilitasi mangrove yang dikemukakan hanyalah jumlah bibit yang ditanam dan luasan areal tanam, dan hanya sedikit yang melaporkan hasil evaluasi, terlebih adanya kegagalan.

Saat ini, kondisi ekosistem mangrove di Indonesia kian memprihatinkan akibat laju deforestasi dan degradasi lahan mangrove yang begitu cepat. Indonesia telah kehilangan sebagian besar mangrovenya sehingga perlu upaya serius untuk melindungi kawasan mangrove yang tersisa dan merehabilitasi kawasan lainnya yang telah mengalami degradasi. Kondisi fisik lahan mangrove terutama di daerah-daerah yang banyak menerima masukan sedimen sangat dinamis sehingga komunitas mangrove jarang mencapai pertumbuhan optimal dan cepat berubah. Sekalipun kondisi suatu habitat mangrove relatif stabil, gangguan pada fisik lahan akibat penebangan atau faktor lainnya akan menyebabkan kematian vegetasi mangrove dan perubahan pada fisik lahan. Bila suatu habitat mangrove telah mengalami perubahan maka proses rehabilitasi menjadi sangat sulit dan mahal untuk dilakukan. Kemungkinan terburuk selanjutnya adalah kita akan kehilangan suatu ekosistem mangrove dengan segala manfaatnya.

Sejak tahun 2014 penulis sangat berhasrat untuk menuliskan sebuah buku yang secara komprehensif membahas tentang mangrove, dan baru pada tahun ini dapat diselesaikan. Selain pandangan dan analisis yang dikembangkan oleh penulis, buku ini juga menghadirkan pandangan-pandangan teoritis maupun temuan hasil penelitian para peneliti dunia dalam menjelaskan berbagai aspek

terkait mangrove. Isi buku ini didisain sedemikian rupa agar pembaca dapat memahami mangrove mulai dari hal terkecil tentang definisi dan asal mula mangrove, serta pengetahuan umum terkait sebaran (biogeografi) dan status luasan terkini di Indonesia, sebagaimana pembaca bisa temukan dalam Bab 2. Dalam Bab 3, pembaca akan menemukan bahasan tentang habitat mangrove yang sangat spesifik. Bahasan tentang karakteristik habitat mangrove menjadi penting karena dalam banyak laporan penelitian masih sering ditemukan variabel-variabel lingkungan mangrove yang diukur dan diamati tidak berkaitan langsung dengan proses-proses biologi dan dinamika suatu komunitas mangrove. Tentang biologi mangrove dibahas dalam Bab 4. Dalam Bab ini pembahasan mencakup aspek morfologi, anatomi serta adaptasi tumbuhan mangrove pada lingkungannya yang spesifik. Hal lain yang dibahas yaitu berkaitan dengan aspek pembungaan, penyerbukan, penyebaran propagule, germinasi dan establismen, hingga laju pertumbuhan individu beragam spesies mangrove. Proses perkembangan dan regenerasi komunitas mangrove dibahas secara mendalam pada Bab 5. Harus diakui bahwa bahasan terkait kedua proses tersebut masih sangat jarang dan pada umumnya bersifat teoritis atau interpretasi peneliti terhadap suatu fenomena atau fakta lapangan yang terbatas. Sedikit sekali publikasi yang secara spesifik membedah siklus perkembangan dan regenerasi komunitas mangrove berdasarkan hasil pengamatan jangka panjang. Pada Bab 6, penulis menghadirkan satu teknik klasifikasi komunitas mangrove yang dapat diaplikasi pada beragam kondisi mangrove di Indonesia, termasuk bahasan tentang struktur komunitas mangrove berdasarkan komposisi spesies, kelas diameter dan biomassa. Pada Bab 7 dampak penebangan terhadap perubahan fisik lahan, struktur dan perkembangan komunitas mangrove dijelaskan dengan contoh-contoh dan analisis temuan lapangan. Tentang teknik rehabilitasi mangrove dibahas secara khusus dalam Bab 8 terutama berkaitan dengan teknik penanaman artifisial dan restorasi hidrologi. Hal-hal yang

penting untuk dipertimbangkan terkait konservasi mangrove diuraikan secara detil dalam Bab 9. Pada Bab ini juga digambarkan berbagai contoh pemanfaatan mangrove secara berkelanjutan. Untuk melengkapi pemahaman tentang mangrove, pada bagian akhir Bab 10 dibahas metode riset yang paling mendasar dalam mempelajari mangrove, juga contoh-contoh spesimen mangrove yang telah berhasil dikoleksi oleh penulis.

2 Definisi, Asal & Distribusi

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. Distribusi mangrove di dunia juga sangat unik karena terdapat pemisahan yang jelas antara spesies yang menempati belahan dunia bagian Barat dan Timur, dan distribusi vegetasi inipun terbatas pada suatu tempat tertentu ke arah Utara dan Selatan muka bumi ini. Berbagai faktor ternyata berperan penting dalam distribusi mangrove baik secara global maupun lokal. Untuk konteks Indonesia, pertanyaan yang sering pertama kali muncul jika belajar mangrove yaitu berapa luasan dan dimana saja mangrove tersebar di Indonesia? Semua hal tersebut di atas dibahas secara detil dalam Bab 2 ini.

2.1 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*). Sementara itu, 'mangal', sebuah ungkapan yang diperkenalkan oleh Macnae (1968), digunakan ketika menjelaskan suatu

Di Indonesia kata "bakau" pernah digunakan secara luas untuk menggambarkan mangrove sebagai tumbuhan, komunitas maupun ekosistem. Bakau sebenarnya sebuah kata untuk mendeskripsikan spesies mangrove dari marga Rhizophora. Saat ini, penggunaan kata mangrove telah lazim digunakan di Indonesia.

komunitas yang dibentuk oleh spesies mangrove. Namun, ungkapan tersebut sudah tidak populer 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* (Vannucci, 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).

2.2 Asal Mangrove

Masih terdapat perbedaan dan ketidakpastian tentang asal mula mangrove. Komunitas mangrove dipercaya berasal dari wilayah di antara Australia dan Papua Nugini (*New Guinea*) sebagaimana pendapat Specht (1981). Pendapat Specht ini bertolak belakang dengan pandangan bahwa mangrove berasal dari wilayah Malaya (*Malayan Region*). Sejumlah teori lain (Hutchings dan Saenger, 1987), menerangkan bahwa komunitas mangrove berkembang selang periode *Cretaceous* di dekat tepian Daratan Australia dan Papua Nugini, kemudian komunitas mangrove tersebut menyebar ke Asia Tenggara dan Wilayah India hingga Atlantik melalui Cekungan Laut Tengah (*Mediterranean Basin*).

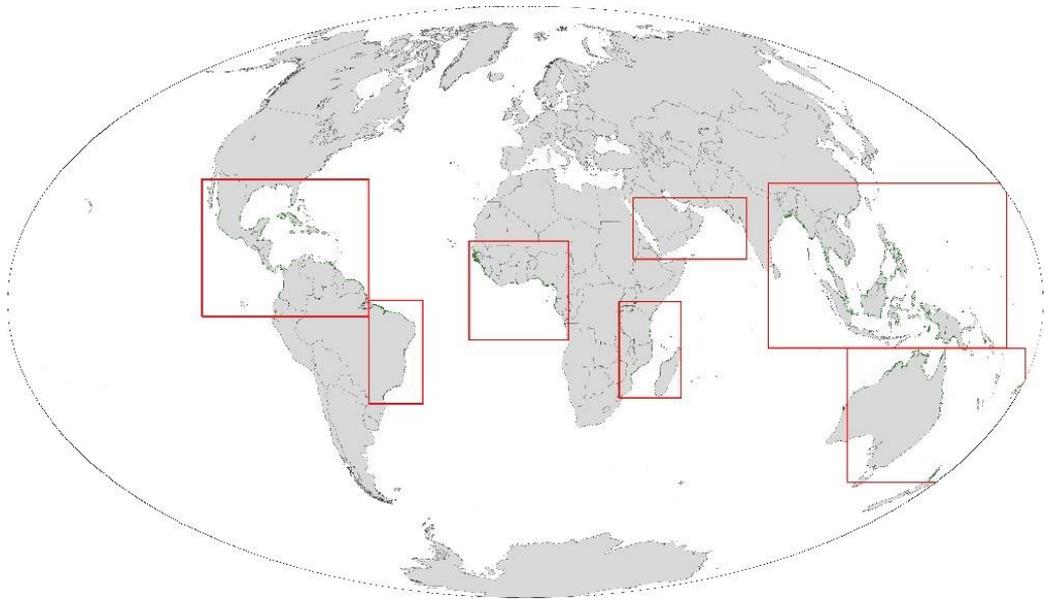
Interpretasi berbeda dibuat oleh Spalding dkk. (1997) dalam menjelaskan tempat asal mangrove. Mereka mempertimbangkan tiga tempat asal mangrove yang paling mungkin beserta jalur penyebarannya. Ketiga tempat asal mangrove tersebut adalah sebagai berikut:

1. Laut Tethys Bagian Timur (*Eastern Tethys Sea*); dengan jalur penyebaran memotong Pasifik, dan bergerak menuju sebelah Timur Atlantik melalui Celah Panama.
2. Laut Tethys Bagian Timur; dengan penyebaran ke arah Utara dan Barat memasuki Atlantik, dan selanjutnya menuju ke sebelah Timur Pasifik melalui Celah Panama.
3. Laut Tethys Bagian Barat; dengan arah penyebaran ke Selatan melalui Afrika sebelah Selatan menuju Laut Tethys Bagian Timur.

Kenyataannya bahwa tak satupun teori maupun interpretasi yang telah diungkapkan sebelumnya dapat diterima secara universal. Satu anggapan yang tidak bisa dikesampingkan disampaikan oleh Duke (1992, 1995), bahwa asal mangrove tidak terbatas pada suatu tempat, tetapi mungkin vegetasi tersebut berasal dari sejumlah tempat berbeda di muka bumi ini. Pembuktian ilmiah tentang asal mula mangrove, apakah berasal dari suatu tempat tertentu ataukah berasal dari beberapa tempat di muka bumi perlu dilakukan.

2.3 Distribusi di Dunia

Mangrove terutama tumbuh di daerah antara garis lintang 30° sebelah Utara dan Selatan bumi ini, tetapi vegetasi tersebut tidak ditemukan di kebanyakan pulau di Samudera Pasifik (Spalding dkk., 1997). Di belahan bumi sebelah Utara, distribusi mangrove terbatas hingga Bermuda ($32^{\circ}20'$ LU) dan Jepang ($31^{\circ}22'$ LU). Di sebelah Selatan, mangrove berdistribusi hingga Selatan Australia ($38^{\circ}45'$ LS) dan Selandia Baru ($38^{\circ}03'$ LS). Pada Gambar 2.1 ditampilkan wilayah sebaran mangrove di dunia.



Gambar 2.1. Distribusi mangrove di dunia (NASA, 2010).

Setiap spesies mangrove memiliki batas toleransi fisiologis tertentu terhadap temperatur rendah, sebagaimana diindikasikan oleh batas distribusi vegetasi tersebut ke arah kutub. Oleh karena itu, penyebaran global mangrove sangat dibatasi oleh faktor temperatur rendah (Duke dkk., 1998). Distribusi mangrove yang luas hanya mungkin terdapat di daerah dengan temperatur udara tidak kurang dari 20°C saat musim terdingin, serta perbedaan temperatur udara musiman tidak melebihi 10°C (Walsh, 1974; Chapman, 1975). Seorang peneliti, Blasko (1984), melakukan evaluasi tentang hubungan antara distribusi mangrove dan faktor iklim berupa curah hujan dan temperatur. Ia menemukan bahwa daerah dimana mangrove ditemukan dapat diklasifikasikan ke dalam empat kelompok utama, yakni:

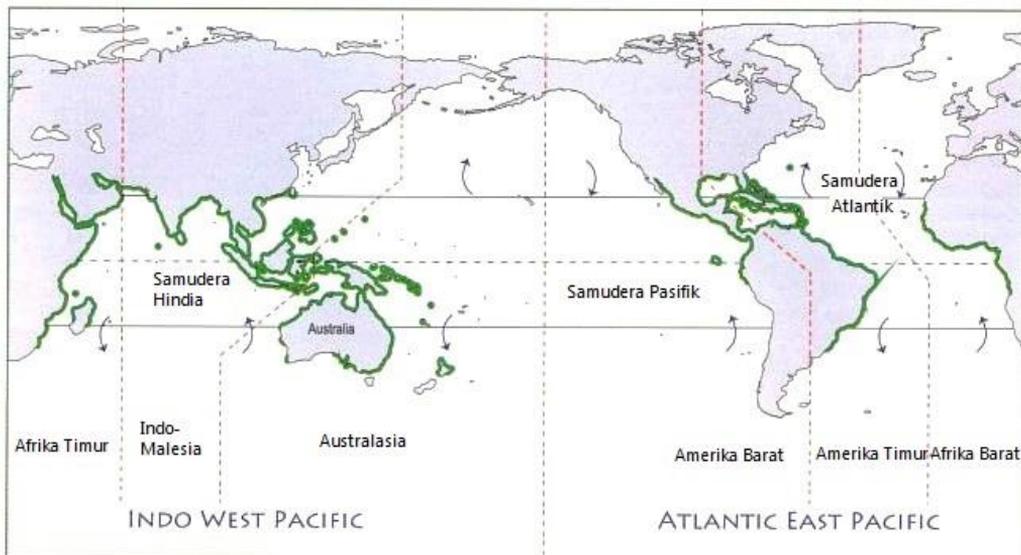
1. Daerah panas; dimana sekitar 90% mangrove yang ada di dunia dapat ditemukan, meliputi daerah selatan Mexico hingga Kolombia, Karibia, Brasil sebelah utara, Asia Tenggara hingga Bagian Utara Queensland di Australia.

2. Daerah *Sub-humid*; dimana mangrove dapat ditemukan secara sporadik, termasuk daerah Afrika Timur, Bagian Selatan Queensland, Mesiko, dan Venezuela.
3. Daerah *Semi-arid*; dimana mangrove sangat jarang, umumnya hadir di dekat muara sungai seperti di Delta Indus (Pakistan), Gujarat (India), Australia Bagian Barat dan Northern Territory.
4. Daerah *Arid*; dimana mangrove secara praktis tidak diketahui kehadirannya, kecuali disana terdapat hujan musim dingin (*winter rains*), seperti yang terjadi di sepanjang Pantai Laut Merah meliputi Etiopia dan Mesir, Gurun Persia dan Gurun California.

Menurut Tomlinson (1986) terdapat dua kelompok utama pusat keanekaragaman mangrove, yakni kelompok bagian Barat dan Timur. Kelompok bagian Barat, juga didefinisikan sebagai Pasifik Timur Atlantik (*Atlantic East Pacific*) atau disingkat AEP oleh Duke (1992), meliputi mangrove di Afrika dan pantai Amerika bagian Atlantik, Karibia, Gurun Mesiko, dan di Amerika khususnya Pantai Barat Pasifik. Sementara itu, kelompok bagian Timur, juga di definisikan sebagai Barat Indo-Pasifik (*Indo-Pacific West*) atau disingkat IWP oleh Duke (1992), termasuk mangrove di Bagian Indo-Pasifik dan terbatas hingga ke Timur dan Barat Ujung Afrika. Berdasarkan pencatatan kehadiran dan ketidakhadiran jenis mangrove, Duke (1992) membagi distribusi mangrove di dunia ke dalam enam wilayah biogeografik, yakni:

1. Amerika Bagian Barat dan Pasifik Bagian Barat,
2. Amerika Bagian Timur dan Karibia,
3. Afrika Bagian Barat,
4. Afrika Bagian Timur dan Madagaskar,
5. Indo-Malesia dan Asia,
6. Australia dan Pasifik Bagian Barat.

Wilayah biogeografik 1, 2, dan 3 merupakan bagian dari AEP, dan tiga wilayah selanjutnya termasuk dalam bagian IWP. Secara umum, keanekaragaman jenis di IWP empat kali lebih banyak dibandingkan di AEP. Hingga kini, daftar keseluruhan jenis mangrove di keenam wilayah biogeografik terus dilengkapi, dan salah satunya dapat dilihat dalam Duke dkk. (1998). Peta sebaran mangrove di enam wilayah biogeografi dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Enam wilayah biogeografi menurut Duke (2002).

2.4 Luas dan Distribusi Mangrove Di Indonesia

Telah diutarakan sebelumnya bahwa Indonesia merupakan tempat yang ideal bagi pertumbuhan mangrove karena faktor iklim, geologi dan oseanografi. Oleh karena itu, sepanjang tersedia habitat yang cocok bagi tumbuhan

Meskipun berbeda secara biologis dan anatomi, distribusi biogeografi mangrove dan lamun (seagrass) memiliki kesamaan. Lamun adalah kelompok tumbuhan berbiji tertutup (Angiospermae), berkeping tunggal (monokotil) yang mampu hidup secara permanen dalam media air laut di daerah intertidal hingga kedalaman sekitar 90 m. Jumlah spesies lamun di dunia sebanyak 60 spesies dan ada 15 spesies terdapat di perairan Indonesia.

mangrove di daerah intertidal maka tumbuhan ini akan tumbuh dan membentuk sebuah ekosistem. Luasan mangrove di suatu tempat ditentukan oleh besaran luasan habitat tumbuh yang tersedia. Di pesisir pantai Indonesia tumbuhan ini ditemukan tumbuh membentuk hutan pantai yang luas di wilayah-wilayah pantai dengan formasi berupa teluk (contoh, Teluk Tomini di Pulau Sulawesi), delta-delta di muara sungai besar (contoh, Delta Mahakam di wilayah pantai Timur Pulau Kalimantan), pantai-pantai yang landai (contoh, pesisir pantai Timur Pulau Sumatera), dan laguna (contoh, Laguna Segara Anakan di Cilacap). Di wilayah pesisir pantai lainnya baik di daratan pulau besar maupun gugusan pulau-pulau kecil, tumbuhan ini dapat ditemukan secara sporadis dalam komunitas-komunitas yang relatif kecil. Sebagai gambaran umum, informasi tentang luasan ekosistem mangrove yang relatif besar di wilayah perairan Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Beberapa contoh ekosistem mangrove dengan luasan yang relatif besar di wilayah teluk, delta, pantai dengan kemiringan landai, dan laguna.

No.	Nama Lokasi	Luasan Mangrove (ha)	Sumber
1.	Teluk Bintuni*	250.000	Laksono (2000)
2.	Teluk Tomini, Provinsi Sulawesi Utara, Gorontalo dan Sulawesi Tengah	16.105,40 (Tahun 2010)	Damanik dan Djamaluddin (2002)
3.	Delta Mahakam, Kab. Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur	29.600 (Tahun 2009)	Bappeda Kutai Kartanegara (2010)
4.	Taman Nasional Sembilan, Kab. Musi Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan	77.500 (Terluas Di wilayah Indonesia Bagian Barat)	Pusat Konservasi Alam Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam Departemen Kehutanan Republik Indonesia (2006)
5.	Laguna Cilacap, Kab. Cilacap, Provinsi Jawa Tengah	14.502,55 (Tahun 2005)	Pangestu dkk. (2012)

*) termasuk konsesi HPH PT Bintuni Utama Murni Wood Industries seluas 137.000 ha

Pada tahun 2010 dilaporkan bahwa luasan kawasan mangrove di Indonesia mencakup sekitar 60% (atau 3,06 juta ha) dari total luasan 5,1 juta ha mangrove di wilayah Asia Tenggara. Luasan ini mendekati hasil estimasi yang dilakukan oleh Pusat Survey Sumber Daya Alam Laut (PSSDAL), Bakosurtanal sebesar 3, 244 juta ha berdasarkan data citra tahun 2006 – 2009. Adapun data luasan mangrove menurut provinsi adalah seperti pada Tabel 2.2, dan peta sebaran mangrove di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Tabel 2.2. Luasan mangrove menurut wilayah provinsi di Indonesia (Bakosurtanal, 2009 dalam Hartini dkk., 2010).

No.	Provinsi	Luas Mangrove (ha)
1.	Nanggroe Aceh Darussalam	22.950,321
2.	Sumatera Utara	50.369,793
3.	Bengkulu	2.321,870
4.	Jambi	12.528,323
5.	Riau	206.292,642
6.	Kepulauan Riau	54.681,915
7.	Sumatera Barat	3.002,689
8.	Bangka Belitung	64.567,396
9.	Sumatera Selatan	149.707,431
10.	Lampung	10.533,676
11.	DKI Jakarta	500,675
12.	Banten	2.936,188
13.	Jawa Barat	7.932,953
14.	Jawa Tengah	4.857,939
15.	Jawa Timur	18.253,871
16.	DI Yogyakarta	18.253,871
17.	Bali	0
18.	Nusa Tenggara Barat	11.921,179
19.	Nusa Tenggara Timur	20.678,450
20.	Kalimantan Barat	149.344,189
21.	Kalimantan Tengah	68.132,451
22.	Kalimantan Selatan	56.552,064
23.	Kalimantan Timur	364.254,989
24.	Sulawesi Utara	7.348,676
25.	Gorontalo	12.315,465
26.	Sulawesi Tengah	67.320,130
27.	Sulawesi Selatan	12.821.497
28.	Sulawesi Tenggara	44.030,338
29.	Sulawesi Barat	3.182,201
30.	Maluku Utara	39.659,729
31.	Maluku	139.090,920
32.	Papua dan Papua Barat	1.634.003,454
Total		3.244.018,460

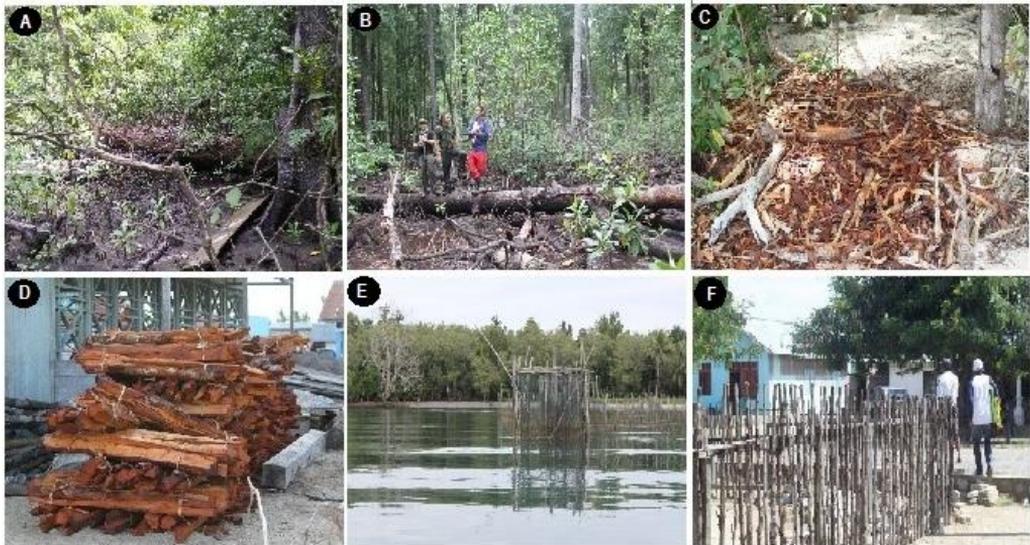
Dapat dilihat dari data pada Tabel 2.2 bahwa kawasan mangrove terluas di Indonesia berada di Provinsi Papua dan Papua Barat dengan luasan mencapai 50,4% dari total luasan mangrove di Indonesia. Luasan mangrove terbesar kedua sebesar 19,7% berada di pesisir Pulau Kalimantan, dan ketiga sebesar 17,8% berada di pesisir Pulau Sumatera.



Gambar 2.3. Peta sebaran mangrove di Indonesia yang ditandai warna hijau pada peta (NASA, 2010).

Jauh lebih penting dari pada sekedar angka-angka luasan, sekarang kita diperhadapkan dengan fakta bahwa deforestasi ekosistem mangrove di Indonesia berlangsung sangat cepat, bahkan terhitung tercepat di dunia (FAO, 2007; Campbell dan Brown, 2015). Laju deforestasi mangrove di Indonesia dilaporkan sebesar 0,05 juta ha per tahun (Margono dkk., 2014; Kementerian Kehutanan Republik Indonesia, 2014). Berkurangnya kawasan mangrove di Indonesia disebabkan oleh berbagai faktor terutama konversi lahan untuk peruntukan lain seperti tambak udang dan bandeng, pemukiman, perkebunan, pertanian, eksploitasi kayu mangrove untuk skala industri maupun oleh masyarakat lokal untuk dijual dalam bentuk kayu bakar atau bahan konstruksi rumah, serta pemanfaatan kayu mangrove untuk patok budidaya rumput laut dan perangkap ikan, dll. Kematian pohon mangrove juga dapat disebabkan karena pengupasan kulit pohon mangrove untuk dijadikan bahan pewarna dan

pengawet jaring ikan. Secara alami, berkurangnya lahan mangrove dapat pula disebabkan karena faktor sedimentasi dan abrasi, kehadiran konstruksi jalan yang memotong atau menghambat input air tawar dari daratan, serta kekeringan selama periode El' Nino. Beberapa bentuk pemanfaatan kayu mangrove ditampilkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Beragam bentuk pemanfaatan mangrove: A) Log *S. alba* untuk bahan baku pembuatan perahu, B) Log *B. gymnorrhiza* untuk bahan konstruksi alat tangkap ikan bagan, C) Pengupasan kulit batang pohon *Rhizophora* untuk pewarna jaring, D) Kayu bakar untuk dijual, E) Perangkap ikan sero, F) Tiang pagar rumah.

Konversi lahan mangrove menjadi tambak merupakan satu hal penting yang perlu untuk dikaji kembali karena kontribusinya sangat besar terhadap deforestasi dan degradasi ekosistem mangrove di Indonesia. Sebagai perbandingan, konversi kawasan mangrove menjadi tambak di Indonesia pada tahun 1977 yakni sekitar 175.606 ha, meningkat sebesar 47% (268.743 ha) pada tahun 1993 (Alikodra, 1998), dan hanya dalam rentang waktu delapan tahun (periode 1997 – 2005) mencapai 0,65 juta hektar (Murdiyarso dkk., 2015). Budidaya air payau memang bukan merupakan hal baru karena masyarakat pesisir di Kabupaten Takalar Sulawesi Selatan telah melakukannya lebih dari

400 tahun yang lalu. Perombakan secara besar-besaran kawasan mangrove dipicu oleh kebijakan Pemerintah melalui Program Intam (Intensifikasi Tambak) pada tahun 1984 di 12 Provinsi. Produksi udang meningkat sesaat setelah pembukaan tambak, kemudian terus mengalami penurunan diakibatkan oleh munculnya beragam penyakit yang menyerang udang yang dibudidayai. Ketika produksi udang semakin menurun dan tidak produktif, banyak lahan bekas tambak yang diterlantarkan, dan kemudian para pemilik pemodal mulai melakukan ekspansi pembukaan lahan-lahan baru untuk dijadikan tambak di berbagai wilayah. Dalam Gambar 2.5 dapat dilihat beberapa fakta di lapangan bagaimana lahan-lahan bekas tambak diterlantarkan.



Gambar 2.5. Lahan bekas tambak yang diterlantarkan di pesisir Teluk Tomini.

3 Karakteristik Habitat

Jika mangrove bisa tumbuh di sembarang tempat yang masih dipengaruhi pasang-surut maka kita akan menemukan tumbuhan ini dan komunitasnya hadir di semua tempat tersebut. Kenyataannya tidak demikian, dimana mangrove hanya dapat tumbuh di tempat-tempat tertentu saja. Sering kita melihat di pantai dimana satu atau kelompok individu mangrove mulai hidup dan berkecambah di antara bebatuan atau pantai berpasir, kemudian hilang pada beberapa waktu kemudian. Di tempat lain seperti di muara sungai, endapan lumpur yang permukaannya terus naik kemudian ditumbuhi individu mangrove yang terus berkembang membentuk suatu komunitas. Adapula suatu kondisi dimana mangrove yang telah membentuk suatu komunitas kemudian dalam suatu kurun waktu mengalami kematian. Fakta-fakta tersebut menjelaskan bahwa ada kondisi-kondisi minimal yang dibutuhkan tumbuhan mangrove untuk memulai siklus hidupnya sebagai individu dan kemudian membentuk suatu komunitas, atau kondisi-kondisi minimal tersebut hilang akibat faktor tertentu sehingga menyebabkan kematian suatu komunitas mangrove. Berbagai pandangan teoritis tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kehadiran dan kondisi mangrove di suatu tempat serta karakteristik utama habitat mangrove yang berhubungan dengan tingkat perendaman, hidrologi, tekstur dan salinitas subsrat permukaan serta ketersediaan zat hara dibahas Dalam Bab 3 ini.

3.1 Pandangan Teoritis

Secara umum, mangrove tumbuh terjauh ke arah laut hingga tinggi muka laut rata-rata (*Mean Seawater Level*) dan terjauh ke arah darat hingga capaian air pasang tertinggi (*Highest Water Spring*). Tempat terjauh ke arah daratan dimana tumbuhan mangrove dapat ditemukan adalah tepian sungai yang masih dipengaruhi pasang-surut, bisa mencapai ratusan kilometer. Mangrove jika

dipindahkan ke media tanam tanah daratan juga bisa tumbuh, tetapi dari hasil percobaan yang telah penulis lakukan, spesies *Rhizophora apiculata* hanya bisa bertahan hidup hingga sekitar 3 tahun dan *Bruguiera gymnorrhiza* sekitar 7 tahun. Pertumbuhan nampak normal pada beberapa tahun pertama, kemudian diikuti oleh kerusakan sistem perakaran yang menyebabkan kematian karena terjadi hambatan dalam penyerapan air dan zat hara.

Pada dasarnya mangrove adalah tumbuhan tingkat tinggi, memiliki anatomi dan morfologi akar yang memungkinkan tumbuhan ini menyerap air dan zat hara langsung dari media tumbuh tumbuhan ini. Dengan demikian, kondisi tanah atau substrat merupakan faktor penentu keberhasilan tumbuh tumbuhan mangrove. Kita sering membaca dalam banyak laporan bahwa mangrove diperlakukan sebagai tumbuhan air dengan menghubungkan komposisi jenis dan struktur komunitas mangrove dengan faktor kualitas air seperti temperatur, derajat keasaman (pH) dan salinitas, bahkan ada laporan yang menghubungkan dinamika lahan mangrove dan kesuburan lahan mangrove berdasarkan parameter kualitas air. Koreksi perlu dilakukan untuk menghindari penalaran yang keliru terkait hubungan antara tumbuhan mangrove dengan habitat tumbuhnya.

Tiga faktor utama berikut merupakan penentu kehadiran mangrove di berbagai situasi, yakni geofisik, geomorfik, dan biologik. Faktor geofisik mencakup tenaga atau energi fisik yang bekerja 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 rezim pasang-surut dan gelombang). Interaksi dari berbagai energi tersebut menghasilkan karakter geomorfik di suatu tempat tertentu (*locality*). 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 rezim 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. Rezim iklim juga mempengaruhi variabilitas masukan air tawar melalui sungai (*river run-off*), konsekuensinya terhadap pasokan sedimen, dan tentu saja mempengaruhi rezim 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 kedua, 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, beting gisik, dan laguna). Bentuk lahan kedua 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 nutrisi. Setiap jenis mangrove memberi respon berbeda terhadap kehadiran topografi mikro sebagai bentuk lahan khusus seperti penghalang di tepian sungai (*river levee*) atau beting gisik (*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 keenam kelas kategori geomorfik utama sebagaimana digambarkan oleh Pernetta (1993). Penjelasan keenam kelas kategori tersebut adalah didasarkan pada generalisasi kondisi lingkungan seperti yang dikemukakan oleh Thom (1982) dan Huchings dan Saenger (1987). Keenam 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 rataan alluvial;
3. Penghalang (*barrier*) dan laguna, dimana kondisi lingkungan dicirikan oleh hadirnya beting di laut (*offshore shoal*);
4. Pantai dasar berbatuan yang terendam air laut dan meluas (*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 ketiga yang mempengaruhi distribusi mangrove yakni atribut biologik mangrove itu sendiri. Watson (1928) dalam studi klasiknya tentang *mangal* di Semenanjung Malaya (*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. Klasifikasi lebih sederhana diusulkan Duke dkk. (1998) dan Djamaluddin (2004, 2018) yang membagi tiga posisi intertidal yakni; bawah, tengah, dan atas. Berkaitan dengan penyortiran propagule (*propagule sorting*) sebagai faktor biotik yang mempengaruhi distribusi mangrove, kita perlu mempertimbangkan hipotesis 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 tambahan yakni: 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 (Contoh: 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 vegetasi tersebut 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 toleran suatu spesies terhadap salinitas (atau semakin lebar batas toleransi garam suatu spesies), semakin lambat laju pertumbuhan jenis tersebut (Ball, 1998).

3.2 Perendaman dan Sistem Hidrologi

Tumbuhan mangrove tumbuh di zona intertidal yang dipengaruhi oleh pasang surut. Konsep perendaman yang berlaku pada mangrove dimaknai sebagai lama waktu suatu lokasi tertentu pada lahan mangrove direndami oleh massa air laut. Tingkat perendaman pada lahan mangrove oleh massa air laut bervariasi secara temporal karena gaya tarik bulan dan matahari terhadap bumi berubah-ubah secara periodik akibat perubahan posisi keduanya terhadap bumi. Perbedaan tinggi muka laut yang terjadi pada zona intertidal menurut variasi umur bulan diilustrasikan seperti pada Gambar 3.1.

Pasang surut adalah suatu fenomena alam berupa naik turunnya muka laut secara periodik yang diakibatkan oleh adanya kombinasi gaya tarik benda-benda angkasa terutama matahari dan bulan terhadap massa air di bumi. Di kawasan perairan berupa teluk (semi tertutup) atau teluk yang memanjang ke arah daratan, laguna dekat daratan, faktor non-astronomi seperti topografi perairan, bentuk garis pantai dan masukan air tawar, dapat berpengaruh terhadap rentang pasang surut di kawasan tersebut.



Gambar 3.1. Perbedaan tinggi muka laut pada daerah intertidal menurut periode umur bulan.

Batas zona tumbuh mangrove di daerah intertidal yaitu terjauh ke arah sebelah laut hingga batas tinggi rata-rata atau duduk tengah muka laut (Mean Seawater Level, disingkat MSL) dan terjauh ke arah darat hingga capaian muka laut tertinggi saat pasang astronomis (Highest Astronomical Seawater Tide, disingkat HAT). Lahan mangrove dengan kemiringan landai akan memiliki selisih HAT dan MSL yang kecil, sebaliknya nilai selisih keduanya akan besar pada lahan mangrove yang relatif miring.

Dinamika pasang-surut perairan laut Indonesia dipengaruhi secara signifikan oleh rambatan gelombang pasang-surut yang berasal dari Samudera Pasifik dan Samudera Hindia. Secara umum, tipe pasang surut diurnal atau harian tunggal (kejadian satu pasang tertinggi dan satu surut rendah dalam sehari) terjadi di wilayah Laut Jawa, tipe semidiurnal atau harian ganda (kejadian dua pasang tinggi dan dua surut rendah dengan elevasi yang relatif sama dalam sehari) terjadi di Sumatera bagian Barat – Selat Malaka, dan tipe campuran condong ke harian ganda (kejadian dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari tetapi terkadang terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dengan memiliki tinggi dan waktu yang berbeda) terjadi di sebagian besar wilayah kepulauan Indonesia Bagian Timur dan Selatan Pulau Jawa. Adapun peta sebaran tipe pasang-surut di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Peta sebaran tipe pasang-surut di Indonesia dan perairan sekitarnya (Wyrcki, 1961).

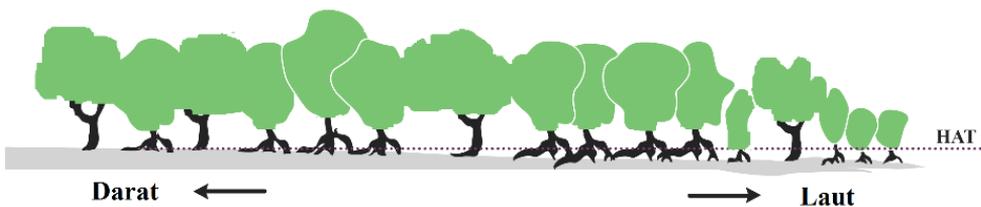
Pada Gambar 3.3 diilustrasikan kondisi perendaman pada tiga kondisi habitat mangrove yang berbeda dengan masing-masing posisi HAT dan MSL. Pada kondisi lahan relatif miring (Gambar 3.3a) terjadi gradien tingkat perendaman yang signifikan ke arah darat disebabkan karena selisih antara HAT dan MSL yang relatif besar. Zona mangrove sebelah daratan pada tipe lahan seperti ini akan lebih sering kering dan berhubungan langsung dengan atmosfer sehingga mengalami proses penguapan yang lebih besar. Kondisi yang berbeda terjadi pada tipe lahan yang relatif datar (Gambar 3.3b) dimana rambatan air laut saat pasang akan lebih sering merendami lahan ini. Pada tipe

lahan mangrove di tepian sungai, rambatan air laut saat pasang yang memasuki muara sungai tidak hanya mengarah ke arah hulu tetapi juga merambat ke sisi penampang kiri dan kanan sungai, dan posisi HAT ke arah hulu akan semakin rendah. Gradien perendaman di sisi kiri dan kanan sungai juga berdinamika sesuai kondisi debit air sungai yang dipengaruhi oleh keadaan cuaca, hujan atau kemarau.

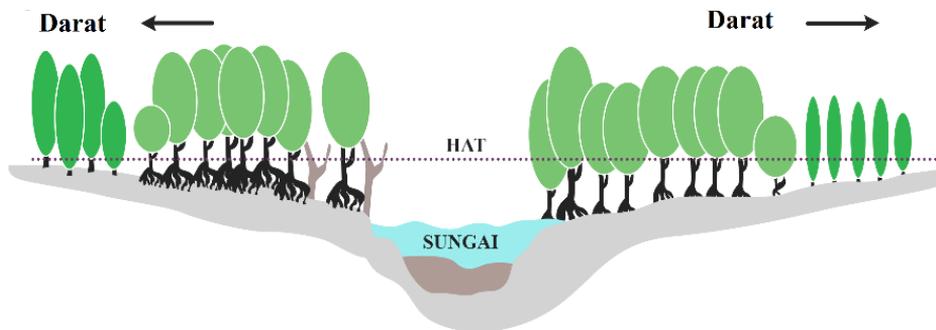
a) Lahan Relatif Miring



b) Lahan Relatif Datar

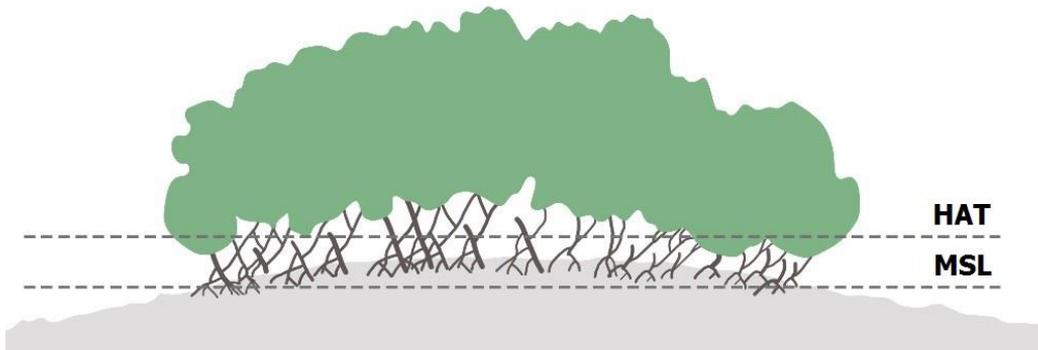


c) Mangrove Tepian Sungai



Gambar 3.3. Pola perendaman pada tiga tipe lahan mangrove: a) relatif miring, b) relatif datar, c) tepian sungai.

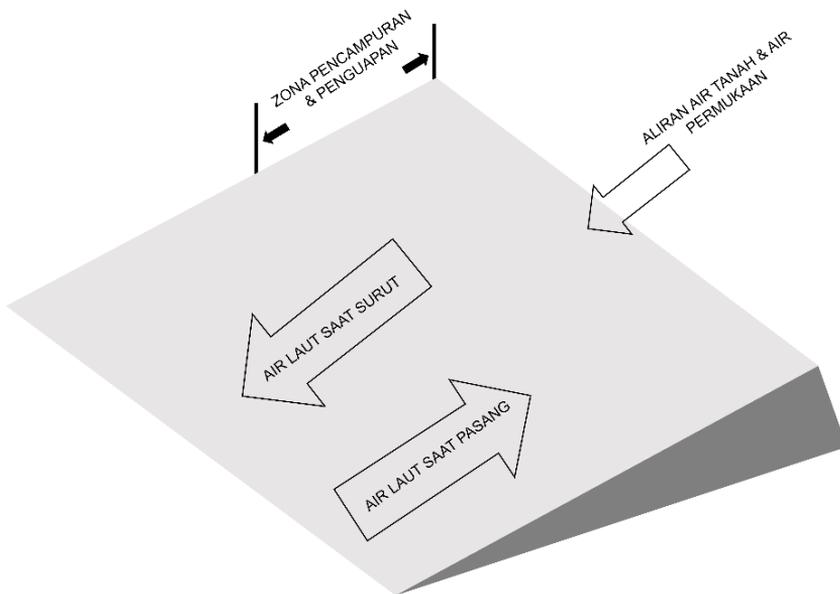
Pada tipe geomorfik yang lain seperti delta di muara sungai atau pulau-pulau kecil yang terbentuk karena endapan pasir dan bongkahan karang, elevasi yang rendah menyebabkan tumbuhan mangrove mengalami perendaman dengan lama waktu yang lebih lama. Bahkan pada kondisi awal perkembangan komunitas mangrove di tempat-tempat seperti ini dimulai dari ketinggian yang sangat rendah (sekitar muka laut rata-rata) sehingga permukaan lahan hampir selalu terendam air laut. Kondisi perendaman pada lahan mangrove dengan elevasi yang rendah diilustrasikan seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Perendaman pada lahan mangrove dengan elevasi rendah.

Dinamika hidrologi yang berlaku secara umum pada ekosistem mangrove diilustrasikan seperti pada Gambar 3.5. Sistem hidrologi pada lahan mangrove didominasi oleh masuk keluarnya massa air laut secara periodik mengikuti siklus pasang surut. Rambatan massa air laut yang memasuki suatu lahan mangrove pada umumnya mengikuti pola tegak lurus garis pantai dimana air laut akan mula-mula menggenangi tempat-tempat dengan ketinggian yang sama dari arah laut dan seterusnya ke arah daratan hingga capaian tinggi pasang tertinggi yang bisa dicapai sesuai periode pasang saat itu. Saat surut, pergerakan massa air laut meninggalkan lahan mangrove akan mengikuti alur dimana massa air tersebut datang. Pola rambatan massa air laut akan menjadi lebih kompleks pada sistem lahan mangrove tepian sungai akibat adanya gaya dorong

massa air sungai ke arah laut serta morfologi sungai yang berkelok-kelok. Topografi permukaan substrat yang tidak licin, terangkat atau tenggelam, hadirnya penghalang-penghalang alami maupun buatan (contoh, bekas tambak dengan sisa konstruksi pematang), menyebabkan pergerakan massa air laut memasuki dan meninggalkan lahan mangrove menjadi kompleks. Dari arah daratan, masukan air tawar akan terdorong masuk ke lahan mangrove melalui air tanah atau aliran-aliran air permukaan. Aliran air tawar dari daratan akan sangat signifikan jika topografi lahan daratan sekitar berupa bukit dan debitnya tergantung pada kondisi cuaca. Saat memasuki lahan mangrove dari daratan, aliran air tawar akan mengalami pencampuran dengan massa air laut yang ada saat pasang, atau terus merambat ke arah laut saat kondisi air laut surut. Pada beberapa kondisi tertentu, aliran air tawar yang memasuki lahan mangrove terperangkap di tempat-tempat yang rendah dekat daratan atau pada bagian lahan yang permukaannya tenggelam/ rendah.



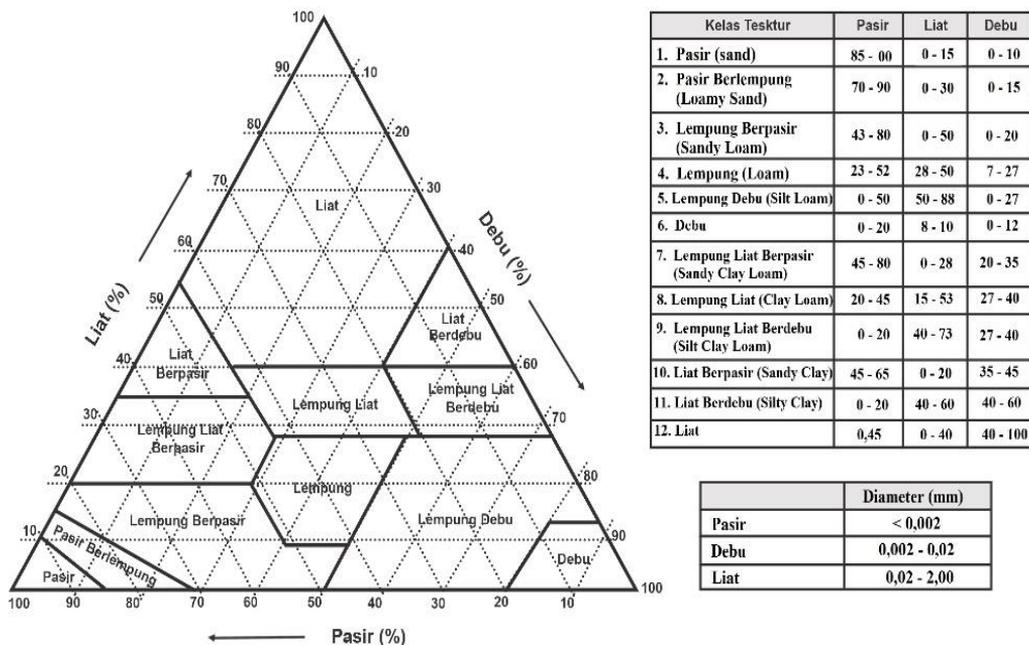
Gambar 3.5. Deskripsi umum dinamika hidrologi pada ekosistem mangrove.

3.3 Tekstur dan Salinitas Substrat Permukaan

Substrat lahan mangrove memiliki karakteristik fisik yang berbeda-beda baik antar hábitat mangrove maupun antar tempat berbeda dalam suatu hábitat mangrove. Salah satu karakteristik fisik substrat mangrove yang pokok adalah tekstur sedimen substrat permukaan dan sedimen yang berada di sekitar perakaran. Kenapa dibatasi hanya pada substrat permukaan saja (kedalaman hingga sekitar 30 cm) dan sekitar perakaran, karena pada tempat-tempat tersebut oksigen sangat mungkin masih tersedia atau sekitar perakaran terpengaruh langsung oleh sekresi dari akar, sehingga banyak aktivitas mikroba di sana. Siklus biogeokimia sedimen mangrove menjadi penting di tempat-tempat tersebut. Tekstur sedimen (ukuran dan komposisi butiran sedimen) berpengaruh terhadap laju penyerapan air (*absorption*), penyimpanan air (*water storage*), status aerasi, dll., sehingga kemudian berdampak terhadap proses biogeokimia. Dengan demikian, tekstur sedimen dapat menjadi penciri suatu habitat mangrove dan juga sub-habitat di dalamnya. Sebagai penciri, maka sangatlah penting untuk menentukan batasan variasi berdasarkan perbandingan ukuran partikel penyusunnya. Terkait dengan hal tersebut, maka dikembangkan pengklasifikasian kelas tekstur.

Sumber sedimen pada hábitat mangrove dapat berasal dari hasil pengendapan yang dipengaruhi oleh faktor oseanografi seperti gelombang, pasang surut dan arus susur pantai atau dapat pula datang dari lingkungan daratan sekitar melalui aliran sungai, aliran permukaan dan air tanah. Proses dekomposisi yang sangat lambat pada substrat mangrove juga berkontribusi terhadap pembentukan humus yang kaya bahan organik. Secara umum, karakteristik fisik sedimen substrat permukaan dapat dibagi atas komponen pasir, liat dan debu berdasarkan ukuran butiran. Perbandingan komposisi antara ketiganya dapat bervariasi secara spasial, tergantung pada sumber sedimen dan dinamika hidrologi yang berlaku pada suatu lahan. Departemen Pertanian

Amerika Serikat (US Department of Agriculture atau biasa disingkat USDA) telah mengembangkan sistem penamaan kelas tekstural dan kelompok tekstural berdasarkan perbandingan persentase pasir, debu dan liat. Penentuan kelompok tekstural (jenis tanah) telah disederhanakan dalam bentuk segi tiga tekstural. Pada Gambar 3.6 dapat dilihat bagaimana penamaan, kelompok tekstural dan diagram segi tiga tekstural yang telah dikembangkan oleh USDA.



Gambar 3.6. Diagram segitiga tektur tanah yang dikembangkan USDA.

Dalam kondisi alami, jenis tekstur substrat mangrove pada umumnya berupa lempung dan lempung berpasir. Hanya pada kondisi-kondisi tertentu jenis tekstur lempung debu dan pasir berlempung ditemukan. Tetapi, pada kondisi habitat mangrove yang telah mengalami perubahan fisik antara lain karena terganggunya sistem hidrologi dan adanya penebangan, jenis tekstur tanah dapat lebih bervariasi.

Perbedaan salinitas pada substrat permukaan terjadi karena lahan mangrove biasanya berada dalam kemiringan tertentu. Semakin miring suatu lahan maka

perbedaan salinitas semakin besar dengan kecenderungan meningkat ke arah daratan. Peningkatan ini terjadi karena frekuensi dan durasi perendaman air laut semakin berkurang ke arah daratan dan akibatnya penyinaran matahari langsung pada permukaan substrat berlangsung lebih lama. Penyinaran sinar matahari langsung pada permukaan substrat permukaan menyebabkan terjadinya penguapan dan kondisi ini menyebabkan salinitas semakin meningkat. Apabila zona dekat daratan menerima masukan air tawar dari daratan sekitar, maka salinitas substrat permukaan akan berkurang meskipun ketinggian lahan relatif terhadap permukaan laut cukup tinggi. Pada Tabel 3.1 dapat dilihat contoh variasi salinitas secara spasial berdasarkan tipe sub-habitat.

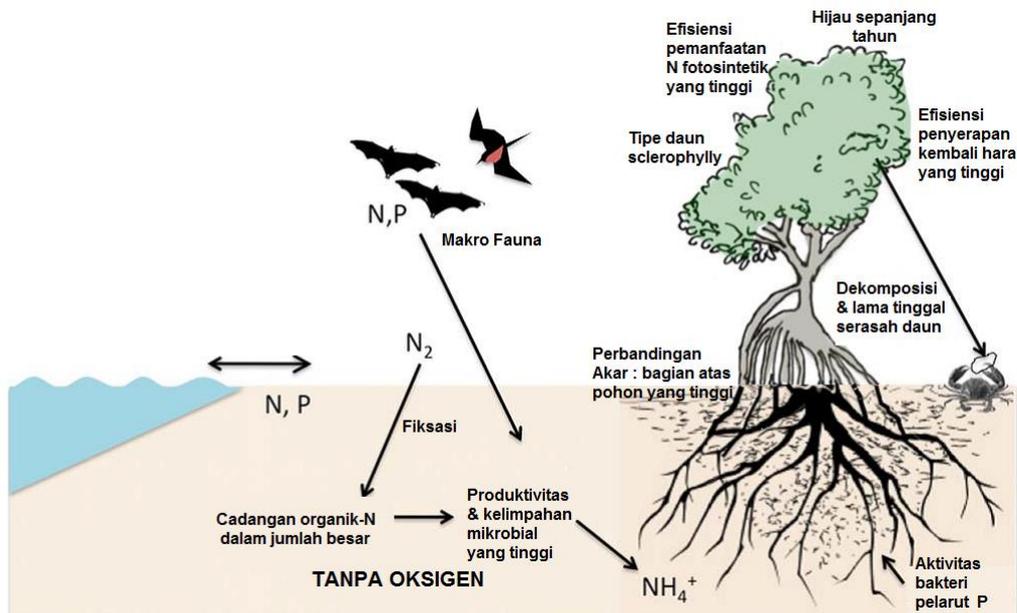
Tabel 3.1. Salinitas substrat permukaan pada 10 tipe sub-habitat mangrove di Taman Nasional Bunaken (Djamaluddin, 2018).

Tipe Sub-habitat	Kemiringan Relatif Terhadap Muka Laut	Tingkat Perendaman	Suplai Air Tawar	Salinitas Substrat Permukaan (ppt)
Estuari	Atas hingga tengah	Sering Terendam, dicapai air laut saat pasang tinggi	Musiman	21,7 ± 7,4
Tepian Laut	Rendah	77 kali/bulan	Tidak Ada	14,0 ± 0,0
Bongkahan karang	Rendah	77 kali/bulan	Tidak Ada	8,0 ± 0,0
Perendaman oleh air laut saat surut	Rendah	107 kali/bulan	Air rembesan dan air permukaan	13,3 ± 0,5
Substrat muda sebelah laut	Rendah	77 kali/bulan	Tidak Ada	18,0 ± 0,0
Tepian aliran sungai pasang surut	Tengah hingga tinggi	Bervariasi tergantung posisi	Musiman atau reguler dari air rembesan dan air permukaan terutama pada posisi tinggi	18,0 ± 0,8
Dekat daratan dengan permukaan lahan datar & tererosi	Tinggi	Maksimum 10 kali/bulan	Musiman dari rembesan dan air permukaan	19,0 ± 0,0

Tepian daratan tersedimentasi	Tinggi	Maksimum 4 kali/bulan	Musiman dari rembesan dan air permukaan	14,3 ± 0,5
Tepian daratan dipengaruhi air tawar secara musiman atau reguler	Tinggi	10 kali/bulan	Reguler	6,5 ± 0,5

3.4 Ketersediaan Hara

Hal yang sangat menarik berlaku pada ekosistem mangrove dimana ekosistem ini diketahui memiliki produktivitas yang tinggi tetapi ketersediaan hara seringkali terbatas. Padahal ketersediaan hara mempengaruhi struktur dan produktivitas. Hal tersebut dapat terjadi karena mangrove mengembangkan suatu strategi konservasi hara yang unik. Proses konservasi hara pada ekosistem mangrove dikembangkan dengan mempertahankan daunnya sepanjang tahun



Gambar 3.7. Skema siklus N dan P pada ekosistem mangrove (Dimodifikasi dari Reef dkk., 2010).

(*evergreeness*), penyerapan ulang hara sebelum daun jatuh, penghentian hara dalam guguran daun selama dekomposisi, ratio antara akar/dahan dan batang yang tinggi, dan penggunaan kembali saluran akar yang telah tua. Dibandingkan dengan kelompok Agiospermae lainnya, efisiensi penggunaan hara dan penyerapan ulang hara sangat efisien pada mangrove. Dalam Gambar 3.7 dapat dilihat bagaimana siklus N dan P pada ekosistem mangrove seperti digambarkan oleh Reef dkk. (2010).

Ada dua jenis hara yang penting menentukan pertumbuhan mangrove yakni nitrogen dan fosfor, juga disebut hara makro (*macro nutrients*). Ketersediaan hara dapat berbeda antara satu ekosistem mangrove dibandingkan dengan ekosistem lainnya dan juga antara tegakan mangrove. Ketersediaan hara untuk dimanfaatkan tumbuhan mangrove ditentukan oleh sejumlah faktor abiotik maupun biotik seperti tingkat perendaman, elevasi dan jangkauan pasang surut, tipe substrat, redoks potensial, spesies mangrove, guguran dan dekomposisi serasah, serta aktivitas mikroba dalam substrat. Secara umum, banyak substrat mangrove memiliki ketersediaan hara yang sangat terbatas. Ketersediaan hara pada ekosistem mangrove berasal dari sedimen yang terbawa masuk saat pasang atau berasal dari daratan terbawa oleh masukan air tawar atau melalui dekomposisi serasah meskipun laju dekomposisi serasah pada sedimen mangrove sangat lambat karena keadaan kurang atau tanpa oksigen (*anoxic*). Ditemukan juga bahwa sumber hara pada ekosistem mangrove dapat berasal dari perendaman karena kejadian badai (contoh: cyclon dan hurricane). Sumber hara dalam bentuk nitrogen juga dapat berasal dari atmosfer dan air hujan.

Siklus nitrogen dalam substrat mangrove berlangsung cukup kompleks. Bentuk ammonium adalah yang paling banyak tersedia pada substrat mangrove karena terjadi persaingan tumbuhan mangrove dengan mikroba yang membutuhkan nitrat dan alga yang melekat pada akar serta permukaan substrat. Proses denitrifikasi oleh bakteri denitrifikasi yang melimpah pada substrat

mangrove berlangsung sangat cepat disebabkan karena kondisi anaerobik dan banyaknya bahan organik. Keberadaan kation-kation dalam substrat mangrove yang dibawa air laut menyebabkan penyerapan ammonium oleh substrat mangrove sangat lambat dibandingkan kondisi lingkungan di daratan. Tetapi, oleh karena penyerapan yang lambat ini menyebabkan ammonium lebih tersedia untuk diambil tumbuhan mangrove. Kondisi substrat yang anaerobik dan jumlah bahan organik yang banyak merupakan kondisi yang baik untuk fiksasi nitrogen. Fiksasi nitrogen, baik yang bergantung pada cahaya maupun yang tidak, ditemukan tinggi dalam komunitas mikrobial pada batang, akar, hancuran serasah dan pneumatofor serta dalam substrat. Kehadiran bakteri cyanobacteria fiksasi nitrogen yang banyak pada lingkungan intertidal juga berkontribusi terhadap siklus nitrogen dalam ekosistem mangrove. Bentuk lain ketersediaan nitrogen dalam ekosistem mangrove adalah berupa asam amino yang dapat diserap, tetapi hal ini masih perlu dikaji lebih lanjut.

Dalam substrat ekosistem mangrove kehadiran fosfat dapat tidak berubah-ubah dan hanya diambil tumbuhan jika berada dalam bentuk terlarut. Oleh karena itu, keberadaan organisme yang dapat merombak senyawaan mengandung fosfor menjadi bentuk yang terlarut menjadi penting bagi pertumbuhan mangrove. Spesies jamur arbuscular microhrrzal yang banyak terdapat di hampir semua jenis substrat mangrove merupakan spesies jamur yang dapat memainkan peran dalam menghasilkan senyawaan mengandung fosfor terlarut. Spesies jamur ini memiliki tingkat adaptasi tertentu terhadap konsentrasi garam, dan keberadaannya berkaitan dengan kondisi salinitas substrat yang rendah (sangat mungkin berada pada konsentrasi kurang dari 20 ppt). Selain salinitas, kondisi tanpa oksigen pada substrat mangrove juga dapat menghambat kehadiran jamur tersebut. Pada kondisi beroksigen sekitar akar, bakteri tertentu dapat menguraikan senyawaan mengandung fosfor menjadi bentuk yang terlarut. Ketersediaan fosfor untuk tumbuhan mangrove juga dapat

dihasilkan melalui proses reduksi sulfat yang banyak terkandung dalam air laut menjadi sulfit, melalui pelepasan proton H^+ yang menyebabkan pengasaman pada substrat. Pada sedimen yang banyak mengandung besi (Fe), fosfor berikatan dengan Fe dalam kondisi beroksigen, tetapi ikatan ini akan terlepas dalam kondisi tanpa oksigen sehingga fosfor menjadi lebih tersedia bagi tumbuhan mangrove untuk diserap.

Status redoks (reduksi – oksidasi) pada substrat mangrove sangat menentukan ketersediaan hara bagi tumbuhan mangrove. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi status redoks pada substrat mangrove antara lain: frekuensi dan durasi perendaman, aktivitas biota (*bioturbation*), dan kelimpahan akar mangrove. Variasi status redoks pada mangrove terjadi karena setiap spesies mangrove memiliki laju pelepasan oksigen dari akar yang berbeda-beda. Oksigen yang dilepaskan dari akar menciptakan kondisi aerobik pada daerah sekitar akar sehingga banyak mikro-organisme melakukan aktivitas di daerah sekitar akar. Pada umumnya, substrat mangrove berada dalam status tereduksi kuat hingga moderat. Adapun tata-urutan proses reduksi pada substrat mangrove sebagai fungsi penurunan potensial redoks (Eh) diringkas seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Tata-urutan proses reduksi sebagai fungsi penurunan Eh dan konsekuensinya terhadap ketersediaan nutrisi (dimodifikasi dari Patrick dan Mahapatra, 1968).

Potensial Redoks Substrat Eh (mV)	Proses dan Hasil
Teroksidasi (Eh > 330 mV)	<ul style="list-style-type: none"> - Reduksi O_2 - NO_3 hadir dominan - Laju nitrifikasi tinggi - P terikat pada Fe dan terserap oleh sedimen - Jamur abuscullar micorrhizal (AM) dan bakteri pelarut P hadir - Sulfat berlebih disebabkan karena oksidasi Fe sulfida

<p>Tereduksi Moderat ($330 > Eh > -100$ mV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Laju denitrifikasi tinggi - Nitrat dalam substrat hilang pada Eh 250 mV - Amonium hadir dominan - Laju fiksasi N tinggi - Laju amonifikasi tinggi - Reduksi Fe pada Eh 120 – 225 mV - P terlepas dalam air pori-pori (pore water) seiring reduksi Fe
<p>Tereduksi Kuat ($Eh < 100$ mV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Reduksi sulfat dominan untuk respirasi bahan organik pada Eh -75 hingga -150 mV - Sulfida (racun untuk tumbuhan) dihasilkan - Konsentrasi Fe^{2+} terlarut rendah disebabkan karena formasi Fe sulfida dan pyrite (FeS_2) - CO_2 sebagai reseptor elektron dominan pada Eh -250 mV dan menghasilkan gas metana

4 Biologi & Adaptasi

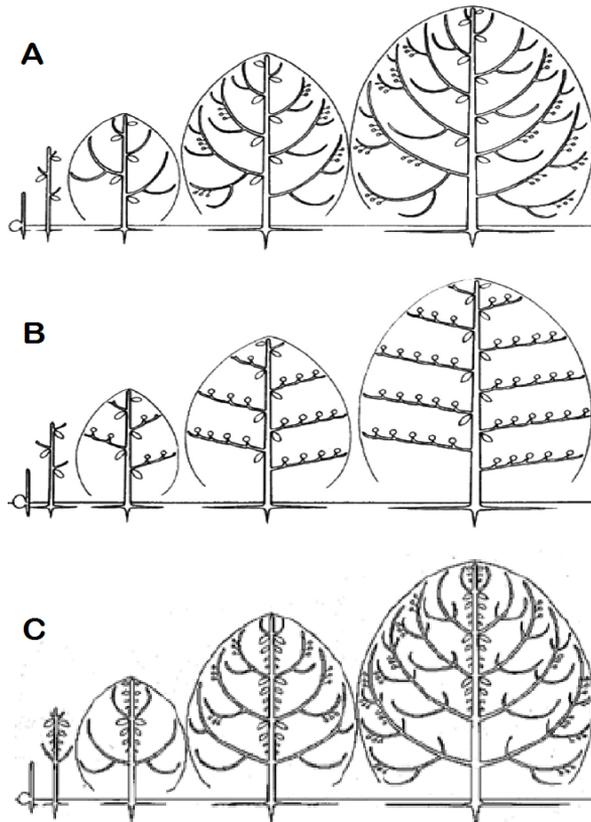
Mangrove adalah tumbuhan tingkat tinggi yang berhasil hidup pada lingkungan atau habitat yang spesifik sebagaimana telah diuraikan dalam Bab 3. Perendaman oleh air laut secara periodik, kandungan garam dalam substrat, kondisi substrat banyak mengandung bahan organik dan oksigen yang sangat sedikit, menjadi ciri khas habitat mangrove yang membutuhkan suatu adaptasi khusus oleh tumbuhan yang menempatnya.

Terdapat perbedaan baik morfologi maupun anatomi pada tumbuhan mangrove yang membedakan tumbuhan ini jika dibandingkan dengan tumbuhan daratan. Daun dan akar pada mangrove merupakan organ tumbuh yang banyak mengalami modifikasi sebagai respon terhadap kondisi lingkungannya yang spesifik. Proses metabolik dan fisiologis khusus juga dikembangkan tumbuhan mangrove antara lain dengan menjaga keseimbangan air, mengatur kadar garam, dll., agar tumbuhan ini dapat hidup dan tumbuh di lingkungannya yang spesifik. Selain itu, mangrove mengembangkan strategi-strategi khusus terkait dengan mekanisme pembungaan, penyebaran benih, germinasi dan establismen, serta pertumbuhan. Keseluruhan aspek-aspek tersebut diuraikan dalam Bab 4 ini.

4.1 Morfologi, Anatomi dan Adaptasi Fisiologis

A. Bentuk tajuk pohon mangrove

Pertama-tama yang perlu digambarkan adalah terkait dengan bentuk tampilan atau arsitek pohon (Gambar 4.1). Meskipun variasi arsitek tajuk pohon mangrove sangat sedikit mungkin karena jumlah spesies mangrove memang sedikit, tetapi juga penting dikaitkan dengan kondisi faktor lingkungan yang dapat menghambat. Arsitek tajuk pohon mangrove juga dapat dikaitkan dengan aspek kompetisi



Gambar 4.1. Bentuk tajuk pohon mangrove: A) Model Attim, B) Model Pettit, C) Model Rauh (Modifikasi dari Hale dkk., 1978)

dalam memanfaatkan ruang dan juga dapat digunakan sebagai indikator gangguan terutama berkaitan dengan penebangan. Beberapa model arsitek tajuk pohon mangrove diperkenalkan oleh Halle dkk (1978), antara lain yang umum yakni: (1) Model Attim; pertumbuhan kontinu pada batang berlanjut pada dahan, struktur bunga menyemping, (2) Model Pettit; pertumbuhan ritmik/teratur pada batang, cabang memiliki struktur bunga terminal seperti pada *Lumnitzera littorea*, dan (3) Model Rauh; pertumbuhan ritmik, percabangan tanpa diferensiasi, struktur bunga lateral.

Dapat dilihat pada Gambar 4.1A (Model Attim) dimana pertumbuhan batang dan cabang berlangsung kontinu dengan susunan bunga (inflorescence)

lateral. Model ini berlaku pada Rhizophoracea kecuali pada beberapa spesies *Bruguiera*. Model Pettit (Gambar 4.1B) dicirikan oleh pertumbuhan reguler pada batang, cabang memiliki susunan bunga terminal (berhenti pada satu titik) dan berkembang seiring pertumbuhan. Model ini dapat ditemukan pada *Lumnitzera littorea*. Model Rauh dicirikan oleh pertumbuhan reguler, cabang tanpa diferensiasi, dan susunan bunga berada pada posisi lateral. Model ini dapat ditemukan pada *Xylocarpus* spp. Model Aubreville seperti yang ditemukan pada *Terminaria catappa* (spesies tumbuhan pantai), dicirikan oleh pertumbuhan batang reguler, cabang keluar memanjang langsung dari batang (plagiotropic) dengan posisi sejajar di kedua sisi, susunan bunga dengan posisi lateral. Model-model khusus berlaku pada mangrove palem (*Nypa fruticans*), mangrove ferna (*Achrosticum* spp.), dan mangrove herba (*Achantus* spp.).

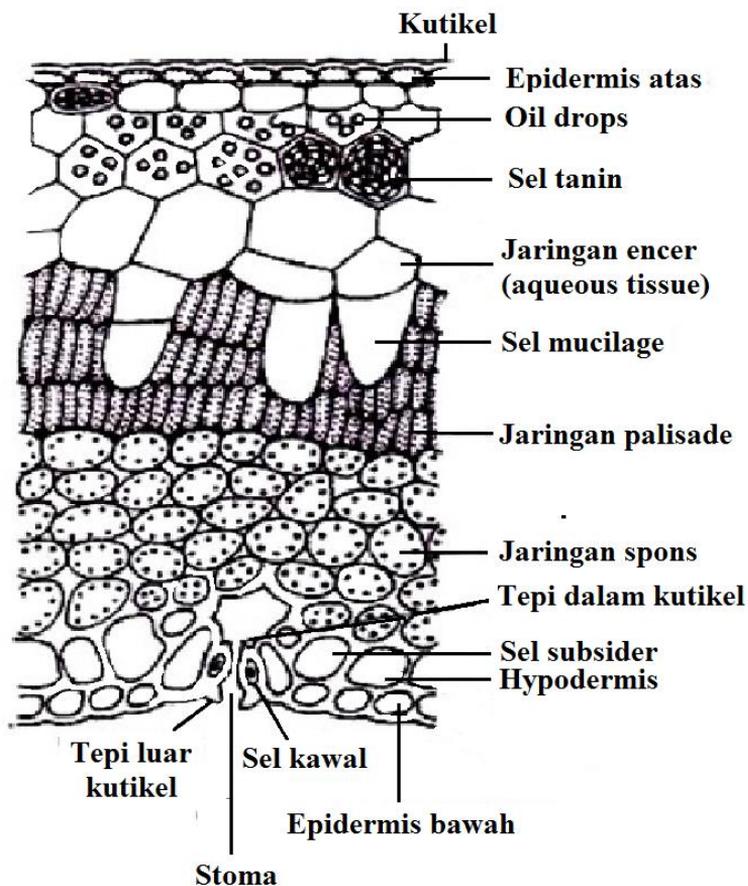
Perbanyakannya secara vegetatif pada mangrove hampir tidak terjadi sama sekali. Dalam keadaan mengalami gangguan, pembukaan lahan karena penebangan maka regenerasi pada umumnya akan berlangsung melalui benih atau propagule. Bila seluruh bagian organ fotosintesis telah hilang maka kebanyakan pohon mangrove genus *Rhizophora* akan mati. Pertumbuhan vegetatif dalam bentuk pertumbuhan lateral (*coppicing* atau *stump sprout*) hanya bisa terjadi jika masih ada organ fotosintesis yang tersisa. Untuk pohon genus *Avicennia* dan *Excoecaria*, kemungkinan pertumbuhan vegetatif bisa terjadi. Dilaporkan juga bahwa pohon *Nypa fruticans* yang tercabut bersama akarnya, mengapung dan kemudian tiba di suatu tempat dapat tumbuh kembali. Kejadian seperti ini bukan sesuatu yang berlaku umum bagi tumbuhan mangrove.

B. Bentuk dan anatomi daun

Tumbuhan mangrove terus menghasilkan daun sepanjang tahun (*evergreen*). Hal ini berkaitan dengan strategi tumbuhan ini untuk hidup di lingkungan penuh tekanan. Keadaan selalu berdaun pada mangrove sangat

penting karena daun berfungsi menjaga proses metabolisme dan fisik terkait pengeluaran garam dan keseimbangan kapasitas air. Dalam pengamatan yang pernah dilakukan, diperoleh hasil bahwa jumlah pertambahan dan kehilangan daun relatif sama, sehingga komposisi tajuk pohon selalu konstan. Diperkirakan umur daun mangrove bervariasi dari beberapa bulan hingga lebih dari 12 bulan.

Secara umum, morfologi daun mangrove relatif sama yaitu ovate hingga elliptic, berujung daun tumpul (*blunt*) hingga menajam (*pointed*), dan tepian daun bundar. Meskipun morfologi daun mangrove terutama pada spesies dalam marga *Rhizophora* relatif sama, perbedaan terjadi pada tekstur dan ukuran daun



Gambar 4.2. Anatomi daun mangrove *Rhizophora mucronata* (www.biologydiscussion.com).

rata-rata. Tekstur daun mangrove pada umumnya solid hingga lembut seperti bulu-bulu (*coriaceous*) tetapi tidak kaku. Tulang daun tidak terlihat jelas dan tidak pernah menonjol. Ciri lain daun mangrove adalah berair (*succulent*), dan ini bervariasi menurut kadar salinitas dan umur daun. Secara anatomi, variasi sifat berair pada daun mangrove terkait dengan perbedaan luasan atau ukuran pada sel mesofil. Rambut halus dan deposit lilin pada daun mangrove tidak berkembang. Pengecualian terjadi pada daun *Avicennia* dimana pada sisi bawah daun terdapat rambut-rambut kecil mementol (*capitate hair*). Beragam bentuk daun mangrove dapat dilihat pada Bab 10 dalam pembahasan tentang pengenalan mangrove flora, dan pada Gambar 4.2 ditampilkan contoh anatomi daun mangrove *Rhizophora mucronata*. Ciri khusus, fungsi jaringan dan sel pada daun mangrove selanjutnya dijelaskan dalam pembahasan terkait sifat xeromorfik, transpirasi, dan adaptasi terhadap garam.

C. Bentuk dan anatomi batang

Morfologi batang mangrove secara eksternal mirip dengan kebanyakan pohon yang tumbuh di daratan. Permukaan luar atau kulit batang mangrove ada yang licin, kasar, berulir, dan ada yang mengelupas. Secara anatomi, bagian batang atau kayu mangrove memproduksi kambium terbatas dan tidak musiman sehingga sangat sulit menentukan umur pohon yang menjadi permasalahan umum dalam ekologi tropis. Ciri yang sangat umum berlaku pada kayu mangrove yaitu ukuran pembuluh kayu (*vessel*) yang sempit dan rapat. Pada umumnya diameter tangensial pembuluh kayu kurang dari 100 μm dan sangat jarang ditemukan melebihi 150 μm . Ukuran vessel yang kecil dan rapat berhubungan dengan tensi tinggi atau tekanan negatif pada xylem. Tensi yang tinggi ini berkaitan dengan potensial osmotik yang tinggi pada air laut dimana mangrove harus mengatasinya agar air dapat terserap.

Selain saluran pembuluh kayu yang sempit dan rapat, pada batang atau kayu mangrove juga terdapat lentisel yang berfungsi untuk pertukaran gas.

Jaringan kulit mangrove juga dapat menjadi organ penting untuk penyimpanan lebihan garam dan secara periodik bagian ini akan dilepaskan seperti yang ditemukan pada *Xylocarpus granatum* dan *Osbornia octodonta*.

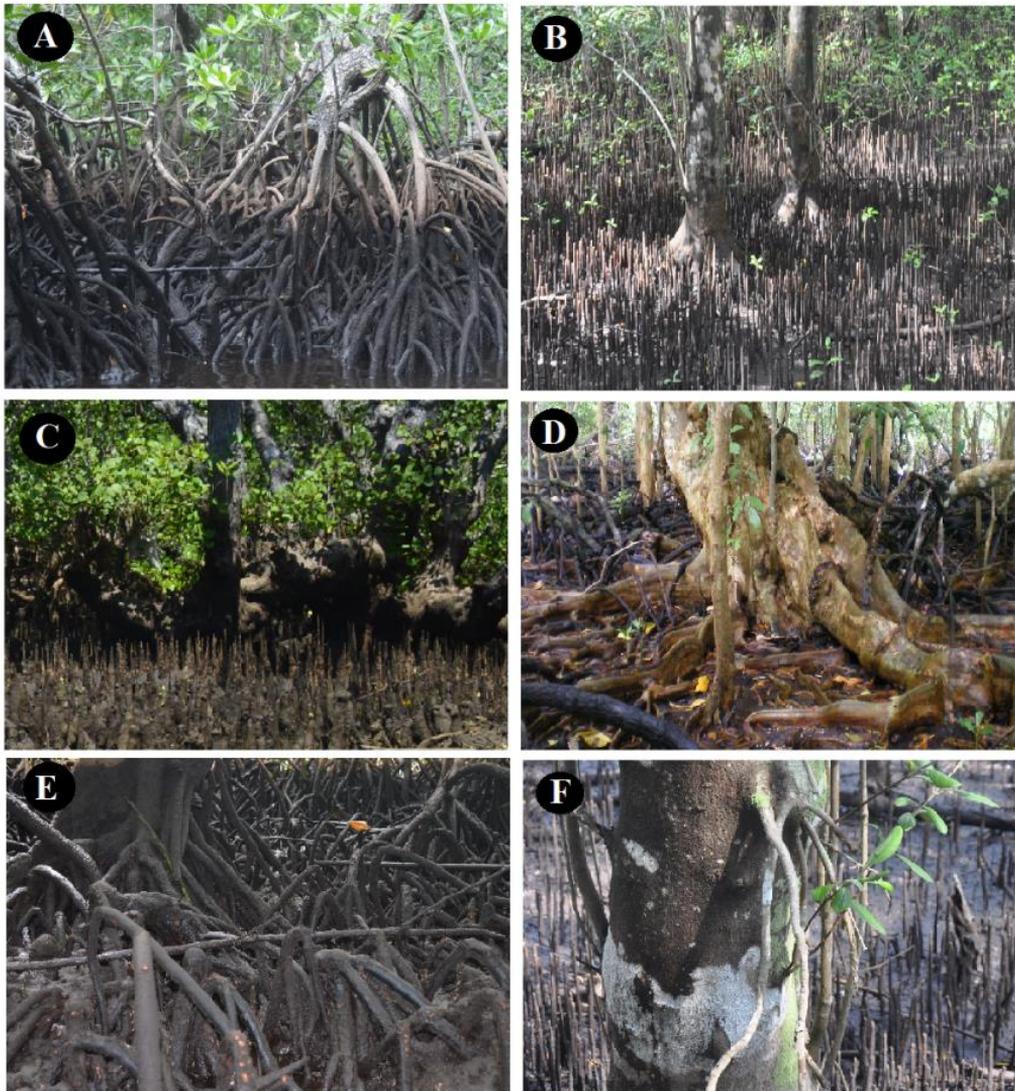
D. Bentuk dan anatomi akar

Ada dua persoalan yang dihadapi mangrove, pertama substrat yang selalu terendam sehingga jumlah oksigen menjadi sangat terbatas atau sering disebut dengan kondisi anearobik, dan yang kedua yaitu kondisi substrat yang lembab (*semi-fluid*) sehingga kurang mendukung untuk proses-proses mekanik. Bentuk dan anatomi akar yang berkembang pada spesies mangrove membantu tumbuhan ini untuk menghadapi persoalan-persoalan tersebut.

Kebanyakan tumbuhan mangrove memiliki sistem akar kabel yang menyebar horizontal, sistem akar tunjang yang menancap secara vertikal, dan sistem akar nutritif yang halus. Sistem akar mangrove pada umumnya hanya dangkal (kurang dari 2 m), akar tunggang tidak ditemukan, dan biasanya rasio biomasa akar dan tajuk (*above ground biomass*) tinggi pada awal masa perkembangan sebagai respon terhadap kondisi lingkungan substrat yang tidak stabil. Beberapa spesies tidak memiliki spesifikasi sistem perakaran, contohnya pada *Aegialitis* dan *Excoecaria*, sehingga *Excoecaria* dapat tumbuh pada substrat yang sedikit mengalami perendaman dan *Aegialitis* tumbuh pada substrat yang aerobik.

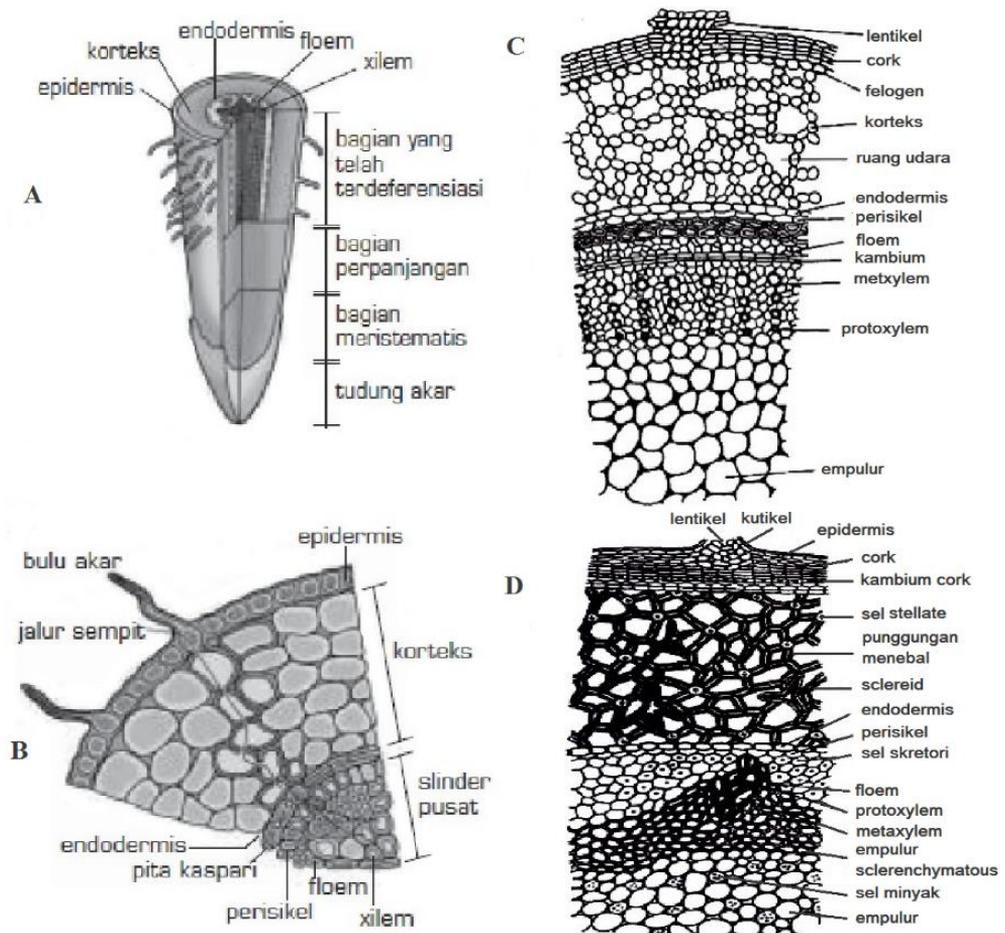
Tumbuhan mangrove mengembangkan sistem perakaran di atas permukaan substrat (*aerial roots*) (Gambar 4.3). Pertama, akar pneumatofor atau akar pasak atau akar nafas seperti yang ditemukan pada *Avicennia* dan *Sonneratia*. Akar ini keluar dari sistem akar kabel secara berentetan dan muncul ke udara. Kedua, akar lutut seperti pada *Bruguiera*, sebagai modifikasi dari sistem akar kabel yang berkembang ke atas hingga keluar dari substrat kemudian turun kembali, berbentuk seperti lutut yang dibengkokkan. Ketiga, akar tunjang atau jangkrang atau agrang seperti pada *Rhizophora*. Akar ini keluar dari batang dan menancap

ke dalam substrat. Keempat, akar papan seperti yang ditemukan pada *Heritiera* keluar dari bagian pangkal batang, berbentuk pipih. Kelima, akar gantung seperti yang ditemukan pada *Achantus*, *Avicennia*, *Rhizophora*. Akar ini keluar dari batang tetapi biasanya tidak menancap pada substrat.



Gambar 4.3. Tipe-tipe akar aerial pada tumbuhan mangrove: A) Akar tunjang pada *Rhizophora*, B) Pneumatofor pada *Avicennia marina*, C) Pneumatofor pada *Sonneratia alba*, D) Akar papan pada *Xylocarpus granatum*, E) Akar lutut pada *Bruguiera gymnorrhiza*, F) Akar gantung pada *Avicennia marina*.

Akar mangrove memiliki fungsi sebagai penyerap nutrisi dan juga untuk menopang tumbuhan itu sendiri. Oleh karena tumbuhan ini tumbuh pada habitat yang bergaram maka akarnya secara anatomi juga difungsikan sebagai organ penyaring garam, dan hasil perhitungan menunjukkan bahwa sebagian besar garam telah tersaring saat penyerapan air karena sifat impermeabilitas pada akar. Pada akar juga terdapat lentisel yang memungkinkan terjadinya pertukaran gas termasuk penyerapan oksigen. Secara detail, anatomi akar mangrove ditampilkan seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Anatomi akar: A) bagian akar secara umum, B) penampang melintang, C) penampang pneumatofor, D) penampang akar tunjang *Rhizophora mucronata* (A dan B dimodifikasi dari www.biomagz.com, C dan D dimodifikasi dari www.biologydiscussion.com).

E. Ciri xeromorfik dan transpirasi

Habitat tumbuh mangrove sering digambarkan sebagai habitat yang kering atau arid secara fisiologis, meskipun habitat mangrove sebenarnya selalu basah. Penggambaran seperti ini dikaitkan dengan kondisi berair yang mengandung garam, dimana penyerapan air oleh mangrove harus melawan gradien osmotik. Untuk melakukan proses seperti itu, tumbuhan mangrove membutuhkan energi ekstra, dan jumlah ketersediaan air dengan kadar garam yang telah tereduksi pada pohon mangrove sesungguhnya ditentukan oleh besarnya energi metabolik yang dimiliki pohon mangrove untuk melakukan desalinisasi. Tumbuhan mangrove memiliki ciri yang dikenal dengan istilah xeromorfik, yaitu menahan air yang berkadar garam rendah untuk tetap berada dalam organ tumbuhan ini.

Daun mangrove memiliki beberapa karakteristik yang berkaitan dengan fungsi menahan atau menyimpan air yang berkadar garam rendah. Daun mangrove terutama bagian atasnya dilapisi oleh lapisan lilin kutikel yang tebal sehingga dapat memperlambat proses evaporasi. Kehadiran rambut pada *Avicennia* dan sisik pada *Camptostemon* dan *Heritiera* mengurangi hilangnya air dari daun. Stoma yang berfungsi sebagai saluran keluar dan masuknya gas pada daun terletak lebih dalam dari lapisan epidermis bawah pada kebanyakan mangrove. Posisi stoma seperti itu berfungsi untuk mengurangi evaporasi. Sifat sukulen atau menyimpan air pada daun mangrove secara anatomi berkaitan dengan hadirnya sel-sel besar penyimpan air hypodermis, mesofil palisade yang berkembang dengan volume intraselular yang kecil. Selain daun mangrove, anatomi kayu pada beberapa spesies mangrove termodifikasi dengan jumlah pembuluh kayu yang lebih banyak dan pori-pori berukuran kecil. Modifikasi anatomi kayu mangrove seperti itu berkaitan dengan perlambatan pergerakan air.

Laju transpirasi atau hilangnya uap air yang rendah pada tumbuhan mangrove berkaitan dengan adaptasi tumbuhan ini terhadap kondisi bergaram.

Air disuplai ke daun dengan tekanan potensial hidrostatik yang sangat negatif dan jumlah air yang dibutuhkan cukup tinggi mengingat perbedaan tekanan uap antara daun dan udara. Penjelasan lainnya yakni bahwa laju transpirasi yang rendah adalah untuk menghindari penumpukan garam yang terlalu cepat dalam daun yang dapat menyebabkan gangguan.

F. Respon terhadap garam

Kenyataan bahwa tumbuhan mangrove dapat tumbuh dan beregenerasi di habitat yang bergaram mengindikasikan bahwa tumbuhan ini dapat mengontrol penyerapan garam dan memiliki kemampuan untuk menjaga keseimbangan air pada tingkat yang dapat diterima secara fisiologis. Habitat tumbuh mangrove di zona intertidal yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut menyebabkan tumbuhan ini tidak bisa menghindari kehadiran garam dalam bentuk ion natrium dan klorida. Air laut dengan kandungan garam terlarut sebanyak 35 gram/liter memiliki tekanan potensial osmotik sebesar -2,5 MPa dan tekanan ini akan lebih rendah lagi (lebih negatif) untuk air yang ada dalam substrat.

Kebanyakan tumbuhan mangrove menyerap ion natrium dan klorida. Terdapat tiga mekanisme yang ditemukan pada tumbuhan mangrove dalam kaitannya dengan respon terhadap lingkungan yang mengandung garam. Pertama, kelompok tumbuhan mangrove yang menyerap garam dan mengeluarkannya (disebut juga *salt secretors* atau sekretor garam). Kedua, kelompok tumbuhan mangrove yang tidak menyerap garam (disebut juga *salt excluders* atau penolak atau penyaring garam). Ketiga, kelompok tumbuhan yang sama dengan kelompok pertama yaitu menyerap garam tetapi kemudian mengumpulkan garam pada jaringan tertentu (disebut juga *salt accumulators* atau pengumpul garam).

Tumbuhan mangrove kelompok sekretor garam ditemukan pada *Avicennia*, *Aegiceras*, *Aegialitis*, *Achantus*, dan *Laguncularia*. Tumbuhan dalam kelompok ini memiliki kelenjar garam (salt gland) pada daun yang berfungsi untuk

mengeluarkan garam. Beberapa studi sudah dilakukan untuk mengetahui mekanisme pengeluaran garam pada sejumlah spesies mangrove. *Avicennia* merupakan tipe sekretor garam yang efektif sehingga mampu hidup pada kondisi lingkungan dengan kadar garam yang tinggi. Pada *Achantus* dan *Aegialitis* mekanisme ini kurang efektif sehingga mereka hanya bisa tumbuh di habitat yang berkadar garam tidak terlalu tinggi. Pada *Aegiceras* terdapat 24 – 40 sel sekretori yang terletak dalam setiap sel basal yang berukuran besar. Sel-sel sekretori berada dalam satu kesatuan dengan mitokondria dan organel lainnya. Plasmodesmata menghubungkan bahan-bahan hidup yang ada dalam sel basal dan sel-sel sekretor. Sementara itu, persimpangan antara sel basal dan sub-basal yang membentuk lapisan di atas mesofil palisade hadir secara parsial berupa *cutinized* (seperti sel lilin). Proses pengeluaran garam terjadi melalui celah yang terdapat di antara bagian kutikel pada kelenjar (*gland*). Sel-sel mesofil memiliki dua vakuola, salah satunya mengandung cairan organik tanpa atau sedikit klorida, sementara satunya lagi tidak mengandung cairan organik tetapi kaya klorida. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa ion-ion natrium, kalium, dan klorida secara aktif dipindahkan keluar dari jaringan dasar (*parenkim*) oleh sel-sel kelenjar.

Kelompok penghindar atau penyaring garam ditemukan antara lain pada *Rhizophora*, *Ceriops*, *Sonneratia*, *Avicennia*, *Osbornia*, *Bruguiera*, *Excoecaria*, *Aegiceras*, *Aegialitis*, dan *Acrostichum*. Bagian akar dari tumbuhan ini memiliki mekanisme menolak garam pada saat penyerapan air. Hasil pengukuran tekanan potensial osmotik pada pohon yang memiliki sedikit atau tanpa kehadiran kelenjar garam menunjukkan nilai kurang dari -0,2 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi garam terlarut dalam xylem hampir sama dengan kebanyakan tumbuhan yang hidup di lingkungan tanpa garam. Dibandingkan dengan tekanan potensial osmotik pada cairan xylem kelompok pengeluar garam yaitu sebesar -0,4 hingga -0,7 MPa, menunjukkan bahwa tumbuhan pada

kelompok ini kurang efisien dalam menghindari garam untuk tidak terserap oleh akar. Meskipun kurang efisien berlaku pada kelompok pengeluar garam, tumbuhan pada kelompok ini tetap memiliki kemampuan menghindari garam tidak terserap oleh akar sebesar 80 – 90 %. Kapasitas akar untuk menyaring garam berlangsung atau ditentukan melalui proses yang sederhana yaitu perbedaan permeabilitas membran dalam akar.

Kelompok pengumpul garam ditemukan pada *Excoecaria*, *Lumnitzera*, *Avicennia*, *Osbornia*, *Rhizophora*, *Sonneratia* dan *Xylocarpus*. Ion natrium dan klorida dikumpulkan pada kulit batang dan akar, dan juga dalam daun yang telah tua. Penyimpanan garam dalam daun yang telah tua seperti pada *Excoecaria*, *Sonneratia*, dan *Lumnitzera* berkaitan dengan ciri daun yang mengandung banyak air (*succulent*). Kelebihan garam dari jaringan metabolik dipindahkan ke daun tua sebelum jatuh. Pada *Xylocarpus* dan *Excoecaria*, pengguguran daun tahunan dapat dipandang sebagai mekanisme pemindahan garam sebelum periode pertumbuhan baru dan proses produksi buah.

4.2 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 perkembangbiakan (*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 hermaprodit (85%), berumah tunggal (*monoecy*) sangat tidak umum (11%), dan berumah ganda (*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 di antara sedikit jenis mangrove dengan bunga yang sempurna (*floral dimorphism associated with incompatibility*). *Avicennia* dan *Scyphiphora* tercatat memiliki derajat *dichogamy* berbeda-beda (biasanya *protandry*), sedangkan *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 madu (*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 gymnorrhiza* 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).

4.3 Penyebaran Propagule (Buah, Biji, Benih)

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 satu kesatuan penyebaran (*unit of dispersal*). Benih seperti ini dikeluarkan dari kotiledon (*cotyledon*) dan kemudian tetap tinggal bersama buah pada spesies *Ceriops*, *Kandelia*, dan *Rhizophora*. Pada *Bruguiera*, satuan penyebaran menjadi lebih kompleks disebabkan 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 seperti *Heritiera*, *Lumnitzera*, *Nypa*, dan *Scyphiphora* biasanya merupakan bagian dinding buah berserat (*fibrous*).

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

- Lama waktu propagule mengapung dan tetap mampu hidup,
- Laju aliran arus permukaan,

- Kondisi air,
- 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; 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).

4.4 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* (kotiledon membesar dan terbuka). Di antara 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, sedangkan biji 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 dipelajari 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 *plumule* tersebut dilepaskan (Tomlinson, 1986).

Bagi semua biji tanaman, establismen merupakan tahapan kritis dalam siklus hidup biji tersebut. 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 benih tersebut tenggelam.

Jarak dimana propagule mangrove disebarkan dan kemudian siap tumbuh telah dipelajari pada beberapa spesies. Sebagai contoh, propagule *Avicennia*, ditemukan tertancap dalam jarak 2 km dari sumbernya, dan kebanyakan propagule tersebut 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).

4.5 Laju Pertumbuhan

Hingga kini, pengukuran laju pertumbuhan mangrove masih sangat terbatas, sedangkan metode pengukuran konvensional yang biasanya diberlakukan untuk menghitung umur maupun laju pertumbuhan pohon di daerah empat musim dengan cara menghitung jumlah dan mengukur lebar lingkaran tahun, hampir tidak mungkin dilakukan pada mangrove.

Studi selama 23 bulan telah dilakukan dan dilaporkan oleh penulis (Djamaluddin, 2004) untuk mengukur laju pertumbuhan 10 spesies mangrove yang tersebar di berbagai macam kondisi habitat mangrove yang ada di Taman Nasional Bunaken. Dalam studi ini, pengukuran laju pertumbuhan dilakukan dengan alat bantu berupa *fixed dendrometer bands* dengan *DYMO labeling tape*

yang diproduksi oleh DYMO Esselte Pendaflex Corporation. Hasil pengukuran yang dilakukan secara lengkap ditampilkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Laju pertumbuhan batang rata-rata yang diukur pada 10 jenis mangrove selama 23 bulan.

Spesies	Laju Pertumbuhan Batang Dalam mm/bulan (rata-rata ± SD)	Laju Pertumbuhan Batang Sebagai Persen Lingkaran Batang Mula-mula	
		< 50 cm	> 50 cm
<i>Avicennia. rumphiana</i> (n = 4)	1,12 ± 0,45		3,3 (n=4)
<i>Avicennia. marina</i> (n = 3)	0,64 ± 0,42		1,5 (n=3)
<i>Ceriops tagal</i> (n = 10)	1,16 ± 0,75	13,1 (n=6)	4,6 (n=4)
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i> (n = 6)	1,03 ± 0,18	7,7 (n=2)	3,0 (n=4)
<i>Bruguiera parviflora</i> (n = 1)	1.61	9,7 (n=1)	
<i>Rhizophora apiculata</i> (n = 11)	1,32 ± 0,71	6,8 (n=4)	2,4 (n=7)
<i>Rhizophora mucronata</i> (n = 5)	1,13 ± 0,49	10,3 (n=4)	1,5 (n=1)
<i>Rhizophora stylosa</i> (n=2)	0,76 ± 0,26		2,0 (n=2)
<i>Sonneratia alba</i> (n = 5)	1,58 ± 0,58	10,0 (n=2)	3,7 (n=3)
<i>Xylocarpus molucensis</i> (n = 1)	0,65		3,2 (n=1)

Catatan: SD (standar deviasi), n (jumlah sampel)

Dibandingkan dengan hasil sejumlah studi yang telah dilakukan di berbagai tempat lain, laju pertumbuhan yang tercatat dalam studi ini nampak berbeda. Sebagai contoh, untuk mangrove matang di Malaysia, Putz dan Chan (1986) mencatat pertambahan diameter pada *R. apiculata* sebesar 0,32 cm/tahun. Nilai ini jelas lebih rendah dibandingkan dengan yang dicatat oleh Djamaluddin (2004) untuk spesies yang sama yakni sebesar 0,5 cm/tahun. Untuk hutan mangrove di Micronesia (Devoe dan Cole, 1988) melaporkan laju pertambahan diameter pada *B. gymnorrhiza* and *S. alba* berturut-turut sebesar 0,44 cm/tahun and 0,96 cm/tahun, kedua nilai ini ternyata lebih tinggi dibandingkan dengan yang dilaporkan Djamaluddin (2004) sebesar 0,4 cm/tahun pada *B. gymnorrhiza* dan 0,6 cm/tahun pada *S. alba*. Devoe dan Cole (1998) juga melaporkan nilai laju pertambahan diameter pada *R. mucronata* sebesar 0,37 cm/tahun, yang ternyata sedikit lebih rendah dibandingkan yang dilaporkan Djamaluddin (2004) sebesar 0,43 cm/tahun.

Penjelasan lebih jauh menyangkut hasil studi yang dilakukan oleh Djamaluddin (2004), bahwa laju pertumbuhan mangrove bervariasi menurut waktu (*seasonal*), dan ini berkorelasi positif dengan curah hujan. Respon individu mangrove terhadap kondisi habitat yang berbeda-beda juga sangat bervariasi, dan terdapat indikasi bahwa pohon berukuran kecil bertumbuh lebih cepat dibandingkan dengan pohon yang besar. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa laju pertumbuhan antar jenis mangrove tidak berbeda secara nyata. Berdasarkan keseluruhan fakta yang ditemukan, dapat dikemukakan bahwa laju pertumbuhan mangrove di lokasi studi (Taman Nasional Bunaken) tidak dipengaruhi hanya oleh satu faktor, tetapi lebih sebagai hasil kombinasi beberapa faktor.

Secara umum, menurut Richards (1996), laju pertumbuhan akan menjadi cepat ketika pohon muda terbebas dari sebuah formasi ruang terbuka, atau telah tumbuh cukup tinggi sehingga terbebas dari penutupan oleh pohon terdekat. Selanjutnya, pertumbuhan meninggi (*vertical*) akan berlangsung cepat dalam beberapa tahun. Pertumbuhan melebar atau membesar pada batang juga akan menjadi lebih cepat ketika kondisi cahaya cukup mendukung. Pada akhir tahapan kehidupannya (paling tidak pada pohon besar yang mencuat di atas tinggi pohon rata-rata), pertumbuhan meninggi akan terlebih dahulu berkurang sebelum terjadi perlambatan pada pertumbuhan melebar sehingga rasio di antara keduanya akan berubah.

5 Proses Perkembangan & Regenerasi

Mangrove memiliki strategi khusus untuk berhasil tumbuh di lingkungan intertidal yang dinamis, meskipun prosesnya sering sangat kompleks. Secara umum, proses perkembangan komunitas mangrove melalui empat tahapan dimulai dari kolonisasi, perkembangan awal, pendewasaan dan penuaan. Setiap tahapan tersebut memiliki ciri masing-masing, dan khusus untuk mangrove tahapan penuaan sangat jarang dicapai, antara lain karena kondisi lingkungan yang cepat mengalami perubahan. Pada kondisi tertentu, proses regenerasi mangrove dapat pula diwarnai oleh sejarah pembentukan dan pemulihan ruang terbuka (*gap*) sebelum suatu kondisi yang stabil dicapai. Kejadian *dieback* karena penuaan, seperti yang dialami komunitas mangrove di Taman Nasional Bunaken, merupakan suatu fenomena unik yang perlu dikaji lebih dalam karena sangat penting dalam pemahaman siklus hutan mangrove. Bagaimana konsep-konsep terkait dengan perkembangan tegakan, regenerasi, kejadian suksesi, laju balik ulang yang dapat berlaku pada ekosistem mangrove, serta studi kasus *dieback* di Taman Nasional Bunaken diulas dalam Bab 5 ini.

5.1 Tahapan Perkembangan

Sudah merupakan fakta bahwa mangrove memiliki kemampuan untuk tumbuh di lingkungan intertidal. Mangrove tumbuh dan beregenerasi secara konstan, dan ini menunjukkan bahwa mangrove tersebut bersifat dinamik dan memiliki strategi regeneratif yang cukup berhasil (Duke, 2001). Strategi tersebut berbeda dibandingkan dengan yang dimiliki oleh kebanyakan hutan darat, terutama disebabkan 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 beberapa referensi antara lain: 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 keempat 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. Ruang terbuka mulai terbentuk disebabkan oleh faktor seperti kayu gelondongan yang hanyut, material terapung, erosi dan deposisi sedimen. Pertumbuhan tinggi pohon berkurang pada akhir tahapan ini

disebabkan kanopi telah mencapai tinggi maksimum (*site maximal canopy height*).

3. Pematangan (*maturity*) dimulai ketika tinggi kanopi maksimum telah dicapai. Biomassa pohon secara individual mengalami peningkatan. Penjarangan terus berlangsung sehingga kepadatan pohon berkurang. Ruang terbuka 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 pohon tersebut banyak ditumbuhi oleh koloni tumbuhan menempel (*epiphyte*), atau mati karena mengalami pembusukan. Selama fase ini, kepadatan pohon sangat rendah dan penjarangan minimal. ruang terbuka mulai terbentuk oleh karena kematian pohon yang besar, atau erosi dan deposisi sedimen. Faktor cuaca, seperti badai menjadi kurang penting pada kondisi ini, secara sederhana disebabkan 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 kohort (*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 ruang terbuka/*gap* (*gap generation*) dan perkembangan tegakan. Uraian selanjutnya merupakan penjelasan ringkas fase regenerasi ruang terbuka cahaya (*light gap regeneration phase*) yang diusulkan.

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

Kehadiran ruang-ruang terbuka 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 ruang terbuka merupakan hasil kombinasi antara proses reproduksi (establismen dan pertumbuhan pohon baru) dan proses vegetatif (pohon sekitar ruang terbuka 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 ruang terbuka (*gap creation and recovery*). Secara ringkas, proses ini terdiri dari enam fase yang dimulai ketika sebuah hutan yang telah matang (*mature forest*) dengan tanpa ruang terbuka berkembang melalui dua fase penciptaan ruang terbuka (yaitu penciptaan dan pembukaan ruang terbuka), dan tiga fase pemulihan (rekrutmen, pengisian, dan penutupan ruang terbuka), 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 ruang terbuka kanopi dalam mempengaruhi proses balik-ulang (*turnover*) pada mangrove. Pada suatu waktu, kehadiran ruang terbuka berukuran kecil akan mempengaruhi suatu bagian kecil dalam hutan, tetapi dalam suatu jangka waktu tertentu pengaruh akumulatif banyak ruang terbuka akan menjadi cukup signifikan dan merata dalam suatu area tertentu oleh karena lokasi ruang-ruang terbuka 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 spontan oleh karena proses tersebut berlangsung sebagai sebuah kondisi perkembangan hutan yang normal. Oleh sebab itu, ketika laju balik-ulang melalui proses penciptaan ruang terbuka lebih cepat dari pada laju balik ulang yang terjadi melalui proses perkembangan tegakan (yaitu situasi dimana frekuensi penciptaan ruang terbuka sangat cepat), selanjutnya perkembangan tegakan diperhitungkan akan tertahan, dan kondisi ini menghasilkan hutan yang relatif muda. Pada kondisi yang lebih ekstrem dimana gangguan/kerusakan hutan diakibatkan oleh terbentuknya ruang terbuka ternyata sangat berat dan berulang-ulang terjadi, maka hutan dapat benar-benar rusak (*collaps*).

5.2 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, yaitu: 1) peningkatan nitrogen tanah, 2) peningkatan tinggi tumbuhan dewasa (mengarah kepada penaungan terhadap jenis tumbuhan yang tumbuh rendah).

Interaksi antara peningkatan naungan dan peningkatan nutrisi substrat seringkali menentukan susunan penggantian spesies. 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 varietas substrat murni menunjukkan bahwa tumbuhan berkayu tidak dapat menginvansi 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 floristik mula-mula' (*initial floristic composition model*), yang mendefinisikan suksesi tidak lebih dari penggantian spesies 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 spesies tumbuhan secara lebih ketat serta penekanan pada aspek fasilitasi (*facilitation*), dimana suatu spesies memberikan jalan bagi spesies lainnya dengan cara merubah kondisi lingkungan ke arah yang lebih cocok bagi spesies 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 nutrisi disebabkan oleh spesies pertama, suksesi akan terus berlangsung karena koloni berikutnya akan dapat menerima suatu kondisi baru yang tercipta. Sebaliknya, model penghambatan mengasumsikan bahwa spesies pertama akan secara mudah dihambat establismentnya oleh spesies berikutnya dengan cara melakukan pengosongan suatu site (*site pre-emption*) terlebih dahulu. Semakin panjang masa hidup spesies pertama, semakin kecil peluang spesies 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 tambahan.

5.3 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 spesies, tempat, struktur tegakan, dan kondisi lainnya (Oliver dan Larson (1996). Apabila kondisi lingkungan ternyata tetap stabil maka proses balik-ulang suatu spesies 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 ekosistem tersebut 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 seperti dijelaskan oleh 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 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 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 (1967) berpendapat bahwa perubahan tersebut dapat mendukung terjadinya penggantian suatu spesies oleh yang lain, suatu indikasi proses suksesi. Perubahan pada muka laut, jumlah masukan air tawar, atau laju pasokan 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 ekstrem, maka hal yang mungkin terjadi yakni kematian seluruh vegetasi mangrove.

5.4 Kasus Mangrove *Dieback* di Taman Nasional Bunaken

Dieback merupakan sebuah kata yang digunakan untuk menjelaskan kondisi kesehatan pohon yang kehilangan kemampuan fisik atau energi. Indikasi *dieback* bermacam-macam dan sering dihubungkan dengan faktor penyebabnya. Pada kebanyakan kasus, *dieback* diindikasikan oleh kematian pada suatu ujung cabang pohon. *Dieback* dapat bersifat balik kembali (*reversible*) pada kondisi semula (pohon menjadi sehat), tetapi dalam banyak kasus *dieback* berakhir dengan kematian pohon. Sejumlah tulisan berikut dapat dijadikan dasar bacaan untuk pemahaman lebih jauh tentang konsep dan masalah yang berkaitan dengan *dieback*, yakni Heatwole dan Lowman (1986), Mannion (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 *dieback* 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, 1974, 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; Pajmans 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 secara masal (Jiminez dkk., 1985; Duke, 2001). Beberapa di antara faktor penyebab yang telah disebutkan (contohnya; badai *hurricane* dan petir) dapat pula secara sederhana dipertimbangkan sebagai penyebab kerusakan fisik pada mangrove dari pada penyebab *dieback*. Uraian selanjutnya merupakan ringkasan hasil investigasi kejadian *dieback* pada mangrove di Taman Nasional Bunaken seperti yang dilaporkan oleh Djamaluddin (2004).

Hutan mangrove di Taman Nasional Bunaken sangat unik karena banyaknya spesies (27 spesies, tidak termasuk *hybrid* dan tumbuhan asosiasi) dan tingkat perkembangan yang dicapai. Proses ekologi yang tengah berlangsung dalam hutan ini menggambarkan suatu kondisi *dieback* yang jarang ditemukan pada mangrove dimanapun. Seperti yang telah disinggung dalam bahasan sebelumnya, tahapan tua (*senescence*) pada mangrove sangat jarang dicapai. Hal tersebut disebabkan 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 nampak mulai kehilangan kemampuan tumbuh, sebagian telah mati dan sebagian lainnya terindikasi akan mati. Pohon tinggi dan besar mengalami kematian pada bagian ujung atas, pohon tersebut dikolonisasi oleh tumbuhan epifit, dan sebagian lagi mengembangkan percabangan lateral.

Meskipun *dieback* 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 *dieback* sudah sangat umum berlaku pada mangrove di Pulau Mantehage dan beberapa lokasi lainnya di selatan Taman Nasional ini. Penuaan atau faktor usia tua dipertimbangkan sebagai satu-satunya faktor yang potensial menyebabkan fenomena *dieback* tegakan berukuran besar di Taman Nasional Bunaken seperti diringkas dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Faktor potensial penyebab *dieback* dan pengaruhnya pada mangrove di Taman Nasional Bunaken.

Faktor Potensial Penyebab <i>Dieback</i>	Indikasi Bila Faktor Tersebut Berlaku	Kondisi/Bukti Pada Mangrove di Taman Nasional Bunaken
Angin kencang dan merusak: <i>hurricane</i> , tornado, <i>cyclone</i> , dll.	Kerusakan pada daerah yang luas, ketidakhadiran pohon besar, banyak pohon roboh dan lainnya tanpa daun atau cabang	Tak ada bukti; wilayah ini terhindar dari angin yang kencang dan bersifat merusak
Agen biologik	Tergantung pada jenis agen: kerusakan fisik pada daun dan bagian lain (insekta); kanker cabang, pembusukan akar, pelayuan vaskular (fungi patogen), penyimpangan bentuk percabangan, kerdil, bercak dan bintik-bintik pada daun (virus), benjolan pada daun dan pelayuan vaskular (bakteri), dll., dan biasanya mempengaruhi baik pohon muda maupun tua; tak ada regenerasi	Mungkin terjadi, tetapi pertanyaannya mengapa hanya pohon berukuran besar yang mengalami <i>dieback</i>
Polutan	Tergantung pada jenis polutan: biasanya memutih, klorosis atau nekrosis pada daun, defoliiasi dan mati; dan biasanya semua ukuran dan umur pohon terpengaruh	Tak ada bukti; tak ada sumber potensial yang teridentifikasi
Banjir yang lama	Banyak pohon yang mati di lokasi banjir; banjir jangka pendek mungkin tak membunuh mangrove	Tak ada bukti hingga kini
Serangan petir	Terdapat ruang terbuka berbentuk lingkaran dan terpisah-pisah dalam hutan; biasanya semua ukuran dan umur pohon terpengaruh	Ditemukan dalam skala kecil antara lain di Pulau Mantehage
Hipersalinitas	Kematian pohon di daerah yang miring/tinggi; seringkali permukaan tanah ditutupi kristal garam	Secara regular terjadi pada lokasi bagian tengah di Pulau Mantehage

Deposisi sedimen	Kematian progresif semua pohon di lokasi tersedimentasi	Terdapat beberapa bukti, terutama di lokasi sebelah darat di selatan Taman Nasional Bunaken; juga ditemukan pada lokasi di bagian tengah Pulau Mantehage
Erosi Peningkatan muka laut (efek jangka panjang melalui peningkatan tinggi rata-rata muka laut)	Pohon tumbang di lokasi tererosi Perendaman air laut di daerah intertidal yang rata dan rendah; dan mangrove meluas ke habitat daratan	Tak ada bukti Tak ada bukti
Umur tua/ <i>senescence</i>	Banyak pohon tua ditumbuhi epifit; <i>dieback</i> pada pohon besar; sedikit regenerasi dari jenis yang mengalami <i>dieback</i>	Beberapa bukti; hanya pohon besar dalam kondisi <i>dieback</i> , sedikit regenerasi <i>S. alba</i> , epifit hadir pada pohon besar, berlobang di bagian tengah batang
Penebangan (dampak tak langsung melalui peningkatan pembukaan kanopi/habitat dan pelemahan integritas tegakan)	Pohon kanopi dengan densitas rendah tetapi banyak kelas ukuran yang kecil	Bukti bahwa penebangan sangat umum, tetapi kebanyakan penebangan di lokasi <i>dieback</i> terjadi setelah adanya indikasi <i>dieback</i>

Berdasarkan informasi yang diringkas dalam Tabel 5.1, terdapat empat proses potensial yang telah menyebabkan terjadinya *dieback* pada hutan mangrove di tempat ini, yakni:

1. Pendewasaan hutan, penuaan, dan mati,
2. Deposisi secara terus menerus dan perubahan pada kondisi substrat yang ekstrim,
3. Serangan kilat (terjadi dalam skala kecil)
4. Penebangan yang menyebabkan terjadinya pembukaan dalam mangrove dan kemudian mengurangi integritas tegakan.

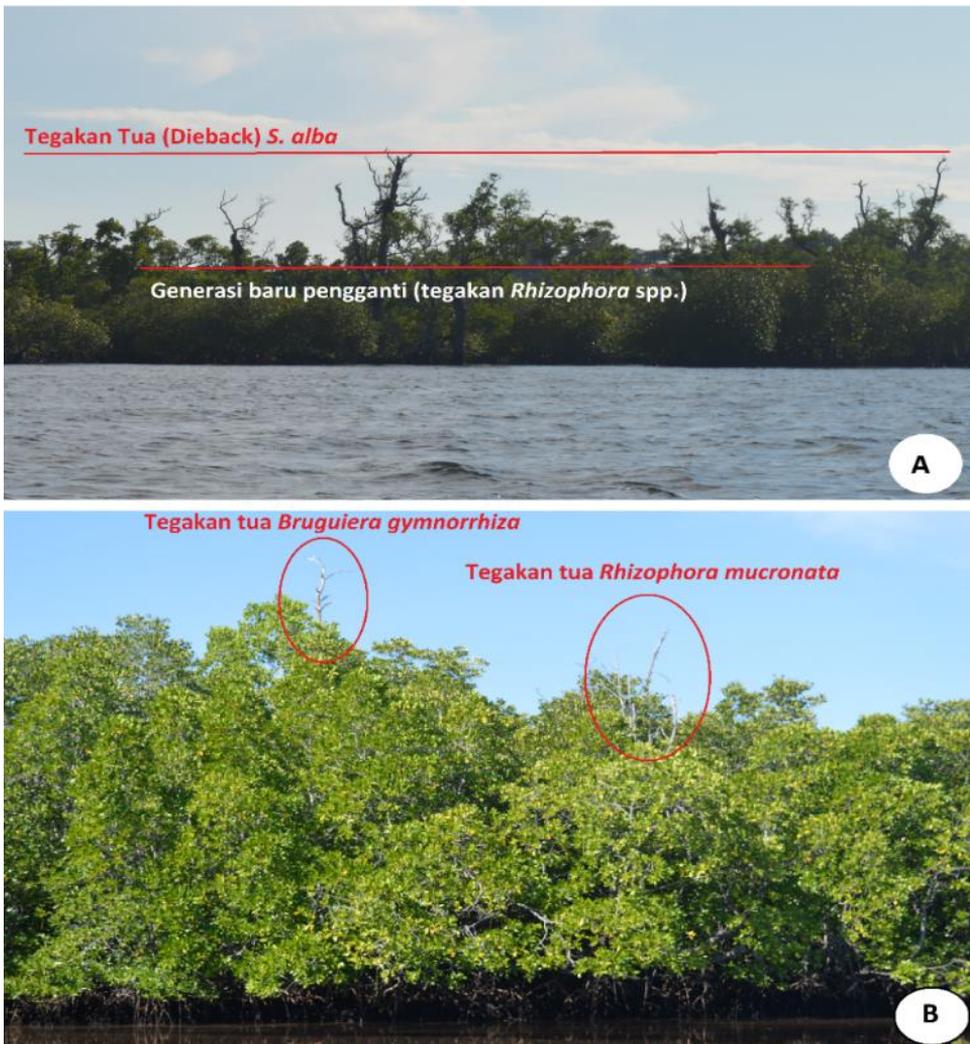
Uraian rinci mengenai keempat proses tersebut dibahas dalam penjelasan berikut:

A. Dieback akibat penuaan

Menjadi tua (*senescence*) dan mati merupakan fenomena yang jarang dicapai oleh mangrove. Pada saat mangrove menjadi tua, maka beberapa ciri, seperti sedikit jumlah pohon besar dan tua, adanya ruang terbuka berukuran besar dalam kanopi, dan kurangnya regenerasi, akan ditemukan (Jiminez 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 pada 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 sudah berada pada tahap matang dan mungkin tua secara ekologis. Dugaan ini juga didukung oleh fakta bahwa pohon kecil dan masih muda tidak mengalami *dieback*.

Pada Gambar 5.1 dapat dilihat dua pola regenerasi berbeda yang terjadi di Pulau Mantehage, Taman Nasional Bunaken. Pada kebanyakan lokasi dalam mangrove di Taman Nasional Bunaken, pohon besar *S. alba* biasanya dominan di kanopi atau pohon tersebut mencuat keluar dari kanopi dominan (*emergent*). Pohon-pohon tersebut dihipotesiskan sebagai koloni mangrove pertama yang menempati hutan mangrove ini. Fakta bahwa banyak pohon *S. alba* mengalami *dieback*, 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 berlaku pada komunitas dimana pohon *B. gymnorrhiza* dan *Rhizophora* spp. berada dalam kondisi *dieback*. 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.



Gambar 5.1. Pola regenerasi mangrove di Pulau Mantehage, Taman Nasional Bunaken: A) Generasi pertama tegakan *S. alba* akan digantikan oleh generasi berikutnya yang didominasi oleh tegakan *Rhizophora* spp., B) Generasi pertama tegakan *Rhizophora* spp. dan *B. gymnorrhiza* akan digantikan oleh tegakan spesies yang sama.

B. Dieback akibat sedimentasi dan perubahan ekstrim pada lahan

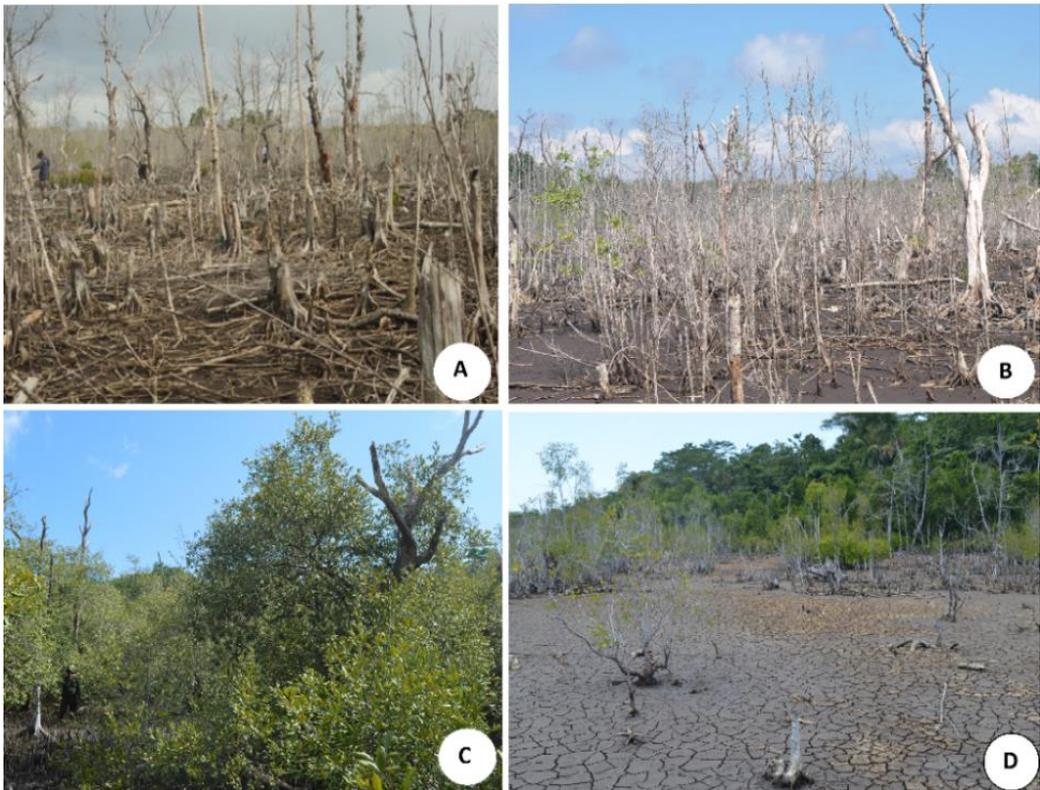
Fenomena dieback di lokasi bagian tengah Pulau Mantehage pernah dilaporkan terjadi pada tahun 1970 dan 1982 saat terjadi kemarau panjang dengan durasi mencapai 9 bulan. Pada tahun 2012 fenomena ini kembali dilaporkan terjadi meskipun kondisi cuaca relatif normal.

Hasil analisis struktur komunitas menunjukkan bahwa kebanyakan tegakan jenis *Bruguiera cylindrica* berukuran besar pada lokasi-lokasi dengan indikasi dieback telah mati, dan anakan serta tegakan muda jenis yang sama hanya tumbuh sepanjang tepian dekat daratan. Fakta ini mengindikasikan bahwa kecil kemungkinan formasi hutan berikutnya (bila ada peluang pertumbuhan mangrove baru) akan ditempati oleh tegakan *B. cylindrica*.

Pada beberapa lokasi dengan indikasi kematian *B. cylindrica* ditemukan tegakan muda spesies *Lumnitzera racemosa* yang juga sebagian telah mati dan sebagian lainnya sekarat. Pada beberapa lokasi tertentu dengan kontur permukaan yang relatif lebih tinggi dan tingkat deposisi yang lambat tegakan muda jenis *A. marina* nampak berhasil tumbuh. Tegakan jenis ini diperkirakan mampu bertahan dalam kurun waktu tertentu sebelum lahan terdeposisi oleh fraksi sedimen halus.

Kondisi vegetasi mangrove yang ada saat ini memberi gambaran bahwa habitat mangrove telah mengalami perubahan signifikan. Bila perubahan terus terjadi, akan kecil peluang bagi spesies mangrove untuk tumbuh dan berkembang. Semua jenis mangrove akan mati pada lokasi-lokasi yang mengalami deposisi sedimen. Secara umum, nampak adanya hubungan yang jelas antara kejadian pohon mati dan kondisi substrat tempat tumbuh mereka. Secara fisik, fakta kejadian pohon mati jenis *B. cylindrica* (berlaku untuk semua ukuran diameter pohon) terjadi pada lokasi-lokasi dengan tingkat sedimentasi fraksi sedimen halus yang cepat dengan kedalaman substrat permukaan bervariasi antara 10 - 50 cm. Pada saat observasi dilakukan, nampak jelas

terlihat bahwa tipe permukaan substrat seperti ini mudah mengeras dan pecah-pecah dalam keadaan kering. Kondisi seperti ini sangat tidak umum bagi habitat mangrove yang normal, dan ini jelas berkaitan dengan tekstur sedimen lahan yang banyak mengandung fraksi halus, terendam saat musim hujan dan mengering saat kemarau. Adapun kondisi vegetasi dengan indikasi dieback dan substrat permukaan di lokasi ini ditampilkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2. Kondisi vegetasi dengan indikasi dieback dan substrat permukaan lahan di bagian tengah Pulau Mantehage: A) Dieback tegakan *B. cylindrica*, B) Tegakan mati *B. cylindrica* dan tegakan muda *L. racemosa* dalam keadaan sekarat, C) Dieback tegakan *A. marina* dan tegakan muda spesies yang sama, D) Kondisi substrat permukaan yang kering dan pecah-pecah.

C. Dieback akibat serangan petir

Fenomena dieback yang berbeda ditemukan pada beberapa lokasi di bagian tengah Pulau Mantehage sekitar lokasi kejadian masif dieback tegakan *B. cylindrica*. Indikasi dieback dialami oleh vegetasi *A. marina* dimana vegetasi dalam areal dengan diameter sekitar 45 – 50 m mengalami kematian. Semua tegakan *A. marina* di areal ini mati, membentuk ruang kosong berbentuk lingkaran, sementara tegakan jenis yang sama di sekitar areal ini dalam keadaan sehat. Diperkirakan kematian pohon di lokasi ini disebabkan oleh petir. Kondisi dieback pada lokasi ini ditampilkan seperti pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3. Dieback *A. marina* diduga akibat petir.

D. Pengaruh penebangan terhadap fenomena dieback

Penebangan pohon dapat menjadi suatu mekanisme yang mempengaruhi dieback 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 untuk *dieback* mangrove di Taman Nasional Bunaken. Penting dicatat bahwa *dieback* di hutan ini telah dimulai pada tahun 1986, yakni sebelum masyarakat menebang pohon-pohon besar di Pulau Mantehage pada tahun 1989. Belakangan, integritas tegakan dalam hutan mangrove khususnya di Pulau Mantehage jelas sudah sangat lemah disebabkan 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 *dieback* 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*).

6 Klasifikasi Vegetasi & Struktur Komunitas

Beberapa negara telah mengembangkan metode untuk menggambarkan dan mengidentifikasi komunitas vegetasi. Kehadiran suatu metode klasifikasi akan memudahkan dalam proses klasifikasi suatu komunitas baru. Sepanjang pengetahuan saya, Indonesia belum memiliki sebuah metode atau skema klasifikasi vegetasi untuk mangrove yang digunakan secara luas untuk berbagai tipe vegetasi mangrove yang ada di Negara ini.

Telah dijelaskan dalam Bab 3 sebelumnya bahwa kondisi habitat mangrove terutama berkaitan dengan tingkat perendaman, tekstur dan salinitas substrat permukaan, nutrien dan suplai air tawar sangat mempengaruhi pertumbuhan vegetasi mangrove. Oleh karena kondisi berbagai faktor tersebut dapat bervariasi antar tempat dan bahwa kebutuhan fisiologis spesies mangrove juga berbeda-beda, maka sangatlah tidak mengejutkan jika terjadi perbedaan spesies dominan sepanjang gradien lingkungan yang ada. Beberapa literatur menjelaskan fenomena ini (contoh: Clark dan Hannon, 1969; Ball and Pidsley, 1995; Lugo dkk., 1975; Thom, 1982; Bucket dkk., 1989; Kathiresan dan Thangan, 1990; Naidoo, 1990). Perbedaan respon spesies mangrove terhadap kondisi lingkungan yang berbeda-beda dapat ditemukan di lapangan dimana vegetasi ini dapat hadir dalam beragam ukuran dan bentuk seperti pohon dengan tinggi lebih dari 30 m atau semak kurang dari 1 m.

Dalam Bab 6 ini data-data lapangan ditampilkan dan dianalisis untuk menjelaskan beberapa aspek terkait struktur komunitas vegetasi mangrove. Bagian pertama yang dipandang penting yaitu terkait sistem klasifikasi dan penamaan komunitas mangrove yang dapat diadopsi dan dikembangkan untuk tipe mangrove di Indonesia secara luas. Pada pembahasan selanjutnya,

distribusi atau zonasi spasial tipe-tipe komunitas sepanjang gradien lingkungan dan contoh profil vegetasi ditampilkan. Pada bagian akhir, struktur vegetasi dijelaskan berdasarkan distribusi kelas diameter dan besaran biomassa (*above ground biomass*).

6.1 Klasifikasi Formasi Struktural

Dalam berbagai laporan kita sering menemukan istilah-istilah seperti hutan mangrove *Rhizophora*, *Ceriops*, dll. Istilah seperti ini sebenarnya untuk menggambarkan suatu hutan dengan tegakan spesies dominannya. Upaya harus dilakukan untuk mengenal dan membedakan adanya kelas yang bersifat diskrit atau berulang (*repeatable*) pada asosiasi vegetasi mangrove yang sepertinya nampak homogen. Lebih jauh, kita harus berupaya untuk mengidentifikasi kelas-kelas bentuk hidup (*life form*) dan struktur pada suatu komunitas hutan mangrove.

Sebuah metode klasifikasi yang baik menurut Kimmins (1982) adalah yang sederhana tetapi memiliki kemampuan pembeda yang memadai untuk membuatnya berguna. Meskipun demikian, bukanlah hal yang mudah untuk memenuhi kedua persyaratan tersebut. Pada tingkatan praktis, sebuah metode klasifikasi dapat dibatasi penggunaannya, yakni pada tingkat global, regional atau lokal.

Secara umum, klasifikasi struktural telah dikaji ulang berdasarkan berbagai sumber oleh Sun dkk. (1996). Di Australia, metode klasifikasi dua arah (*the two-way classification*) yang diusulkan Specht (1970) telah direvisi untuk mangrove oleh Walker dan Hopkins (1990), Hutching dan Saenger (1987) dan Davie (1987). Metode ini telah diadopsi dan dikembangkan untuk vegetasi mangrove di TNB dan Teluk Tomini. Pada prinsipnya, Skema Specht untuk klasifikasi formasi struktural menggunakan dua atribut yang mencerminkan:

1. Jumlah jaringan fotosintesis yang berkontribusi terhadap input energi. Variabel yang digunakan adalah Foliage Projective Cover (FPC) yang dapat diterjemahkan bebas sebagai tutupan proyeksi daun. FPC dapat diukur menggunakan *A Cross Wire Tube* (sebuah tabung plastic kecil yang bagian atasnya terdapat dua kawat saling memotong diagonal dan sisi lainnya berupa cermin yang dipasang miring dengan sudut 45°). Alat ini dikembangkan oleh Winkword and Goodall (1962), dan saat digunakan harus tergantung bebas secara vertikal dan stabil.
2. Biomassa jaringan tumbuhan bagian atas untuk pernapasan yang merupakan output energi. Variabel yang digunakan untuk output energi adalah tinggi pohon.

Skema Specht menggunakan tabel dua arah yang menghubungkan nilai FPC dan bentuk hidup (pohon dan semak) yang ditentukan berdasarkan tinggi strata kanopi dominan. Selanjutnya, atribut vegetasi dibedakan menggunakan pendekatan berikut:

1. Bentuk hidup / tinggi strata kanopi dominan;

Pohon: > 30 m

Pohon: $30 - 10$ m

Pohon: $10 - 2$ m

Semak: $8 - 2$ m

Semak: < 2 m

Dimana: pohon didefinisikan sebagai tumbuhan berkayu besar yang biasanya bercabang tunggal, sedangkan semak didefinisikan sebagai tumbuhan berkayu kecil dengan percabangan langsung dari pangkal atau dekat pangkal.

2. FPC;

Rapat: $100 - 70\%$ (didefinisikan hutan tertutup)

Sedang: $70 - 50\%$

Sedang: 50 – 30% (didefinisikan hutan terbuka)

Jarang: 30 – 10%

Sangat Jarang: < 10%

Seperti telah disebutkan sebelumnya, klasifikasi atau skema Specht telah digunakan untuk mengkasifikasi vegetasi mangrove di dua tempat yakni TNB dan Teluk Tomini. Berdasarkan atribut struktural (FPC dan Tinggi Kanopi Dominan) yang diukur di lapangan untuk semua tipe vegetasi yang teridentifikasi di lapangan, diperoleh formasi struktural yang kebanyakan komunitas mangrove di kedua tempat tersebut seperti diringkas pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Formasi struktural komunitas mangrove di TNB dan Teluk Tomini.

FPC (%)	Bentuk Hidup / Tinggi Kanopi Dominan				
	Pohon > 30m	Pohon 10 - 30 m	Pohon 2 - 10 m	Semak 2 - 8 m	Semak < 2m
Padat (70 – 100)	Hutan Tertutup Tinggi	Hutan Tertutup	Hutan Tertutup Rendah	Semak Tertutup Tinggi	Semak Tertutup Rendah
	Hutan Tinggi	Hutan	Hutan Rendah	Semak Tinggi	Semak
Sedang (50 – 70)	Hutan Terbuka Tinggi	Hutan Terbuka	Hutan Terbuka Rendah	Semak Terbuka Tinggi	Semak Terbuka Rendah
Jarang (30 – 10)	-	-	-	Semak Jarang Tinggi	Semak Jarang Rendah

Catatan: FPC (Foliage Projective Cover – Tutupan Proyektif Daun)

Selanjutnya, proses pengelompokan vegetasi mangrove dapat dilakukan antara lain menggunakan metode analisis hirarki dengan menggunakan data-data seperti kehadiran dan ketidakhadiran suatu spesies tertentu pada suatu lokasi pengamatan, tinggi kanopi dominan, dan nilai FPC. Klasifikasi hirarki menggunakan teknik aglomeratif (Pritchard dan Anderson, 1971) dapat digunakan untuk mengidentifikasi kelompok asosiasi mangrove. Interpretasi terhadap hasil analisis adalah berdasarkan dendrogram yang dihasilkan lewat proses pengelompokan secara berulang. Aplikasi Biodiversity Professional

(Version 2.0) juga dapat digunakan untuk pengelompokkan asosiasi mangrove berdasarkan data komposisi floristik.

Contoh penggunaan proses klasifikasi formasi struktural telah dilakukan untuk mangrove di TNB. Berdasarkan analisis hirarki terhadap data komposisi floristik, tinggi kanopi dominan dan FPC yang dikumpulkan dari 66 lokasi, diperoleh sebanyak 11 kelompok asosiasi mangrove. Penamaan kelompok asosiasi adalah berdasarkan kehadiran spesies mangrove dominan pada kanopi. Adapun hasil klasifikasi struktural untuk masing-masing tipe asosiasi adalah sebagai berikut:

1. Asosiasi *Rhizophora spp./B. gymnorrhiza* ditemukan dalam formasi hutan tertutup, hutan tertutup rendah, hutan rendah, dan hutan terbuka rendah.
2. Asosiasi *S. alba/Rhizophora spp.* ditemukan dalam formasi hutan tertutup tinggi, hutan tertutup, hutan terbuka, hutan tertutup rendah, dan hutan terbuka rendah.
3. Asosiasi *Rhizophora spp.* ditemukan dalam formasi hutan tertutup dan hutan terbuka rendah.
4. Asosiasi *Rhizophora spp./B. gymnorrhiza/A. marina* ditemukan dalam formasi hutan rendah.
5. Asosiasi *R. apiculata/C.tagal* ditemukan dalam formasi hutan rendah dan hutan terbuka rendah.
6. Asosiasi *Ceriops tagal* ditemukan dalam formasi hutan tertutup, semak jarang tinggi, semak terbuka rendah.
7. *Ceriops tagal/Lumnitzera littorea* dan atau *Scyphyphora hydrophyllacea* ditemukan dalam formasi semak terbuka tinggi dan semak terbuka rendah.
8. Asosiasi *A. rumphiana* ditemukan dalam formasi hutan.
9. Asosiasi *A. marina* ditemukan dalam formasi hutan tertutup.

10. Asosiasi *Bruguiera cylindrica/Lumnitzera racemosa* ditemukan dalam formasi semak tinggi.
11. *Camptostemon philippensis* ditemukan dalam formasi hutan rendah dan semak tinggi.

Menggunakan metode klasifikasi yang sama, ditemukan sebanyak 10 tipe formasi hutan mangrove di wilayah Teluk Tomini. Adapun ke-10 tipe asosiasi dengan formasinya masing-masing yakni:

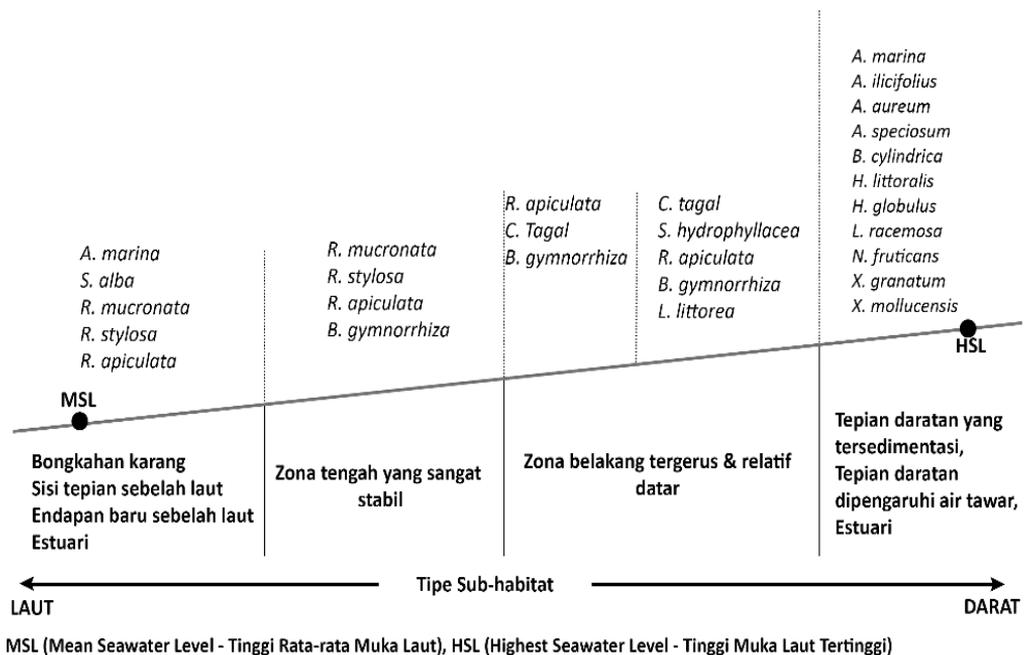
1. Asosiasi *Rhizophora spp./B. gymnorrhiza* ditemukan dalam formasi hutan, hutan tertutup, dan hutan tertutup rendah.
2. Asosiasi *S. alba/Rhizophora spp.* ditemukan dalam formasi hutan, hutan tertutup, hutan tertutup rendah.
3. Asosiasi *S. alba/ B. gymnorrhiza* ditemukan dalam formasi hutan, hutan tertutup, hutan tertutup rendah.
4. Asosiasi *S. alba/ A. marina* ditemukan dalam formasi hutan.
5. Asosiasi *B. gymnorrhiza* ditemukan dalam formasi tertutup.
6. Asosiasi *Rhizophora spp.* ditemukan dalam formasi hutan, hutan terbuka rendah, hutan rendah, hutan tertutup rendah.
7. Asosiasi *R. apiculata/C.tagal* ditemukan dalam formasi hutan, hutan rendah, hutan terbuka rendah dan hutan tertutup rendah.
8. Asosiasi *Ceriops tagal* ditemukan dalam formasi semak tertutup tinggi, semak terbuka tinggi, semak jarang tinggi, dan semak terbuka rendah.
9. Asosiasi *A. marina* ditemukan dalam formasi hutan tertutup, hutan dan semak tertutup rendah.
10. *Nypa fruticans*.

Dari hasil pengklasifikasian vegetasi dan struktur komunitas menggunakan metode yang sama, dapat dilihat persamaan dan perbedaan tipe asosiasi maupun formasi di masing-masing tipe asosiasi untuk ke dua wilayah tersebut. Banyak hal yang dapat dianalisis dari data tipe asosiasi dan formasi struktural untuk

masing-masing asosiasi antara lain berkaitan dengan perkembangan dan regenerasi hutan serta tekanan (bersifat alami) atau gangguan yang di alami masing-masing tipe asosiasi di suatu tempat berdasarkan formasi struktural. Dengan memasukkan informasi tentang lokasi dan karakteristik habitat dimana masing-masing tipe asosiasi ditemukan maka interpretasi terhadap distribusi spasial dan adaptasi spesies mangrove dapat dijelaskan. Hal penting yang perlu ditegaskan bahwa metode klasifikasi struktural yang digunakan cukup peka untuk mendeteksi perkembangan, regenerasi, distribusi spasial, adaptasi, tekanan yang bersifat alami maupun gangguan oleh aktivitas manusia. Metode ini dapat digunakan sebagai alat evaluasi dalam mempelajari struktur vegetasi maupun untuk kepentingan pengelolaan suatu ekosistem mangrove.

6.2 Zonasi dan Profil Vegetasi

Adanya gradien lingkungan atau perbedaan kondisi lingkungan pada zona intertidal disebabkan oleh faktor perendaman, salinitas substrat permukaan, dan suplai air tawar, menyebabkan terciptanya kondisi-kondisi lingkungan yang cocok bagi spesies mangrove tertentu. Sebagai konsekuensinya, komposisi spesies dapat berbeda antar tempat yang satu dibandingkan tempat yang lain pada zona intertidal. Semakin kompleks kondisi lingkungan yang ada, maka semakin beragam perbedaan komposisi spesies yang bisa ditemukan. Setiap spesies mangrove memiliki batas toleransi terhadap kondisi lingkungan tertentu, dengan demikian satu spesies bisa hanya tumbuh pada satu kondisi lingkungan saja tetapi tidak bagi spesies lainnya. Perbedaan komposisi spesies sepanjang gradien lingkungan pada zona intertidal sering diinterpretasi sebagai suatu pola zonasi. Pada Gambar 6.1 ditampilkan salah satu contoh sebaran spesies mangrove sepanjang gradien lingkungan di zona intertidal.

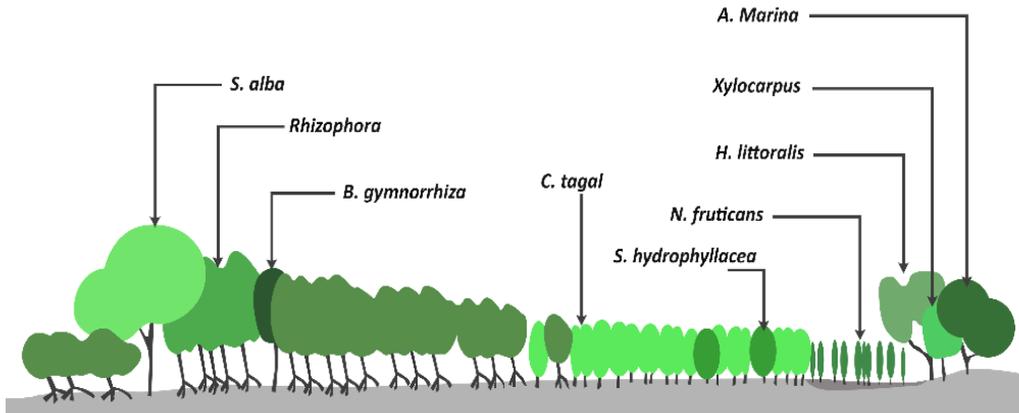


Gambar 6.1. Distribusi spesies mangrove sepanjang zona intertidal di Teluk Tomini.

Dapat dilihat pada Gambar 6.1 bahwa beragam spesies mangrove sebarannya terbatas pada zona belakang tepian dekat daratan. Jumlah spesies yang ditampilkan pada Gambar tersebut bukan berarti bahwa keseluruhan spesies selalu hadir bersama tetapi lebih menunjukkan batas sebarannya di zona intertidal. Keragaman sub-habitat atau kondisi lingkungan yang akan menentukan hadir-tidaknya spesies tertentu. Beberapa spesies yang tumbuh di zona ini seperti *A. marina*, *A. ilicifolius*, *N. fruticans*, dan *O. octodonta* dapat hadir membentuk komunitas yang padat, yang lainnya sering ditemukan individual dan tersebar secara acak. Pada zona belakang antara tepian daratan dan zona tengah yang stabil, tegakan *C. tagal* sering mendominasi dan pada beberapa lokasi spesies ini hadir bersama tegakan *S. hydrophyllacea*. Kondisi salinitas permukaan substrat yang relatif tinggi di zona menjadi salah satu faktor lingkungan yang membatasi kehadiran spesies mangrove lainnya. Di zona ini tegakan besar *C. tagal* sangat jarang ditemukan, kecuali pada lokasi-

lokasi yang mendapat masukan suplai air tawar. Tegakan spesies *R. apiculata* dan *B. gymnorrhiza* hampir selalu mendominasi zona tengah yang stabil hingga batas zona tepian sebelah laut, meskipun individu tegakan kedua spesies ini dapat ditemukan tumbuh di zona lainnya. Meskipun tegakan *S. alba* ditampilkan hanya hadir di zona tepian sebelah laut, hal ini tidak berarti bahwa di lapangan kita akan selalu menemukan demikian, karena kemiringan lahan zona intertidal dapat bervariasi tergantung kondisi morfologi pantai setempat. Kehadiran spesies tertentu seperti *S. alba* dan *A. marina* di dua kondisi perendaman atau zona berbeda seperti di tepian dekat daratan dan tepian sebelah laut dapat menjelaskan dinamika perkembangan vegetasi mangrove di suatu lokasi. Sebagai contoh, kehadiran tegakan besar *A. marina* di tepian sebelah laut dan dekat daratan, dapat diinterpretasikan bahwa perkembangan vegetasi di tempat tersebut dimulai dari kedua zona intertidal.

Profil vegetasi pada Gambar 6.2 merupakan salah contoh tampilan vegetasi yang umum tumbuh di zona intertidal pesisir pantai Teluk Tomini. Sepanjang profil dari arah laut ke darat dapat dilihat komposisi spesies sebagaimana juga digambarkan pada Gambar 6.1, ukuran relatif tegakan baik tinggi maupun diameter tegakan, serta kepadatan tegakan, yang berbeda-beda. Secara umum, dapat dilihat pada gambar tersebut terdapat penurunan tinggi kanopi ke arah daratan, dan meninggi kembali di tepian daratan dengan kehadiran tegakan spesies *A. marina*, *H. littoralis* dan *Xylocarpus*. Komunitas dengan spesies dominan pada kanopi berupa *S. alba*, *Rhizophora* spp. dan *B. gymnorrhiza* biasanya memiliki kepadatan tegakan yang rendah, sementara komunitas dengan dominasi *C. tagal* biasanya hadir dalam populasi yang padat kecuali terdapat gangguan seperti penebangan.



Gambar 6.2. Contoh profil vegetasi yang umum berlaku di wilayah intertidal Teluk Tomini.

6.3 Distribusi Kelas Diameter dan Biomassa

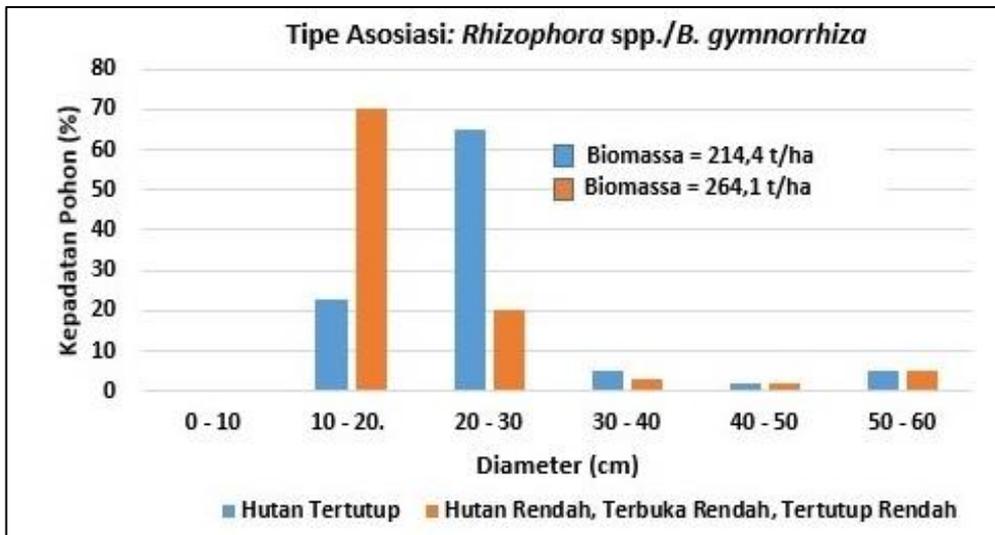
Sebuah studi mendalam telah dilakukan untuk mempelajari distribusi kelas diameter dan biomassa (*above ground biomass*) pada empat tipe asosiasi mangrove yang umum di TNB. Sebanyak 119 kuadrat (masing-masing 10 m²) diamati untuk keempat tipe asosiasi mangrove. Secara umum, ditemukan bahwa pola distribusi diameter tegakan untuk keempat tipe asosiasi mangrove mengikuti model eksponensial, dimana kelompok tegakan yang relatif muda (berdiameter < 10 cm) berada dalam jumlah terbesar. Pada Tabel 6.2 dapat dilihat perbandingan antara jumlah anakan dan pohon dewasa pada keempat tipe asosiasi mangrove. Pada Tabel ini dapat dilihat bahwa perbandingan antara tegakan muda dan tegakan dewasa memiliki kesamaan, kecuali pada formasi hutan tertutup *Rhizophora* spp./*B. gymnorrhiza* yang memiliki perbandingan 0,9 : 1 dan pada formasi semak terbuka tinggi *Ceriops tagal* dengan perbandingan 84 : 1.

Tabel 6.2. Perbandingan antara tegakan berdiameter kurang dari 10 cm dan pohon dewasa pada empat tipe asosiasi mangrove.

Tipe Asosiasi	Jumlah Tegakan Berdiameter < 10 cm (individu/ha)	Jumlah Pohon Dewasa (individu/ha)	Perbandingan (Tegakan Muda : Pohon Dewasa)
<i>Rhizophora</i> spp./ <i>B. gymnorrhiza</i> :			
- Hutan tertutup (0,08 ha)	35	40	0,9 : 1
- Hutan tertutup rendah (0,4 ha)	465	280	1,7 : 1
<i>S. alba</i> / <i>Rhizophora</i> spp.:			
- Hutan tertutup tinggi (0,12 ha)	71	28	2,5 : 1
- Hutan tertutup (0,04 ha)	41	19	2,2 : 1
- Hutan terbuka, hutan terbuka rendah (0,15 ha)	39	33	1,2 : 1
<i>Rhizophora</i> spp.:			
- Hutan tertutup (0,05 ha)	57	21	2,7 : 1
- Hutan tertutup rendah (0,05 ha)	21	17	1,2 : 1
<i>Ceriops tagal</i> :			
- Semak terbuka tinggi (0,05 ha)	84	1	84 : 1
- Hutan tertutup (0,25 ha)	870	90	9,7 : 1

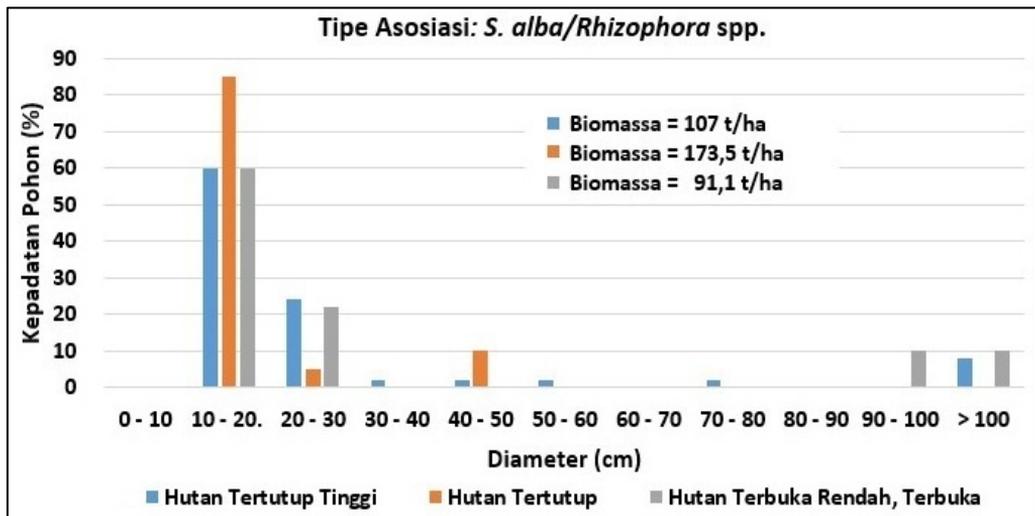
Distribusi diameter untuk keempat tipe asosiasi ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 6.3, 6.4, 6.5, dan 6.6. Untuk masing-masing tipe asosiasi, tegakan muda berukuran kurang dari 10 cm tidak dilibatkan karena pertimbangan bahwa tegakan berukuran besar yang membentuk kanopi hutan memiliki peran penting terkait proses ekologis suatu formasi hutan.

Dapat dilihat pada tipe asosiasi *Rhizophora* spp./*B. gymnorrhiza* (Gambar 6.3) bahwa tegakan berukuran diameter antara 10 – 30 cm dominan pada seluruh formasi hutan. Frekuensi kehadiran tegakan berdiameter lebih besar berkurang secara eksponensial. Biomassa terhitung sebesar 214,4 t/ha untuk formasi hutan dan sebesar 264,1 t/ha untuk formasi yang lain.



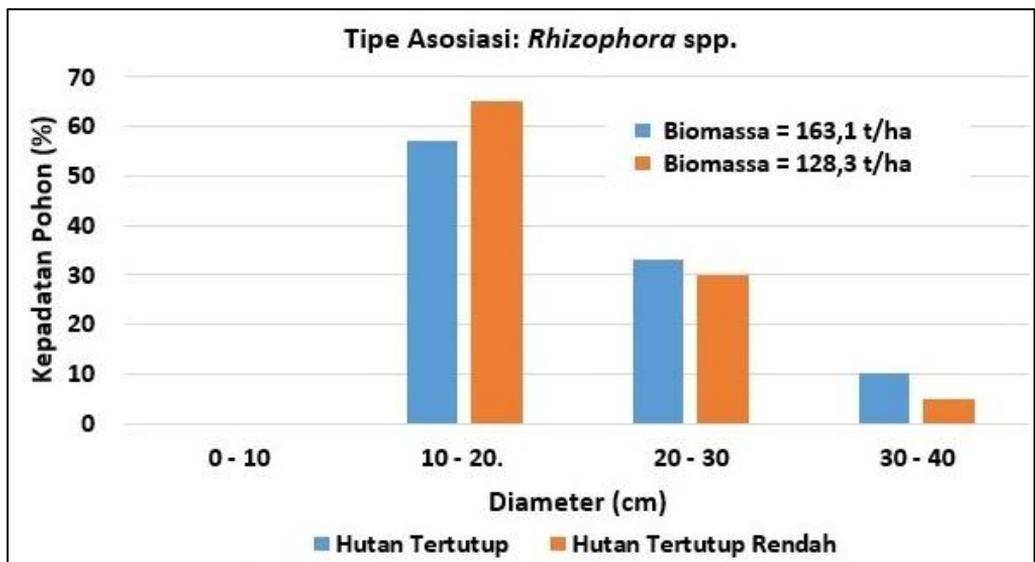
Gambar 6.3. Distribusi kelas diameter dan biomassa pada tipe asosiasi *Rhizophora* spp./*B. gymnorrhiza* dalam formasi hutan tertutup, dan formasi gabungan (hutan rendah, hutan terbuka rendah dan hutan tertutup rendah).

Pada tipe asosiasi *S. alba/Rhizophora* spp. (Gambar 6.4) untuk semua formasinya didominasi oleh tegakan berukuran diameter 10 – 20 cm, dan frekuensi diameter berkurang secara ekponensial pada diameter yang lebih besar. Namun, dalam bentuk formasi hutan tertutup tinggi, hutan terbuka rendah dan terbuka nampak kehadiran tegakan *S. alba* berdiameter 90 – 100 cm dan lebih dari 100 cm. Tegakan berukuran besar ini terindikasi dieback. Biomassa terhitung sebesar 107 t/ha untuk formasi hutan tertutup tinggi, 173,5 untuk formasi hutan tertutup, dan relatif lebih rendah yakni sebesar 91,1 t/ha untuk formasi hutan terbuka rendah dan hutan terbuka.



Gambar 6.4. Distribusi kelas diameter dan biomassa pada tipe asosiasi *S. alba/Rhizophora* spp. dalam formasi hutan tertutup tinggi, hutan tertutup, dan formasi gabungan (hutan terbuka rendah dan hutan terbuka).

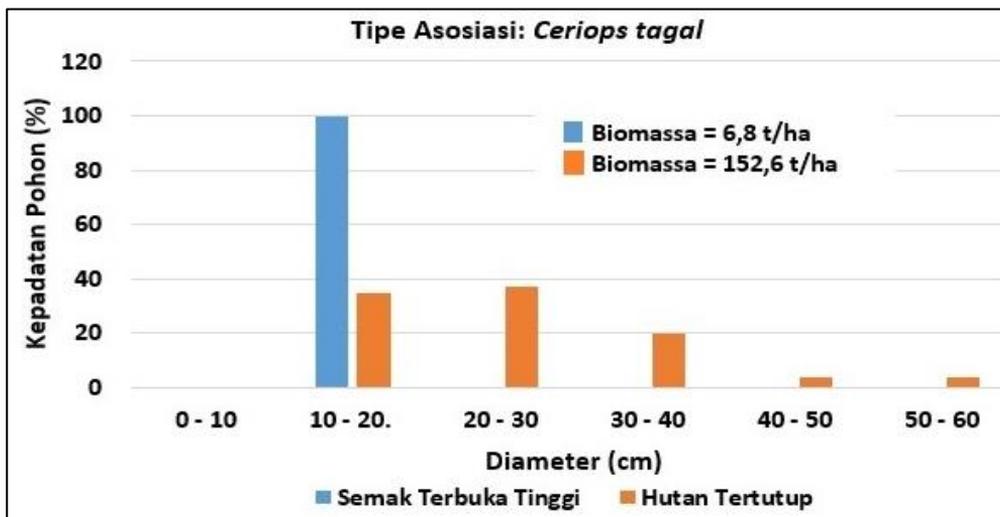
Seperti ditampilkan pada Gambar 6.5, tipe asosiasi *Rhizophora* spp. dalam dua formasinya yakni hutan tertutup dan hutan tertutup rendah, distribusi



Gambar 6.5. Distribusi kelas diameter dan biomassa pada tipe asosiasi *Rhizophora* spp. dalam formasi hutan tertutup dan hutan tertutup rendah.

frekuensi diameter relatif sama dan jumlah tegakan berkurang secara proporsional untuk ukuran diameter yang lebih besar. Biomassa terhitung sebesar 163 t/ha untuk formasi hutan tertutup dan sebesar 128,3 t/ha untuk formasi hutan tertutup rendah.

Pada Gambar 6.6 ditampilkan sebaran frekuensi diameter dua formasi yang berbeda yakni semak terbuka tinggi dan hutan tertutup pada tipe asosiasi *Ceriops tagal*. Kedua formasi tersebut mewakili dua kondisi lingkungan yang berbeda, yakni lingkungan dengan kandungan garam yang relatif tinggi pada substrat permukaan untuk formasi semak terbuka tinggi dan lingkungan yang dipengaruhi masukan air tawar untuk formasi hutan tertutup. Frekuensi diameter untuk tegakan berdiameter lebih dari 10 cm hanya berada pada satu kelas saja yakni 10 – 20 cm. Pada formasi hutan tertutup, sebanyak 72% tegakan memiliki diameter antara 10 dan 30 cm, dan tegakan lainnya memiliki diameter antara 30 dan 60 cm. Penurunan jumlah tegakan mengikuti model eksponensial untuk tegakan berukuran lebih dari 30 cm. Biomassa untuk kedua formasi tersebut sangat berbeda, terhitung hanya sebesar 6,8 t/ha untuk formasi semak terbuka tinggi dan sebesar 152,6 t/ha untuk formasi hutan tertutup.



Gambar 6.6. Distribusi kelas diameter dan biomassa pada tipe asosiasi *Ceriops tagal* dalam formasi semak terbuka tinggi dan hutan tertutup.

7 Dampak Penebangan: Studi Kasus Di Taman Nasional Bunaken

Perkembangan aktivitas manusia berdampak nyata terhadap perubahan pada kualitas ekosistem mangrove. Secara umum, tekanan pada ekosistem mangrove yang diakibatkan oleh aktivitas manusia telah dilaporkan dalam beberapa tulisan (contoh: Saenger dkk., 1983; Hatcher dkk., 1989; FAO, 1994; Field, 1995; Marshall, 1995; Farnworth dan Ellison, 1997). Melalui pendekatan eksperimental, dampak aktivitas manusia terhadap pertumbuhan mangrove, struktur hutan, dan produktivitas ekosistem telah dipelajari, antara lain terkait dengan nutrien dan masukan limbah (Boto, 1992; Mackey dkk., 1992), polutan (Walsh dkk., 1979; Lewis, 1984; Wolanski, 1992; Klekowski dkk., 1994), penebangan atau kehutanan sistem rotasi (Alrasjid dan Effendi, 1986, Davie dkk., 1996; Effendi dan Sutiyono, 1986; Gong dan Ong, 1990; Ibrahim, 1990; Blanchard dan Prado, 1995), akuakultur dan konstruksi tambak (Terchunian dkk., 1986; Lee, 1992, Hangqing, 1995, Walters, 1995). Ke depan, kebutuhan manusia akan terus meningkat dan hampir tidak dapat dihindari bahwa peningkatan tersebut akan menambah tekanan terhadap ekosistem mangrove.

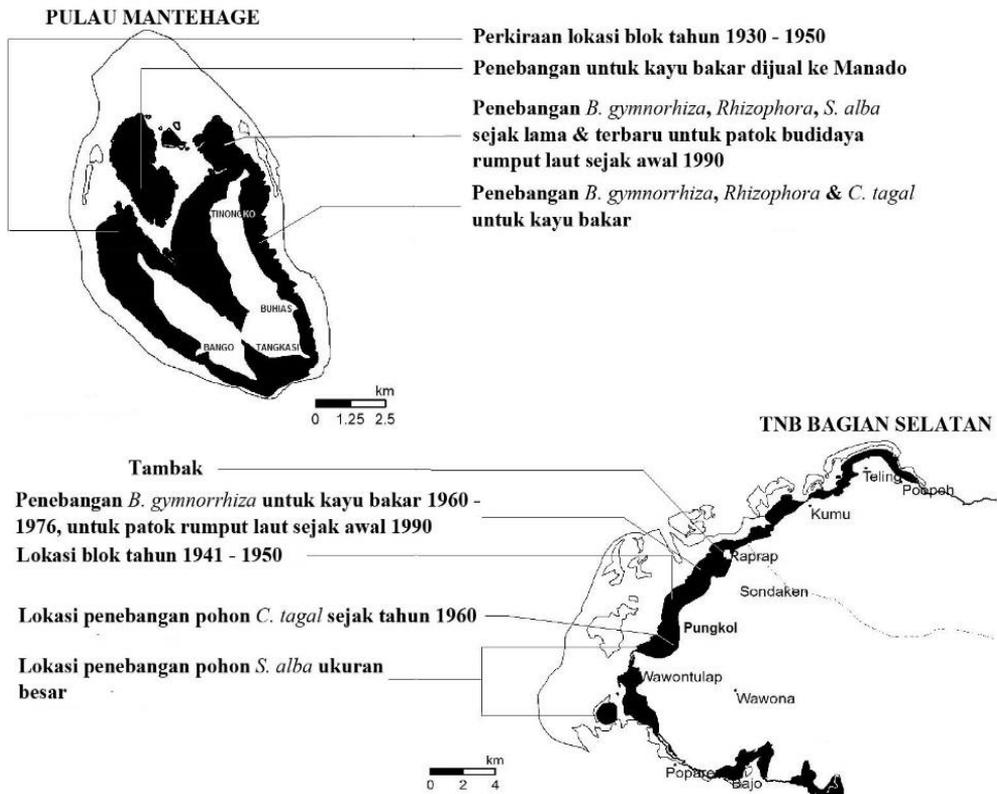
Penebangan pohon mangrove merupakan salah satu bentuk pemanfaatan langsung sumber daya mangrove yang masih terus terjadi di sejumlah tempat di Indonesia. Dalam skala kecil, penebangan pohon mangrove dilakukan oleh masyarakat sekitar hutan mangrove untuk keperluan kayu bakar dan berbagai kebutuhan lainnya. Dalam skala yang besar, pohon mangrove ditebang untuk konversi lahan mangrove menjadi tambak udang dan ikan atau produksi timber. Studi mendalam terkait dampak penebangan pohon mangrove di TNB telah dilakukan penulis melalui survei lapangan yang panjang. Studi ini

menghasilkan banyak data dan informasi terkait dampak penebangan terhadap sifat pertumbuhan dan atribut struktural komunitas mangrove, kondisi fisik lahan, dan penciptaan ruang-ruang terbuka yang akan mempengaruhi perkembangan dan regenerasi hutan mangrove. Fakta-fakta lapangan terkait hal-hal yang telah disebutkan dibahas dalam Bab 7 ini.

7.1 Sejarah Pemanfaatan

Pemanfaatan mangrove di TNB telah berlangsung lama (Gambar 7.1). Di Pulau Mantehage (TNB Bagian Utara), selang periode tahun 1930 – 1950 tegakan mangrove ditebang menggunakan sistem blok. Dalam sistem ini, mangrove dengan lebar 200 m ditetapkan tegak lurus garis pantai dan pohon dengan ukuran 10 – 20 cm dalam blok ditebang. Pemanfaatan yang lain juga dilakukan dalam bentuk pengambilan kulit kayu pohon spesies *Bruguiera gymnorrhiza* dan kayu tegakan ukuran besar *Sonneratia alba* ditebang untuk dijadikan bahan bangunan. Di lokasi antara dua daratan di Pulau ini, tegakan *Bruguiera cylindrica*, dikenal oleh masyarakat setempat dengan nama *Ting Putih*, ditebang untuk keperluan kayu bakar. Selang tahun 1950 – 1970 terjadi peningkatan penebangan tegakan mangrove seiring kehadiran sejumlah keluarga yang berasal dari Desa Rap-Rap. Pohon ukuran besar jenis *B. gymnorrhiza* ditebang dan dijual ke Manado. Hingga tahun 1990 penebangan pohon mangrove terus meningkat untuk tujuan komersil dan pemanfaatan oleh masyarakat lokal. Pohon mangrove *S. alba* berukuran besar dan dalam kondisi baik (bagian batang utama tidak berlobang) ditebang untuk bahan konstruksi rumah dan meubel, kayu dari pohon terutama spesies *Rhizophora* dan *B. gymnorrhiza* ditebang untuk dijadikan bahan bakar yang dijual ke Manado. Awal tahun 1990 penjualan kayu bakar ke Manado masih terus berlangsung dan banyak pohon mangrove ditebang untuk dijadikan patok untuk budidaya rumput laut serta meja-meja penjemuran hasil panen rumput laut. Selain

berbagai peruntukan yang telah disebutkan, sejak lama nelayan menggunakan kayu mangrove untuk pembuatan perangkap ikan yang oleh masyarakat setempat dinamakan *sero*.



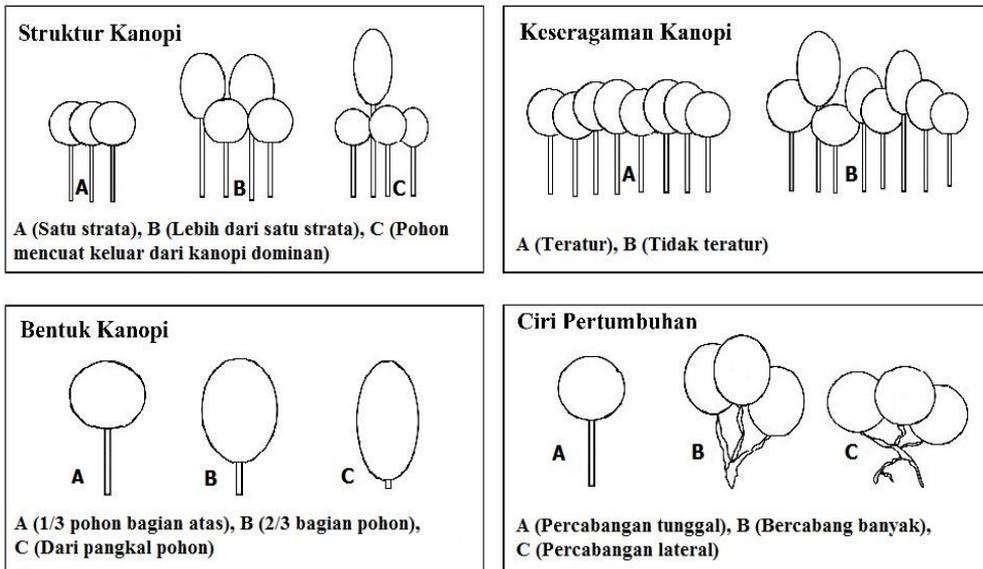
Gambar 7.1. Peta lokasi penebangan di TNB.

Di TNB Bagian Selatan, sejak zaman pendudukan Jepang pada tahun 1941 hingga tahun 1950 sistem blok yang sama dengan yang diberlakukan di Pulau Mantehage juga dilakukan pada lokasi Tanjung Sondaken dekat Sungai Dua Sembilan. Spesies pohon mangrove yang ditebang terutama *Rhizophora* spp. Dan *Ceriops tagal*. Cara eksploitasi pohon mangrove seperti ini hanya berlaku sampai tahun 1950. Selang tahun 1950 – 1976 yang juga dikenal dengan era kayu kubik (kayu dalam meter kubik), sebanyak 140 balok kayu *B. gymnorrhiza* per bulan ditebang dan dijual ke Manado, dan sejak tahun 1960an

pohon mangrove spesies *C. tagal* ditebang di wilayah Pungkol untuk kayu bakar, Spesies pohon *S. alba* berukuran besar juga ditebang untuk bahan pembuatan perahu. Era awal tahun 1990 penebangan pohon mangrove meningkat untuk dijadikan patok budidaya rumput laut dan media penjemurannya. Kayu pohon spesies *Rhizophora* spp. dan *C. tagal* berukuran 10 – 15 cm banyak ditebang untuk keperluan tersebut.

7.2 Dampak Terhadap Sifat Pertumbuhan dan Atribut Struktural

Penilaian secara cepat dengan alat bantu lembaran *data-sheet* (Tabel 10.1 pada Bab 10) dapat digunakan untuk penilaian dampak penebangan terhadap komunitas mangrove berdasarkan beberapa parameter terutama jumlah strata, keseragaman kanopi, bentuk kanopi, sifat tumbuh pohon, dan struktur cabang (Gambar 7.2). Contoh hasil penilaian ditampilkan dalam Tabel 7.1. Semua parameter tersebut sangat penting dievaluasi karena parameter tersebut dapat



Gambar 7.2. Deskripsi struktur, keseragaman, bentuk kanopi, dan ciri pertumbuhan

dijadikan dasar untuk menggambarkan kondisi vegetasi dalam kaitannya dengan regim gangguan yang paling mungkin. Sebagai contoh, sebuah komunitas dengan ciri kanopi atas tidak teratur, multi-strata atau lebih dari satu lapisan, dan diameter batang tak seragam, menunjukkan bahwa komunitas tersebut telah mengalami gangguan secara teratur dengan mortalitas atau pengambilan pohon-pohon penyusun kanopi. Sementara itu, suatu komunitas tanpa indikasi atribut seperti yang telah dijelaskan besar kemungkinan tidak pernah mengalami gangguan.

Tabel 7.1. Frekuensi dan persentase relatif parameter struktural yang diinvestigasi pada 71 lokasi dalam hutan mangrove di Pulau Mantehage dan Selatan Taman Nasional Bunaken.

Parameter Struktural	Pulau Mantehage		TNB Bagian Selatan	
	Frekuensi	Persentase Relatif	Frekuensi	Persentase Relatif
Struktur kanopi:				
- Satu lapisan kanopi*	10	33	13	32
- Lebih dari satu lapisan**	13	43	26	63
- Banyak pohon muncul di atas tinggi kanopi dominan***	7	23	2	5
Keseragaman kanopi:				
- Kanopi atas teratur *	5	17	6	15
- Kanopi atas tak teratur **/**	25	83	35	85
Bentuk kanopi:				
- Muncul dari 1/3 pohon bagian atas*	1	3	2	5
- Muncul dari 2/3 bagian pohon**	6	20	20	49
- Muncul dari pangkal***	23	77	19	46
Ciri pertumbuhan:				
- Cabang tunggal*	4	13	18	44
- Lebih dari satu cabang**/**	26	87	23	56
Percabangan lateral:				
- Ada*	3	10	4	10
- Tidak ada**/**	27	90	37	90
Diameter batang:				
- Seragam*	7	23	5	12
- Tidak seragam**/**	23	77	36	88

Catatan: *)tanpa gangguan, **) sedikit gangguan, ***) banyak gangguan.

Sejarah penebangan yang panjang nampak sangat mempengaruhi ciri pertumbuhan, atribut kanopi dan kondisi struktur batang. Struktur kanopi

bervariasi mulai dari satu lapisan (33% lokasi) hingga banyak pohon yang muncul di atas tinggi kanopi dominan (23 lokasi). Permukaan kanopi atas yang teratur sudah jarang ditemukan, sebaliknya permukaan kanopi atas yang tidak teratur sangat umum ditemukan (83%), dan ini menjadi petunjuk adanya pengambilan pohon melalui penebangan. Ciri pertumbuhan dominan kebanyakan pohon kanopi di kebanyakan lokasi adalah dengan banyak percabangan (87 % lokasi) disertai dengan hadirnya percabangan lateral. Pada kebanyakan komunitas mangrove yang didominasi oleh *Rhizophora* spp. dan *Ceriops tagal*, distribusi diameter batang tidak seragam (77% lokasi), dan ini menjadi indikasi bahwa mangrove di lokasi tersebut telah mengalami gangguan.

Mangrove di Bagian Selatan TNB khususnya di sejumlah lokasi antara Desa Rap-Rap dan Sondaken telah mengalami kerusakan berat, terutama disebabkan oleh adanya pengambilan kayu oleh masyarakat. Keadaan kanopi sebelah atas jelas tidak teratur (85% lokasi), dan kejadian dimana kanopi berdistribusi dari pangkal pohon sudah sangat umum, demikian halnya dengan pohon lebih dari satu cabang dan percabangan lateral. Secara umum, distribusi diameter batang adalah tidak seragam. Lebih ke Selatan mulai dari Desa Sondaken, tingkat kerusakan/gangguan berkurang secara signifikan sebagaimana ditunjukkan oleh tinggi kanopi yang makin meningkat disertai kondisi kanopi yang relatif seragam; meskipun pada beberapa lokasi sebelah darat dan di dekat desa terdapat indikasi penebangan skala kecil. Pada lokasi dengan sedikit gangguan tersebut juga ditemukan satu atau lebih indikator atribut struktural berikut ini yaitu kanopi atas tidak teratur, distribusi kanopi dari pangkal pohon, lebih dari satu cabang dan percabangan lateral, dan distribusi diameter batang tak seragam.

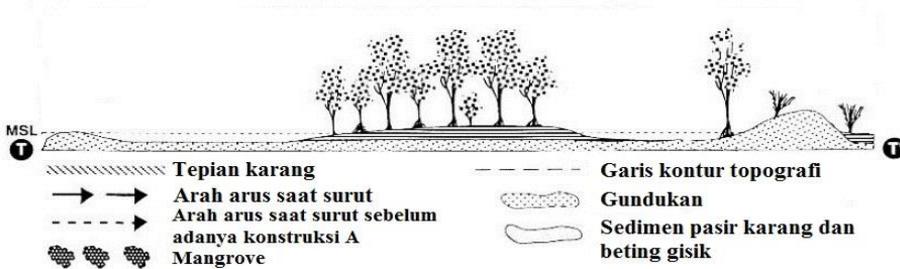
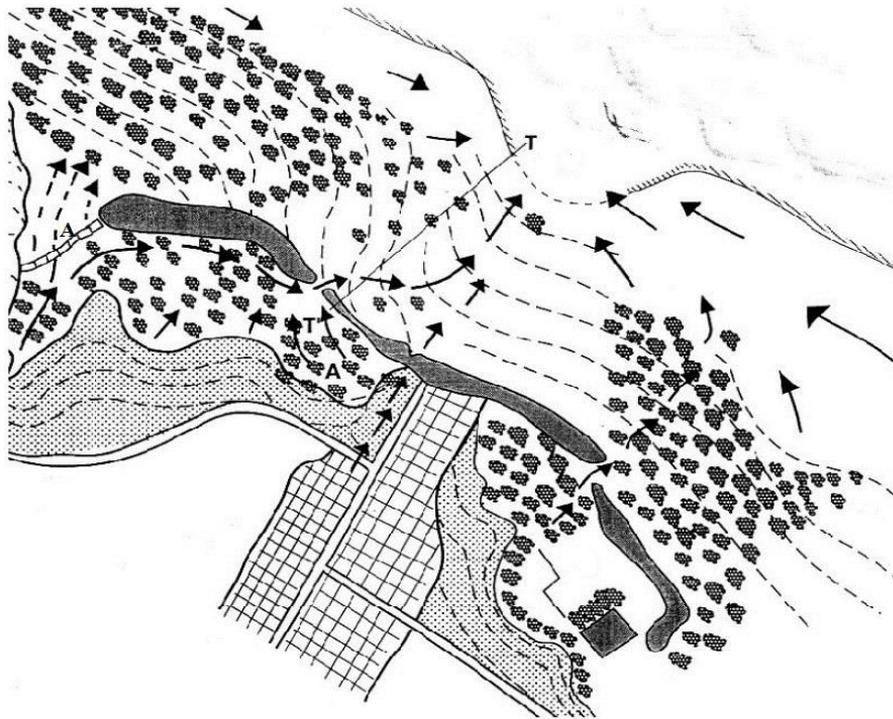
Secara ringkas, dapat dikatakan bahwa perubahan struktural disebabkan terutama oleh penebangan sudah cukup meluas pada mangrove di Taman Nasional Bunaken. Kejadian mulai dari banyaknya pohon yang muncul di atas

tinggi kanopi dominan, perbedaan dalam bentuk kanopi, serta tingkat kehadiran percabangan lateral menunjukkan bahwa pengaruh penebangan pada mangrove di Pulau Mantehage lebih parah dibandingkan dengan mangrove di Bagian Selatan TNB.

7.3 Dampak Terhadap Perubahan Fisik Lahan

Banyak tempat dalam hutan mangrove yang ada di Taman Nasional Bunaken telah mengalami perubahan secara fisik disebabkan terutama oleh adanya penebangan yang kemudian diikuti oleh perubahan fisik lahan. Sebagai contoh, mangrove tepian (*fringing mangrove*) di Desa Tiwoho, dimanfaatkan oleh penduduk setempat antara lain sebagai sumber kayu bakar, bahan bangunan, dan makanan ternak. Struktur komunitas dan tampilan pohon-pohon secara individu jelas mengindikasikan adanya dampak aktivitas manusia yang dilakukan.

Gambar 7.3 merupakan tampilan diagram perubahan fisik lingkungan pantai di Desa Tiwoho. Pohon-pohon mangrove ditebang oleh masyarakat dan tersisa hanya sebagian kecil tegakan berukuran kecil. Pantai berpasir secara perlahan mulai terabrasi dan menyebabkan tumbangny pohon-pohon kelapa di tepi pantai. Abrasi juga menyebabkan matinya sebagian pohon-pohon *Nypa* yang berada di daerah belakang dekat pemukiman. Abrasi yang terjadi di daerah sebelah belakang beting gisik (*beach ridge*) telah menyebabkan tergerusnya permukaan substrat hingga kedalaman sekitar 0,5 m. Proses abrasi ini berlangsung terus meskipun bangunan pelindung pantai telah dibangun. Upaya penanaman artifisial juga gagal karena faktor abrasi dan benih banyak dimakan oleh kambing yang hanya dilepas begitu saja. Situasi kian memburuk ketika sekitar 2 ha hutan mangrove termasuk habitat *Nypa* di belakang beting gisik kemudian ditebang untuk pengembangan lokasi rekreasi.



Gambar 7.3. Proses abrasi akibat penebangan mangrove di Desa Tiwoho.

7.4 Dampak Terhadap Penciptaan Ruang Terbuka

Seperti telah dijelaskan dalam Bab 5 bahwa ruang terbuka kanopi dapat mempengaruhi regenerasi dan perkembangan mangrove. Kehadiran ruang terbuka dalam hutan mangrove dapat pula mempengaruhi komposisi spesies oleh karena setiap spesies mangrove memiliki strategi establismen yang berbeda. Sejumlah faktor dilaporkan dapat menciptakan ruang terbuka dalam mangrove, seperti badai angin (Smith dkk., 1994), serangan petir (Paijman dan

Rollet, 1977), pathogen tumbuhan (Pegg, 1980; Wesre dkk., 1991). Dikaitkan dengan kondisi yang terjadi pada mangrove di TNB, faktor-faktor tersebut kurang penting dibandingkan dengan pengaruh penebangan. Secara umum, hasil evaluasi menunjukkan bahwa ukuran dan bentuk ruang terbuka sangat berhubungan dengan pola penebangan (Djamaluddin, 2004), seperti yang dijelaskan dalam uraian selajutnya.

A. Formasi ruang terbuka pada lokasi penebangan intensif di Pulau Mantehage

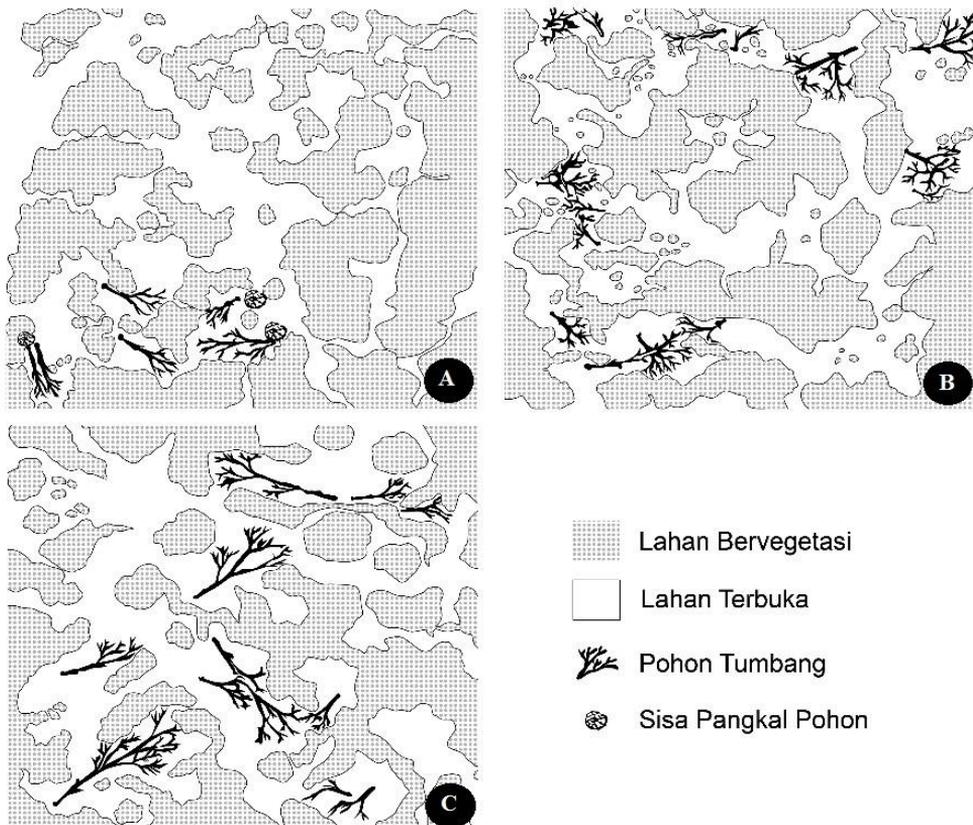
Ruang terbuka berukuran besar terbentuk dalam mangrove di Pulau Mantehage ketika pohon-pohon besar *S. alba* dan *B. gymnorrhiza* ditebang. Banyak pohon besar berkualitas baik saat itu ditebang untuk memenuhi kebutuhan kayu, dan lainnya yang sudah berlobang dan rusak ditinggalkan. Tiga contoh formasi ruang terbuka di tiga lokasi berbeda ditampilkan secara diagramatik dalam Gambar 7.4.

Gambar 7.4A menampilkan kondisi mangrove di lokasi Tanjung Sebelah Barat Pulau Mantehage. Kondisi ini mencerminkan formasi ruang terbuka yang tercipta karena adanya penebangan pohon besar *S. alba*. Ruang terbuka yang terbentuk diperkirakan berumur sekitar 20 tahun, dan ini tercipta pada saat 13 pohon besar *S. alba* ditebang. Luas total ruang terbuka yakni 0,07 ha, dan bentuknya jelas mengikuti arah jatuhnya pohon saat ditebang. Ke arah sisi sebelah laut (bagian atas diagram) nampak lebih terbuka disebabkan penarikan kayu hasil tebang ke arah laut. Dengan mempertimbangkan ukuran pohon yang ditebang, diperkirakan luasan awal ruang terbuka jauh lebih besar dibandingkan dengan luasan yang ada sekarang. Ukuran ruang terbuka kemudian menjadi lebih kecil setelah ditutupi oleh pertumbuhan vegetatif pohon-pohon terdekat, atau oleh tumbuhan baru. Pada tahapan awal, laju pertumbuhan pohon dalam ruang terbuka relatif lebih cepat karena kondisi cahaya yang mendukung, dan ini mempercepat proses penutupan ruang

terbuka. Namun demikian, laju proses penutupan ini menjadi berkurang karena pohon muda yang tumbuh dalam ruang terbuka ditebang.

Gambar 7.4B adalah lokasi penebangan di Sebelah Timur Pulau Paniki. Dibandingkan dengan ruang terbuka dalam contoh pertama, ukuran ruang terbuka di lokasi ini relatif lebih kecil. Di lokasi ini, ruang terbuka terbentuk karena semua pohon *S. alba* ditebang, mungkin karena kualitas kayunya yang baik saat itu. Meskipun tidak mudah menghitung jumlah pohon yang telah ditebang, tetapi diperkirakan jumlahnya lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah pohon yang ditebang dalam contoh pertama. Luas ruang terbuka terukur sebesar 0,08 ha, dan *Rhizophora* spp. merupakan spesies pohon yang paling berhasil tumbuh dalam ruang terbuka. Namun demikian, proses tumbuh dan regenerasi pohon-pohon *Rhizophora* spp. menjadi terhambat oleh karena penebangan yang terus berlangsung.

Gambar 7.4C mewakili kondisi mangrove dekat Desa Tangkasi Sebelah Barat Laut. Kondisi mangrove di lokasi ini berbeda dengan dua contoh pertama karena formasi ruang terbuka yang ada di lokasi ini berkaitan dengan penebangan sejumlah pohon *B. gymnorrhiza* dan paling tidak tiga pohon *S. alba*. Luas total ruang terbuka yakni sebesar 0,09 ha, dan nilai ini diperkirakan akan bertambah karena sisa pohon *B. gymnorrhiza* yang masih hidup sangat mungkin ditebang atau dikuliti dan kemudian mati. Dalam plot yang diamati, terdapat dua pohon *B. gymnorrhiza* yang telah dikuliti. Proses pemulihan ruang terbuka di lokasi ini diperkirakan akan sangat berbeda dengan dua contoh sebelumnya, terutama karena *B. gymnorrhiza* tidak memiliki kemampuan mengembangkan pertumbuhan lateral pada saat batang utamanya ditebang. Hal penting lainnya yang perlu dicatat bahwa mangrove di lokasi ini sangat dipengaruhi oleh adanya proses deposisi sedimen yang berasal dari daratan terdekat. Peningkatan permukaan tanah yang terjadi akan sangat mempengaruhi pertumbuhan pohon yang ada termasuk pertumbuhan vegetatif pada *S. alba*.



Gambar 7.4. Formasi ruang terbuka: A) Lokasi penebangan pohon besar di lokasi Tanjung Sebelah Barat Pulau Mantehage, B) Sebelah Timur Pulau Paniki, C) Dekat Desa Tangkasi. Luasan masing-masing petak adalah 50 m².

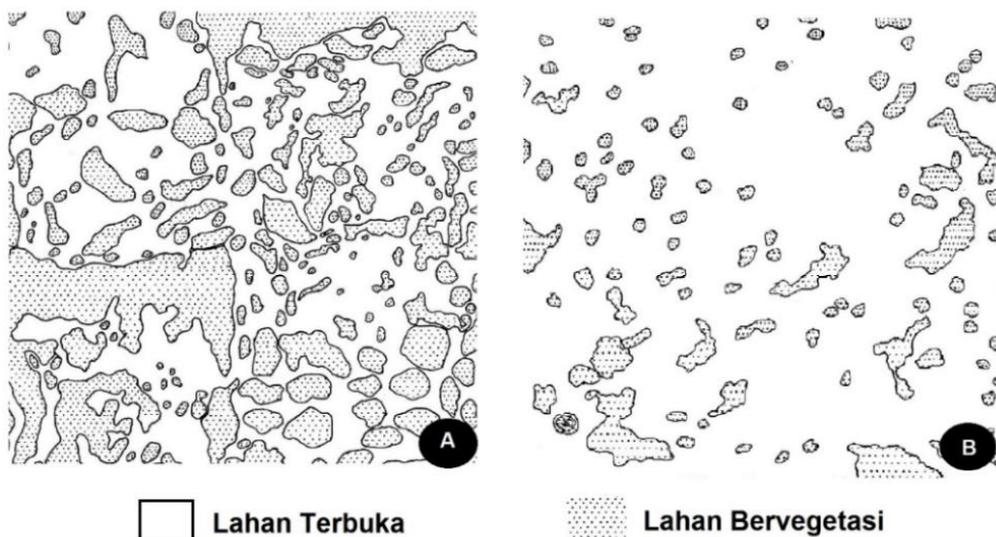
B. Formasi ruang terbuka pada lokasi penebangan *Ceriops tagal*

Di TNB, kebanyakan komunitas mangrove yang didominasi oleh *Ceriops tagal* telah mengalami kerusakan akibat penebangan. Hal ini disebabkan lokasinya yang mudah dijangkau dari sebelah daratan, kualitas kayunya yang baik untuk kayu bakar serta memiliki harga jual yang relatif tinggi.

Evaluasi terhadap dua lokasi berbeda di Bagian Selatan TNB telah dilakukan. Kedua lokasi ini yakni mangrove yang berada dekat Desa Sondaken dan mangrove di belakang Desa Rap-Rap. Perbedaan signifikan antara kedua lokasi tersebut yakni dalam hal intensitas penebangan, dimana penebangan

yang sangat intensif terjadi di lokasi belakang Desa Rap-Rap. Secara ringkas, penjelasan tentang kondisi formasi ruang terbuka di kedua lokasi tersebut dapat diikuti dalam uraian selanjutnya.

Ruang terbuka pada lokasi penebangan pohon *Ceriops tagal* ditampilkan pada Gambar 7.5. Adapun Gambar 7.5A merupakan kondisi mangrove di dekat Desa Sondaken. Pohon-pohon dalam plot yang diamati telah ditebang sekitar lima tahun sebelumnya (dihitung saat pengamatan dilakukan), dan ruang terbuka yang terbentuk adalah seluas 0,08 ha. Berdasarkan sisa pangkal pohon yang ada, diperkirakan pohon-pohon *C. tagal* yang ditebang hanya yang berukuran relatif besar saja, sedangkan pohon berukuran kecil dan relatif muda tidak ditebang. Dalam plot yang diamati terdapat pohon-pohon muda terutama tumbuh di sekitar pohon induk, tetapi jumlahnya tidak banyak. Keberhasilan establismen anakan di daerah bagian tengah ruang terbuka umumnya sangat terbatas seperti ditunjukkan oleh adanya ruang-ruang terbuka dalam gambar ini. Seperti halnya formasi ruang terbuka yang lain, ruang terbuka juga tercipta saat penarikan kayu keluar dari lokasi. Gambar 7.5B menampilkan kondisi mangrove di belakang Desa Rap-Rap. Dibandingkan dengan contoh yang pertama, luas total ruang terbuka yang terbentuk di lokasi ini jauh lebih besar yakni 0,24 ha. Berbeda dengan contoh yang pertama, *Ceriops* spp. di lokasi ini ditebang secara intensif dan hal ini terus berlangsung hingga kini. Oleh karena faktor penebangan ini dan juga proses erosi yang terjadi, maka regenerasi dan establismen mangrove menjadi terhambat. Sebagai konsekuensi, laju penutupan ruang terbuka menjadi sangat lambat.



Gambar 7.5. Ruang terbuka pada lokasi penebangan pohon *Ceriops tagal* dekat Desa Sondaken (A), dekat Desa Rap-rap (B).

7.5 Pembukaan Tambak dan Dampaknya

Dalam kawasan TNB penebangan mangrove juga dilakukan saat penyiapan lahan untuk konstruksi tambak. Di TNB Bagian Selatan mangrove dekat Desa Rap-rap ditebang seluas sekitar 3 ha pada awal tahun 1990. Konstruksi tambak yang belum selesai kemudian di tinggalkan. Pada waktu hampir bersamaan tiga lokasi di TNB Bagian Utara, tepatnya di Desa Meras (sekitar 4 ha), Desa Tongkeina Dusun Bahowo (sekitar 5 ha) dan Desa Tiwoho (sekitar 21 ha), pohon mangrove ditebang untuk konversi lahan mangrove menjadi tambak. Belakangan ditetapkan bahwa area tambak yang terdapat di Desa Meras dikeluarkan dari kawasan TNB. Dari ketiga kawasan mangrove dalam TNB yang ditebang (di Desa Rap-rap, Dusun Bahowo, dan Desa Tiwoho), hanya sebagian kecil lahan yang ada di Desa Tiwoho yang sempat dikonversi menjadi tambak (10 petak) dan sisanya dilerantarkan.

Penebangan mangrove di Desa Rap-rap untuk pembukaan lahan tambak telah menimbulkan masalah bagi pemukiman di sekitarnya. Lahan yang

diterlantarkan pasca penebangan menyebabkan terjadinya erosi dan menurunkan permukaan lahan. Akibatnya, saat air pasang tinggi massa air laut membanjiri pemukiman dari arah belakang yang permukaannya telah turun. Deskripsi banjir air pasang di Desa Rap-rap dapat dilihat seperti pada Gambar 7.6.



Gambar 7.6. Sketsa terjadinya banjir air pasang di Desa Rap-rap.

Pembukaan lahan tambak di Desa Tiwoho dimulai pada awal 1990an. Semua pohon mangrove di area seluas sekitar 18 ha ditebang (Gambar 7.7) dan hanya sebagian kecil yang kemudian dikonstruksi menjadi tambak. Sebanyak 10 petak tambak berhasil dikonstruksi dan hanya berproduksi satu kali sebelum diterlantarkan. Otoritas TNB kemudian menetapkan wilayah bekas penebangan dan tambak menjadi kawasan/zona rehabilitasi. Rehabilitasi oleh berbagai pihak dilakukan melalui penanaman artifisial tetapi hanya sebagian kecil lahan yang bisa direhabilitasi. Meskipun penanaman artifisial berulang kali dilakukan pada lahan terbuka sekitar lokasi tambak, semuanya mengalami kegagalan. Banyak

sedimen terlepas dari lahan bekas tebangan sehingga berdampak buruk terhadap pertumbuhan dan kesehatan terumbu karang di sekitarnya. Lahan ini kemudian direhabilitasi menggunakan pendekatan restorasi hidrologi pada tahun 2004. Secara detil, teknik restorasi yang dilakukan dibahas dalam Bab 8.



Gambar 7.7. Area tambak dan lokasi bekas penebangan di Desa Tiwoho.

8 Rehabilitasi Lahan Mangrove

Dua hal prinsip berikut harus kita pahami, yakni "manakala perubahan terjadi pada suatu habitat alami tumbuhan mangrove maka tidak mudah merehabilitasinya, dan bahwa benih mangrove yang berada di tempat yang salah tidak akan pernah tumbuh kecuali tempat itu kemudian berubah dan mendukung terjadinya pertumbuhan mangrove". Kedua hal prinsip tersebut bermakna bahwa pemulihan suatu habitat mangrove, baik secara alami maupun artifisial, bukanlah hal yang dapat terjadi begitu saja, tetapi seringkali gagal dan membutuhkan teknik dan intervensi yang tepat.

Tidak sedikit program rehabilitasi mangrove di Indonesia mengalami kegagalan. Biaya yang sangat besar dibuang sia-sia tanpa hasil. Salah satu faktor penyebab utama terjadinya kegagalan tersebut yaitu adanya pandangan bahwa "rehabilitasi mangrove dapat dilakukan secara gampang melalui penanaman kembali". Hingga kini, pandangan tersebut masih melekat dan dipercaya oleh banyak pihak, walaupun kebanyakan implementasinya di lapangan tidak berhasil.

Mangrove harus dilihat sebagai tumbuhan yang membutuhkan suatu kondisi yang dapat mendukung kebutuhan hidupnya terutama terkait dengan faktor fisiologis. Tumbuhan ini membutuhkan makanan dalam bentuk zat hara dan faktor-faktor lingkungan minimum yang mendukung pertumbuhannya, serta faktor-faktor lingkungan khusus yang dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangannya. Setiap jenis mangrove memiliki kemampuan toleransi atau adaptasi terhadap kadar garam dalam substrat yang berbeda. Hal tersebut antara lain yang menyebabkan terjadinya semacam pola distribusi spasial (zonasi) berupa kehadiran spesies-spesies

mangrove tertentu menurut gradien lingkungan setempat. Pada kondisi ekstrim, tumbuhan mangrove tentu saja bisa mati atau tidak tumbuh sama sekali.

Keberhasilan suatu upaya rehabilitasi lahan bekas mangrove atau lahan mangrove yang telah mengalami kerusakan ditentukan oleh banyak faktor, tetapi yang paling penting adalah pemahaman kita yang baik tentang biologi dan ekologi mangrove itu sendiri. Hubungan antara mangrove sebagai tumbuhan dan habitat dimana tumbuhan ini dapat melangsungkan kehidupan secara alamiah harus dikuasai. Lingkungan atau habitat mangrove yang dimaksud tidak hanya menyangkut variabel-variabel fisik lingkungan seperti yang telah dibahas dalam Bab 3, tetapi juga dinamika atau perubahan-perubahan yang harus diperhitungkan. Selebihnya, permasalahan terkait rehabilitasi lahan mangrove lebih bersifat teknis dan non teknis yang dapat dipelajari dan diintervensi dengan mudah. Bab 8 ini membahas aspek teoritis dan praktis pelaksanaan rehabilitasi mangrove.

8.1 Tujuan Rehabilitasi

Kita perlu mantapkan tujuan kita melakukan suatu upaya rehabilitasi. Sederhananya, kita melakukan tindakan rehabilitasi karena menginginkan kondisi sekarang menjadi lebih baik atau kembali pada keadaan sebelumnya. Jika sebelumnya lahan yang akan direhabilitasi pernah ditumbuhi pohon mangrove maka tujuan rehabilitasi adalah memfasilitasi kehadiran kembali tumbuhan mangrove di tempat tersebut. Apakah tujuan kita hanya berhenti pada kehadiran kembali tumbuhan mangrove atau kita mengharapkan lebih dari suatu upaya rehabilitasi. Misalkan kita menginginkan upaya rehabilitasi juga untuk konservasi spesies mangrove, atau kita ingin mengembalikan fungsi-fungsi ekologis mangrove sebagaimana kehadirannya secara alamiah. Dalam perspektif yang lebih luas lagi, upaya rehabilitasi mangrove dapat diarahkan untuk menjawab fungsi-fungsi seperti perlindungan wilayah pantai dan

pemukiman, mitigasi dampak perubahan iklim jangka panjang, dan menjawab permasalahan ekonomi masyarakat sekitar. Hingga saat ini, upaya rehabilitasi masih gagal pada tingkat teknis tetapi sering dilaporkan berhasil pada skala dimana kegiatan awal berupa persiapan dan penanaman dilakukan. Hal yang semestinya adalah bahwa lahan mangrove yang telah mengalami kerusakan bila kemudian tidak terjadi pemulihan alamiah maka harus segera diintervensi dengan cara merehabilitasinya. Jika tidak dilakukan maka kita akan semakin sulit merehabilitasinya karena perubahan ekstrim pada kondisi fisik lahan, dan kemungkinan terburuk yang dapat terjadi adalah kita akan kehilangan lahan tersebut selamanya.

8.2 Survei Lahan Rencana Rehabilitasi

Berangkat dari tujuan rehabilitasi yang telah dijelaskan maka sangatlah mudah bagi kita menentukan lokasi lahan mangrove yang mana yang akan direhabilitasi, yaitu lahan mangrove yang telah mengalami kerusakan dan proses regenerasi alamiah tidak terjadi dalam suatu kurun waktu tertentu. Survei awal penilaian lahan menjadi hal penting yang harus dilakukan secara cermat karena hasilnya akan digunakan dalam pengambilan keputusan rencana rehabilitasi yang akan dilakukan termasuk aspek pendekatan teknis yang tepat. Beberapa hal penting berikut harus diungkap dan dinilai saat survei:

1. Penyebab terjadinya kerusakan pada lahan mangrove. Pertanyaan yang harus dijawab, apakah kerusakan disebabkan karena penebangan oleh masyarakat atau pihak tertentu, atau disebabkan karena faktor alam seperti banjir, sedimentasi atau karena kehadiran konstruksi bangunan, dll. Informasi tersebut dapat diperoleh melalui wawancara langsung dengan masyarakat sekitar atau pemerintah setempat dan juga dengan pemeriksaan fakta di lapangan. Kronologis kejadian penebangan atau kerusakan penting untuk diungkap karena dapat dihubungkan dengan

fakta-fakta lain yang berkaitan seperti kebijakan, cara pandang masyarakat terhadap manfaat dan fungsi mangrove, atau mungkin fenomena-fenomena alam tertentu seperti kekeringan (El'nino), dll.

2. Kondisi kesehatan dan struktur komunitas mangrove alami. Kumpulkan data terkait kondisi kesehatan pohon mangrove kebanyakan dan struktur komunitas mangrove terdekat atau sekitar lahan yang disurvei (Gambar 8.1). Terkait kondisi kesehatan pohon mangrove, perhatikan apakah pohon mangrove secara fisik terlihat normal tanpa indikasi banyak daun yang layu atau ada sebagian percabangan maupun pucuk kanopi yang kering atau banyak bagian pucuk pohon yang telah hilang atau patah. Apakah aktivitas reproduksi



Gambar 8.1. Kondisi tegakan: (A) *Rhizophora mucronata* dengan produksi propagul yang sehat, (B) *Sonneratia alba* dengan produksi buah yang sehat, (C) *Ceriops tagal* dengan indikasi dieback, (D) *Ceriops tagal* dengan propagule yang terserang serangga dan jamur.

dalam bentuk kehadiran bunga, propagule atau buah teramati?, dan buat perbandingan tingkat reproduksi secara kualitatif dengan kondisi reproduksi pada mangrove serupa yang tumbuh alami. Identifikasi semua spesies mangrove yang menyusun komunitas mangrove yang diamati secara langsung di lapangan bila memungkinkan atau dengan mengoleksi spesimen dan mengidentifikasinya secara morfologi menggunakan beberapa buku panduan identifikasi mangrove (contoh: Van Stennis, 1955-58; Ding Hou, 1958; Percival and Womersley, 1975; Fernando and Pancho, 1980; Blasco, 1984; Tomlinson, 1986; Maberley dkk., 1995; Noor dkk., 2006).

3. Kondisi fisik substrat permukaan. Lahan mangrove yang telah terbuka oleh karena sesuatu sebab biasanya menampilkan karakter tertentu. Pada kebanyakan kasus, substrat permukaan lahan menampilkan corak-corak tertentu yang perlu diperhatikan di lapangan saat survei (Gambar 8.2). Pertama, warna substrat atau tanah permukaan telah berubah dibandingkan substrat lahan mangrove di sekitarnya. Bila suatu lahan mangrove telah kehilangan lapisan substrat permukaan atau mendapat masukan sedimen dari lingkungan eksternal, warna substrat permukaan akan berubah dibandingkan dengan substrat aslinya yang biasanya coklat gelap/kehitaman. Perubahan warna yang bisa ditemui di lapangan terutama menjadi lebih terang menjadi coklat muda bila lapisan substrat bawah terdiri dari fraksi liat dan debu, atau berupa fraksi sedimen yang didominasi pasir lepas (kasar maupun halus) karena penyortiran. Bila warna putih mengkilap nampak pada permukaan substrat saat lahan kering maka kemungkinannya adalah bahwa warna putih tersebut merupakan butiran atau kristal garam halus yang terbentuk karena penguapan. Pada lahan seperti ini salinitas air substrat permukaan biasanya sangat tinggi. Pada kondisi yang sangat ekstrim, permukaan

lahan dapat berupa lapisan terumbu karang mati yang tersingkap atau bongkahan kerikil, terutama bila lahan telah kehilangan substrat permukaannya karena erosi.



Gambar 8.2. Corak permukaan lahan: (A) Permukaan lahan yang telah kehilangan substrat permukaan dan sering berwarna putih mengkilap saat kering karena terbentuknya kristal garam, (B) Mirip dengan A tetapi dengan tekstur sedimen berbeda, (C) Tergerus hebat hingga muncul lapisan terumbu karang mati yang keras, (D) Permukaan dengan bongkahan kerikil besar akibat abrasi.

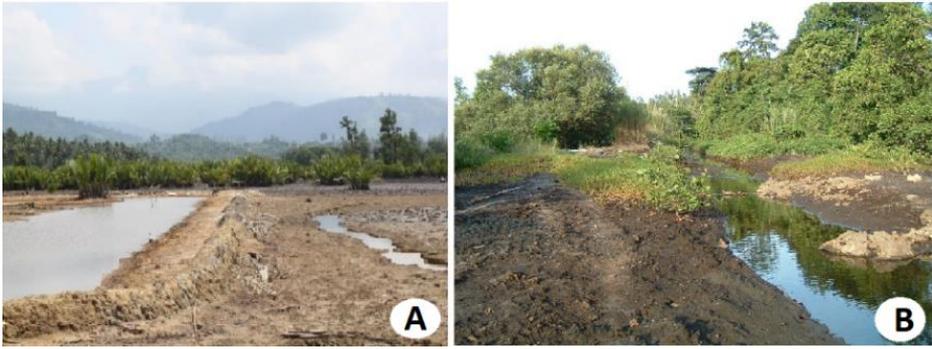
4. Topografi/landskap permukaan lahan. Lahan mangrove alami pada umumnya memiliki permukaan yang tidak kasar/bergelombang (*smooth*) dengan gradien kemiringan yang semakin meningkat ke arah darat. Kehadiran gundukan tanah dengan ketinggian tertentu atau turunnya permukaan tanah hingga kedalaman tertentu akan menyulitkan anakan mangrove untuk tumbuh. Sering di lapangan kita menemukan gundukan tanah yang terangkat telah diinvasi oleh tumbuhan darat berupa alang-alang dan semak. Begitu juga daerah yang tenggelam hadir

dalam bentuk kolam-kolam kecil berair dengan substrat yang dalam. Contoh lanskap permukaan lahan mangrove yang telah berubah seperti yang ditampilkan pada Gambar 8.3.



Gambar 8.3. Perubahan lanskap permukaan lahan: (A) Permukaan yang telah turun hingga di bawah MSL, (B) Permukaan yang terangkat hingga ketinggian yang tidak bisa dicapai air laut saat pasang dan telah diinvasi tumbuhan darat.

5. Sistim hidrologi. Saat survei perlu diamati apakah sistim hidrologi lahan dalam kondisi normal (alamiah) atau telah mengalami perubahan (contoh pada Gambar 8.4). Seperti apa kondisi hidrologi lahan yang alamiah dapat diamati dengan memperhatikan proses perendaman dan sirkulasi massa air laut saat pasang dan surut pada ekosistem mangrove sekitar lahan yang disurvei. Kondisi yang diamati selanjutnya dibandingkan dengan yang berlaku pada lahan yang disurvei. Secara umum, proses perendaman dan sirkulasi massa air pada lahan mangrove telah diuraikan dalam Bab 3. Gangguan sirkulasi massa air pada suatu lahan mangrove biasanya berkaitan dengan perubahan pada topografi lahan, terbentuknya aliran-aliran air baru atau genangan saat surut. Gangguan lainnya dapat berupa terhambatnya aliran air tawar karena pemindahan aliran air dari daratan atau kehadiran tanah timbunan atau konstruksi jalan, dll.



Gambar 8.4. Kondisi lahan dengan hidrologi yang telah berubah karena: (A) kehadiran bekas pematang tambak, (B) Galian saluran pasang-surut.

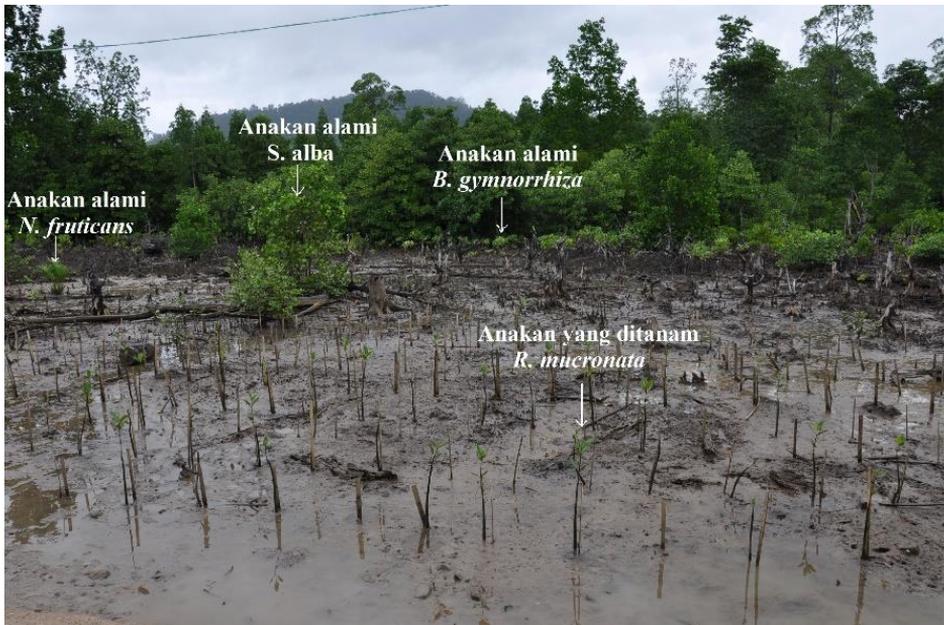
6. Ancaman aksi gelombang, abrasi atau sedimentasi. Aksi gelombang yang aktif menghempas lahan mangrove (biasanya zona sebelah laut), pergerakan arus susur pantai yang kuat dan proses sedimentasi yang cepat, semuanya merupakan faktor ancaman fisik yang dapat secara langsung menyebabkan kerusakan pada lahan mangrove termasuk benih maupun tegakan mangrove yang tumbuh alami. Beberapa contoh lahan yang terancam oleh aktivitas gelombang, abrasi atau sedimentasi dapat dilihat pada Gambar 8.5.



Gambar 8.5. Ancaman fisik pada lahan: (A) Aksi gelombang, (B) Abrasi dan sedimentasi.

7. Kehadiran anakan alami. Kehadiran anakan alami perlu diamati saat survei dengan memperhatikan spesies, kondisi kesehatan dan pola penyebarannya (Gambar 8.6). Hal lain yang penting diperiksa yakni

apakah kehadiran anakan bersifat sementara atau berpeluang untuk tumbuh dan berkembang. Analisis perlu dikembangkan terkait stabilitas fisik lahan yang berhubungan erat dengan faktor oseanografi pada poin 6.



Contoh 8.6. Pemeriksaan kehadiran anakan alami pada lahan sebelum ditanami di Desa Deaga Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan.

8. Status hukum dan tingkat gangguan manusia. Status hukum lahan yang disurvei harus jelas (ada kepastian) karena akan menentukan keberhasilan pencapaian tujuan rehabilitasi. Lahan yang akan direhabilitasi juga harus terbebas dari aktivitas manusia yang dapat mengancam keberlangsungan hidup anakan mangrove yang ditanam atau benih yang tumbuh alami.

Pada Gambar 8.7 ditampilkan skema bagan alir pengambilan keputusan apakah lahan yang disurvei akan direhabilitasi atau tidak. Berdasarkan skema

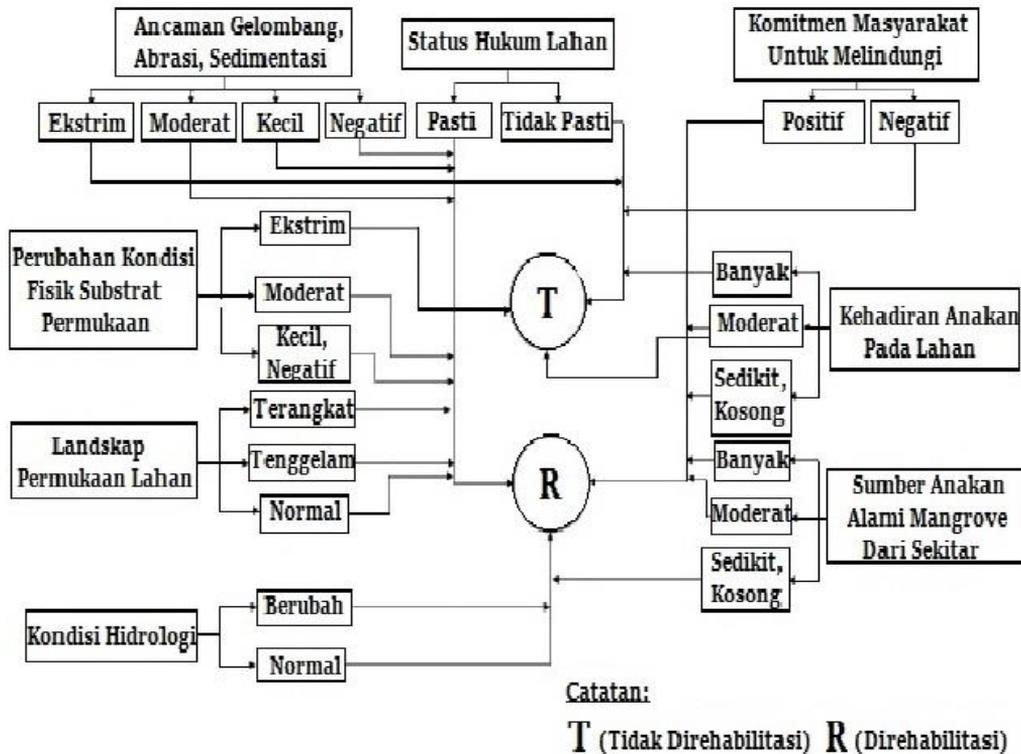
bagan alir ini, keputusan untuk tidak perlu melakukan rehabilitasi jika kondisi-kondisi sebagai berikut terpenuhi:

1. Tingkat ancaman aksi gelombang berada pada skala ekstrim,
2. Status hukum lahan tidak pasti,
3. Komitmen masyarakat untuk melindungi lahan rehabilitasi negatif (tidak mendukung),
4. Perubahan kondisi fisik substrat permukaan ekstrim,
5. Kehadiran anakan mangrove alami pada lahan banyak atau moderat, dengan perhitungan bahwa pemulihan alami akan terjadi.

Sebaliknya, lahan yang disurvei dapat direhabilitasi dengan pertimbangan bahwa kondisi berikut terpenuhi:

1. Tingkat ancaman aksi gelombang berada pada skala moderat atau kecil dengan catatan bahwa teknik rehabilitasi dalam bentuk penanaman artifisial dilakukan secara khusus untuk membantu atau melindungi anakan yang ditanam bisa bertahan dan hidup,
2. Tingkat ancaman aksi gelombang berada pada skala negatif (sama sekali tidak ada atau sangat kecil),
3. Status hukum lahan pasti (terhindar dari konflik kepentingan dan terlindung secara hukum),
4. Komitmen masyarakat untuk melindungi lahan rehabilitasi positif (mendukung),
5. Perubahan kondisi fisik substrat permukaan moderat, kecil atau tidak ada perubahan sama sekali,
6. Lanskap permukaan lahan terangkat atau tenggelam (dengan pertimbangan dilakukan perataan permukaan lahan), atau dalam kondisi normal,
7. Kondisi hidrologi telah berubah (rehabilitasi dilakukan dengan teknik restorasi hidrologi) atau normal,

8. Kehadiran anakan alami moderat, sedikit atau tidak ada sama sekali (anakan dapat dihadirkan dari tempat lain),
9. Sumber anakan alami dari mangrove sekitar tersedia banyak, moderat atau tidak ada sama sekali.



Gambar 8.7. Bagan alir pengambilan keputusan apakah lahan rencana rehabilitasi di rehabilitasi atau tidak berdasarkan hasil survei.

8.3 Memilih Teknik Rehabilitasi

Teknik rehabilitasi yang paling umum dan banyak digunakan yakni penanaman artifisial. Belakangan dikembangkan sebuah teknik yang dinamakan Restorasi Mangrove Ekologi (*Ecological Mangrove Restoration*), yang pada prinsipnya berupa perbaikan hidrologi lahan. Kelebihan teknik yang pertama yaitu jika penanaman berhasil maka reforestasi lahan dapat berlangsung cepat. Tetapi kelemahannya adalah bahwa komunitas mangrove yang terbentuk

tersusun hanya oleh satu atau beberapa spesies yang ditanam saja. Dalam banyak kasus di lapangan, teknik ini mengalami kegagalan karena berbagai faktor terutama karena lahan tanam tidak mendukung atau kesalahan dalam memilih spesies mangrove. Teknik yang kedua masih terus dikembangkan tetapi di beberapa tempat telah berhasil diimplementasikan. Teknik ini memiliki kelebihan yakni komunitas mangrove yang terbentuk dapat menyerupai kondisi alami dengan kondisi habitat yang terbentuk secara alami pula. Pada kondisi seperti apa kedua teknik tersebut lebih tepat diaplikasikan agar upaya rehabilitasi dapat memberikan hasil yang optimal? Pada Tabel 8.1 ditampilkan batasan-batasan kondisi lahan dimana kedua teknik ini digunakan.

Tabel 8.1. Deskripsi kondisi lahan yang dapat direhabilitasi menggunakan penanaman artifisial atau restorasi hidrologi.

Penanaman Artifisial	Restorasi Hidrologi
1. Ancaman gelombang, abrasi, sedimentasi moderat atau kecil – menggunakan teknik khusus	1. Berulang kali penanaman dilakukan dan gagal
2. Ancaman gelombang, abrasi, sedimentasi negatif (tidak ada)	2. Perubahan kondisi substrat permukaan moderat atau kecil
3. Perubahan kondisi substrat permukaan moderat, kecil atau negatif (tidak ada perubahan)	3. Lanskap permukaan lahan terangkat, tenggelam
4. Lanskap permukaan lahan terangkat, tenggelam – dengan perbaikan fisik berupa perataan lahan terlebih dahulu	4. Kondisi hidrologi berubah biasanya pada lahan bekas tambak
5. Lanskap permukaan lahan normal	5. Anakan alami pada lahan sedikit atau kosong
6. Kondisi hidrologi normal	6. Sumber anakan alami dari mangrove sekitar banyak atau moderat
7. Anakan alami pada lahan moderat, sedikit atau kosong	
8. Sumber anakan alami dari mangrove sekitar banyak, moderat, sedikit atau kosong	

8.4 Teknik Penanaman Artifisial (Artificial Plantation)

Beberapa langkah berikut perlu dilakukan untuk memastikan terlaksananya upaya proses penanaman secara artifisial:

A. Penyediaan bibit

Berdasarkan sumbernya, ada beberapa jenis bibit yang dapat digunakan, yakni:

1. Bibit yang dikumpulkan langsung dari hutan mangrove berupa anakan yang sudah berkecambah dan masih bergantung di pohon induk terutama untuk jenis *Bruguiera* spp., *Ceriops* sp., dan *Rhizophora* spp. Proses pengumpulannya dapat dilakukan dengan menggoyang dahan pohon dimana bibit tersebut berada, atau dengan memetik langsung di pohon dengan memperhatikan beberapa tanda yang menunjukkan bahwa anakan tersebut sudah siap jatuh seperti ukuran buah relatif besar, kotiledon nampak berwarna kuning tua, berwarna lebih gelap atau buram (biasanya agak kecoklatan atau hijau tua) (Gambar 8.8).



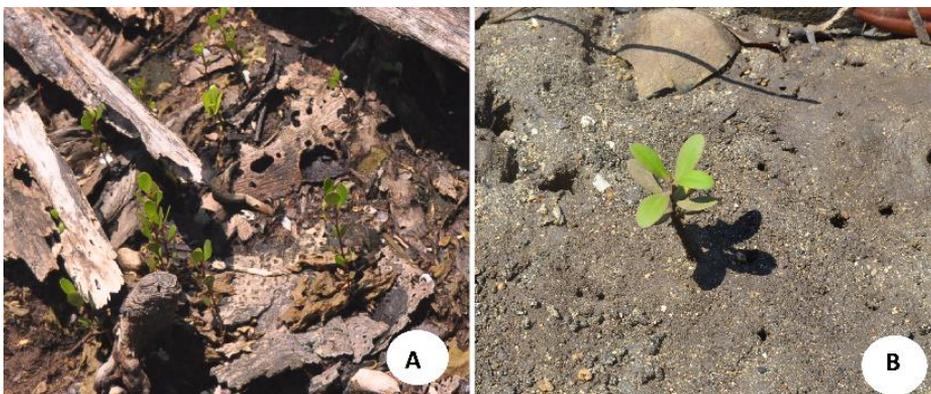
Gambar 8.8. Contoh propagule yang telah berkecambah: A) *Rhizophora mucronata*, B) *Bruguiera gymnorrhiza*, C) *Ceriops tagal*.

2. Bibit yang berupa propagule atau biji yang telah jatuh dekat pohon induk (Gambar 8.9).



Gambar 8.9. Buah matang *Xylocarpus mollucensis* yang telah jatuh.

3. Bibit dalam bentuk anakan yang sudah berkecambah seperti pada *Bruguiera* spp., *Ceriops* sp., dan *Rhizophora* spp., atau jenis lain dengan ukuran yang lebih kecil seperti pada *Avicennia* spp., dan *Sonneratia* spp (Gambar 8.10).



Gambar 8.10. Contoh anakan: A) *Lumnitzera racemosa*, B) *Sonneratia alba*

Dalam praktek, dua tipe bibit yang pertama dapat langsung ditanam, atau disemaikan terlebih dahulu, kecuali untuk anakan yang sudah berdaun sebaiknya langsung ditanam.

Berdasarkan uji-tanam yang dilakukan untuk membandingkan tingkat keberhasilan hidup antara jenis bibit *Ceriops tagal* yang berasal dari propagule yang masih berada di pohon dan anakan alami berdaun 2- 4 lembar, terdapat perbedaan keberhasilan hidup. Hasil uji tanam selama 18 bulan menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan hidup benih alami yang telah berdaun lebih tinggi dari pada propagule yang dipetik dari pohon dengan perbandingan 56 : 53%, saat ditanam di zona belakang yang memiliki kadar salinitas substrat permukaan yang relatif tinggi. Tetapi, hasilnya berbeda pada uji tanam di zona yang lebih rendah dengan salinitas yang lebih rendah dibandingkan zona belakang dekat daratan. Di zona ini, benih yang berasal dari propagule yang dipetik dari pohon memiliki tingkat keberhasilan hidup yang jauh lebih tinggi yakni 65% dibandingkan benih alami yang telah berdaun yakni sebesar 16%.

B. Persemaian

Media persemaian dapat berupa kantong plastik bila tersedia, atau menggunakan kulit batang pisang, atau ditanam langsung di bedeng-bedeng yang telah disiapkan. Tanah sebaiknya berasal dari lokasi tempat pengumpulan bibit atau anakan. Penambahan pupuk kandang dapat mempercepat pertumbuhan bibit.

Khusus untuk jenis bibit yang berukuran kecil seperti *Sonneratia alba*, seleksi bibit yang baik dapat dilakukan dengan merendam buah yang telah matang ke dalam ember dan diambil biji yang timbul dan berbentuk sempurna (tidak saling menempel atau rusak dimakan serangga). Bibit ditanam dalam media tanam dengan posisi tempat keluarnya calon akar (radikel) ditancapkan ke dalam tanah.

Lokasi persemaian yang ideal terletak di dekat lahan yang akan direhabilitasi dan masih dapat dijangkau air pasang di zona dekat daratan, atau di darat untuk benih yang berukuran kecil atau berupa biji. Bila bibit disemaikan di darat maka minimal sekali sehari disirami air laut.

C. Penanaman

Sebaiknya, anakan yang akan ditanam/dipindahkan ke lahan rehabilitasi tidak terlalu kecil terutama untuk anakan yang berasal dari benih atau bibit yang berukuran kecil atau berbentuk biji. Umur anakan yang sudah dapat dipindahkan dapat bervariasi, tetapi sebagai dasarnya, anakan dengan jumlah daun 4 – 6 sudah dapat dipindahkan. Agar tidak terbawa air, anakan harus ditanam cukup kuat. Hal yang tidak dapat ditinggalkan ketika penanaman dilakukan yaitu setiap jenis mangrove hanya akan tumbuh sehat di tempat yang cocok sebagai habitatnya.

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.

D. Pemeliharaan lahan

Gangguan pada lahan yang telah ditanami kembali harus dibuat minimal. Sebaiknya sebuah papan pemberitahuan di pasang di lokasi penanaman agar terhindar dari gangguan. Begitupula dengan batang-batang kayu bekas penebangan atau yang terbawa air pasang ke dalam lokasi penanaman harus disingkirkan atau diikat pada akar pohon mangrove agar tidak bergerak dan menyapu anakan saat lahan terendam air saat pasang. Bentuk gangguan lainnya

dapat berupa serangan hewan herbivora seperti kambing. Terkait dengan itu, lokasi tanam dapat dipagari (jika memungkinkan) atau dibuat kesepakatan tentang pemeliharaan hewan dalam bentuk pengkandangan atau diikat. Pada beberapa kasus tertentu, dapat dipilih spesies benih yang tidak disukai hewan herbivora. Pada Gambar 8.11 ditampilkan contoh-contoh pemeliharaan lahan yang telah dijelaskan.



Gambar 8.11. Pemeliharaan lahan: (A) Pemasangan tanda atau pengumuman tentang kegiatan penanaman, <https://jackforest.files.wordpress.com>, (B) Pengamanan lahan dari gangguan log kayu bekas tebangan, (C) Pemasangan pagar pengaman agar terhindar dari gangguan herbivora seperti kambing.

8.5 Teknik Restorasi Hidrologi

Secara alami, ekosistem mangrove memiliki kemampuan untuk memperbaiki diri sendiri dalam periode waktu 15 – 20 tahun, sepanjang ketersediaan biji dan bibit mangrove tidak terganggu atau terhalangi, dan kondisi normal hidrologi tidak terganggu. 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. 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.

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, dapat digunakan 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. Penggalan 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.

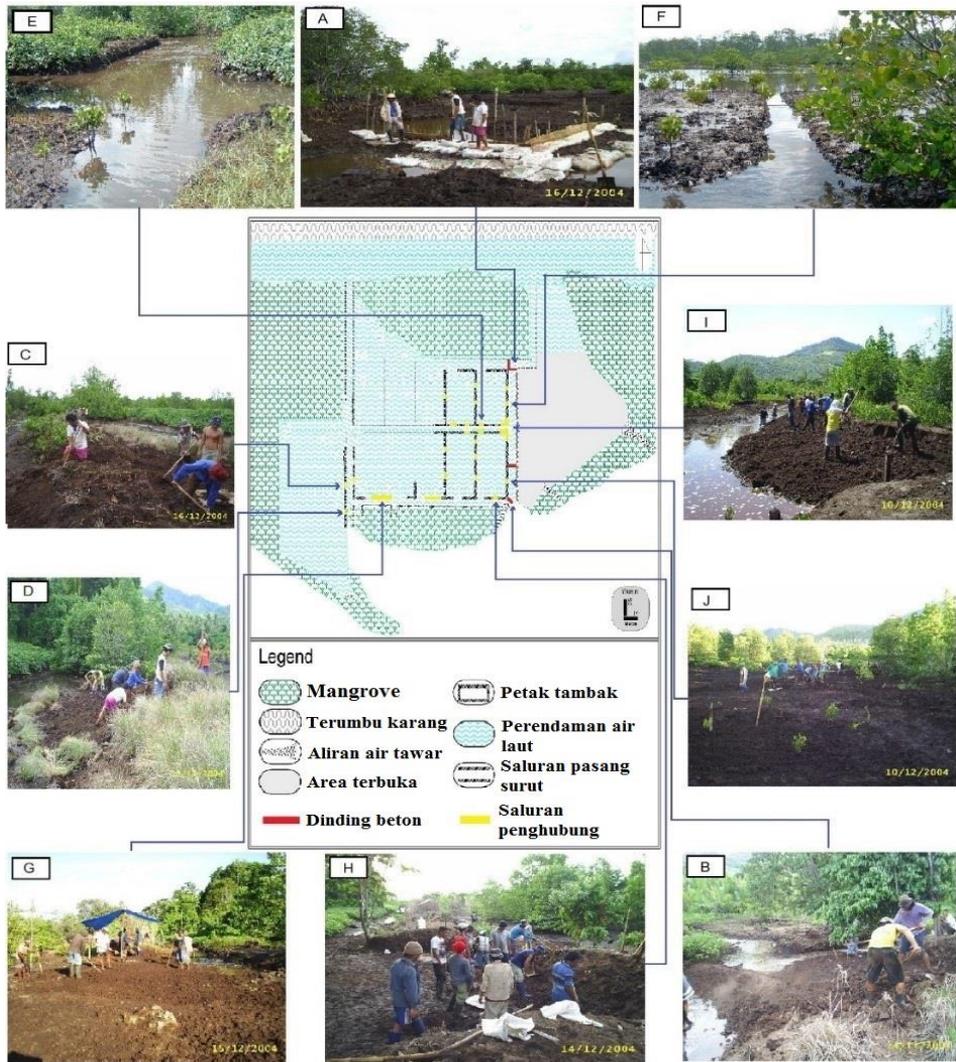
Di areal dimana penimbunan pernah dilakukan terhadap lahan yang pernah ditumbuhi mangrove, pengerukan kembali timbunan tersebut untuk mencapai tanah humus mangrove sebelumnya kemungkinan akan menghasilkan kondisi yang terlalu lembab untuk pembentukan mangrove, ini disebabkan karena kepadatan dan kerapatan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

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 kotiledon yang terbuka.

Teknik restorasi hidrologi telah dipraktekkan pada lahan bekas tambak di Desa Tiwoho, Kecamatan Wori, Kabupaten Minahasa Utara. Vegetasi mangrove pada lahan ini telah ditebang dan lahan telah dibongkar untuk dijadikan tambak udang pada tahun 1991. Sejak diterlantarkan, proses pemulihan alami tidak pernah berhasil, demikian pula dengan berbagai upaya rehabilitasi oleh berbagai pihak menggunakan penanaman artifisial selalu gagal. Sejak tahun 2002 studi dilakukan untuk merehabilitasi lahan ini dengan teknik restorasi hidrologi.

Berdasarkan hasil studi, perubahan fisik pada lahan kemudian dilakukan untuk mengembalikan kondisi hidrologi lahan mendekati kondisi normal dimana benih mangrove alami bisa tumbuh. Secara umum, perubahan fisik

lahan dilakukan dengan memblokir aliran-aliran pasang surut yang masuk melalui saluran utama, membuka isolasi petak-petak tambak dengan membuat saluran antar petak tambak, dan bagian lahan tertentu yang permukaannya terlalu tinggi diturunkan (Gambar 8.12). Pekerjaan dilakukan bersama masyarakat Desa Tiwoho menggunakan peralatan sederhana.



Gambar 8.12. Perubahan fisik lahan pada lahan bekas tambak di Desa Tiwoho: A, B) Penutupan akses saluran pasang surut, C, D) Pembukaan akses aliran pasang surut ke lahan terbuka, E, F, G, H, I, J) Pembukaan saluran koneksi antar petak tambak dan penurunan permukaan yang tinggi.

Restorasi hidrologi pada lahan ini berhasil mengembalikan tingkat perendaman lahan mendekati kondisi normal, dan kondisi substrat dan salinitas substrat permukaan perlahan menjadi stabil diikuti oleh proses pertumbuhan spesies mangrove alami (antara lain: *Avicennia marina*, *Ceriops tagal*, *Rhizophora apiculata*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Sonneratia alba*, *Xylocarpus mollucensis*, dll.). Setelah kurun waktu 7 tahun pasca restorasi hidrologi, laju pertumbuhan alami mendekati normal. Berdasarkan hasil analisis image satelit, tutupan vegetasi pada lahan yang direstorasi telah mencapai 91,3 % pada tahun 2016 atau sekitar 12 tahun pasca lahan direstorasi.

8.6 Konsep - Spesies Tertentu Memfasilitasi Spesies Lain

Fakta yang bisa terjadi di lapangan bahwa anakan mangrove yang ditanam kemudian mati dan digantikan oleh spesies lain secara alamiah. Padahal dalam suatu program rehabilitasi dengan teknik penanaman ukuran keberhasilan tanam diukur dengan banyaknya anakan yang ditanam dan berhasil hidup dan berkembang membentuk suatu komunitas mangrove baru. Apakah pada kejadian seperti yang disebutkan kita akan mengatakan upaya rehabilitasi yang dilakukan gagal? Tentu saja tidak dapat dikatakan gagal jika tujuan kita melakukan upaya rehabilitasi adalah untuk mengembalikan fungsi ekologis suatu ekosistem mangrove. Secara teoritis, kejadian seperti ini juga bukan hal yang aneh. Alasannya adalah bahwa spesies yang ditanam menciptakan kondisi yang kemudian dimanfaatkan oleh benih yang tersedia alamiah untuk tumbuh. Pertumbuhan benih alami jauh lebih cepat dibandingkan dengan anakan spesies yang ditanam sehingga kemudian mereka menempati posisi kanopi dan menutup peluang tegakan spesies yang ditanam untuk tumbuh membesar. Tegakan spesies yang ditanam akhirnya kalah berkompetisi dengan tegakan alami dalam hal mengisi ruang.

Pada Gambar 8.13 ditampilkan sebuah contoh pengamatan yang dilakukan pada lahan yang direhabilitasi di Desa Tiwoho. Lahan ini berupa ruang kosong yang sebelumnya terbentuk karena tegakan ditebang untuk dijadikan tambak. Penanaman dilakukan berulang kali menggunakan anakan beberapa spesies terutama *Ceriops tagal*, *Bruguiera gymnorhiza* dan *Rhizophora apiculata*. Dalam kurun waktu sekitar tiga tahun anakan yang ditanam tetap bertumbuh dan berkembang, kemudian secara cepat setiap ruang kosong di antara anakan yang ditanam ditumbuhi oleh anakan alami spesies *Avicennia marina*. Pertumbuhan anakan alami ini sangat cepat dan muncul sebagai spesies pada kanopi. Setelah itu, banyak anakan yang ditanam mati karena ternaungi oleh kanopi tegakan *A. marina*.



Gambar 8.13. (A) Lokasi bekas penebangan di Desa Tiwoho yang ditanami, (B) Penanaman artifisial benih *Ceriops tagal*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Rhizophora apiculata* oleh anak sekolah, (C) Invasi tegakan alami *Avicennia marina*.

9 Konservasi & Pemanfaatan Mangrove Berkelanjutan

Menjadi slogan dimana-mana bahwa kita harus menjaga dan memelihara hutan mangrove karena perannya yang sangat penting dalam menjaga stabilitas garis pantai, merupakan habitat berbagai spesies flora dan fauna, dan pensuplai hara bagi kesuburan perairan. Di sisi lain, penebangan dan konversi hutan untuk berbagai tujuan telah banyak menimbulkan kerusakan dan musnahnya ekosistem mangrove. Sementara itu, banyak usaha seperti pertambakan ikan dan udang yang dibangun di atas lahan yang sebelumnya berupa hutan mangrove ternyata tidak dapat berproduksi optimal, bahkan banyak diantaranya yang sudah tidak berproduksi. Permasalahan lain yang sangat jelas yakni kegagalan pihak pengelola hutan mangrove dalam melakukan program rehabilitasi, sehingga banyak lahan mangrove tetap terbuka dan terus mengalami degradasi.

Ada dua pemahaman yang sebelumnya dan mungkin hingga kini masih dipegang oleh banyak pihak pengambil keputusan bahwa pertama, areal mangrove pasti baik untuk dijadikan tambak ikan maupun udang, dan kedua bahwa ekstraksi kayu mangrove untuk tujuan komersil sangat mungkin dilakukan asalkan diikuti oleh tindakan merehabilitasi. Dalam beberapa dekade belakangan, kedua pemahaman tersebut telah mendorong lahirnya banyak keputusan perombakan lahan mangrove di Indonesia. Dan, akibat salah urus maka kita banyak kehilangan hutan mangrove. Padahal sebelum pengambilan keputusan pemanfaatan mangrove dalam skala besar, hal yang mesti dipertimbangkan bahwa secara fisik ekosistem mangrove bersifat sangat tidak stabil dan berbeda antar satu tempat dengan lainnya. Sekali melakukan

perubahan pada suatu ekosistem mangrove maka tidak mudah mengembalikannya, dan bila keputusan merehabilitasi harus dilakukan maka kita harus mengeluarkan biaya yang tidak sedikit, dan belum tentu berhasil.

Namun demikian, menjadi sangat tidak bijaksana bila kita membiarkan tumbuhan dan habitat mangrove tidak termanfaatkan, padahal para pendahulu kita sudah menunjukkan banyak hal positif yang dapat dilakukan atau dimanfaatkan dari mangrove mulai dari pemanfaatan untuk obat-obatan, pemanfaatan langsung berupa kayu bakar dan sumber daya perikanan, hingga tata-cara perlindungan dan perbaikan habitat. Di banyak tempat lain juga telah dikembangkan berbagai cara pemanfaatan berkelanjutan yang tidak hanya bernilai guna bagi pemanfaat tetapi juga bagi keberlangsungan ekosistem mangrove itu sendiri. Dalam Bab 9 ini diuraikan berbagai isu penting terkait konservasi sumber daya mangrove. Pada bagian akhir Bab ini juga diuraikan berbagai inisiatif pemanfaatan yang dapat menjamin keberlangsungan fungsi ekologis mangrove sekaligus memberi keuntungan ekonomis bagi masyarakat.

9.1 Isu Penting Terkait Konservasi Mangrove

Upaya konservasi mangrove merupakan sebuah keharusan karena kehadiran ekosistem ini sangatlah penting, baik secara langsung dapat dimanfaatkan dan perannya sebagai penyanggah produktivitas ekosistem lainnya di wilayah pantai maupun pelindung pantai dari kerusakan fisik, atau secara tidak langsung terkait dengan mitigasi bencana melalui kemampuannya menyimpan karbon. Di sisi lain, ekosistem ini memiliki karakteristik yang unik antara lain habitatnya relatif tidak stabil dan sekali mengalami gangguan/kerusakan tidak mudah untuk direhabilitasi. Dalam uraian selanjutnya, dibahas beberapa aspek penting meliputi kebijakan dan peraturan terkait mangrove, cara pandang masyarakat terhadap mangrove, ciri khas habitat dan ekosistem mangrove, keberhasilan dan kegagalan dalam pengelolaan serta alternatifnya,

nilai-nilai manfaat penting yang harus dikembangkan. Semua aspek tersebut harus menjadi bahan pertimbangan dalam upaya pengembangan konservasi mangrove di Indonesia.

A. Arah kebijakan dan peraturan terkait

1. Jalur hijau (*Green Belt*)

Jalur hijau didefinisikan sebagai wilayah atau zona perlindungan mangrove yang dipertahankan di sepanjang pantai dan tidak diperbolehkan ditebang, dikonversi atau dirusak. Fungsi jalur hijau adalah untuk mempertahankan pantai dari ancaman erosi dan untuk mempertahankan fungsi mangrove sebagai tempat perkembangbiakan dan berpijah berbagai jenis ikan. Jalur hijau pertama kali dirumuskan pada tahun 1975 melalui SK Dirjen Perikanan Nomor H.I/4/2/18/1975, yang mengatur perlunya dipertahankan areal di sepanjang pantai selebar 400 meter dari rata-rata pasang rendah.

Sebuah Surat Keputusan Bersama (SKB) antara Menteri Pertanian dan Menteri Kehutanan dibuat pada tahun 1984 Nomor KB 550/246/KPTS/1984 dan Nomor 082/KPTS-II/1984, menghimbau pelestarian jalur hijau selebar 200 meter sepanjang pantai, melarang penebangan mangrove di Jawa, serta melestarikan seluruh mangrove yang di pulau-pulau kecil berukuran kurang dari 1000 ha. Jalur hijau diperkuat dengan lahirnya SK Presiden Nomor 32 Tahun 1990 tentang Pengelolaan Kawasan Lindung, dan di dalamnya termuat jalur mangrove pantai minimal 130 kali rata-rata pasang yang diukur ke darat dari titik surut terendah. Di beberapa daerah, konsep Jalur Hijau Mangrove diterapkan melalui peraturan di tingkat daerah.

2. Strategi nasional (Stranas) di bidang pengelolaan mangrove dan Kelompok Kerja Mangrove Nasional (KKMN)

Pada tahun 2004 Strategi Nasional (Stranas) Pengelolaan Mangrove dibuat. Ringkasan pengelolaan mangrove sebagaimana dimaksud dalam Stranas tersebut antara lain seperti yang dipublikasikan oleh Kelompok Kerja Mangrove Nasional (KKMN). Sebagai pengetahuan saja bahwa KKMN merupakan tim kerja lintas sektor/instansi/lembaga swadaya masyarakat pemerhati mangrove yang dibentuk sebagai jembatan penghubung sebelum pembentukan Tim Kerja Koordinasi yang diamanatkan dalam Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove resmi ditetapkan.

Kesepakatan pembentukan KKMN diawali dengan pertemuan pemerhati mangrove untuk kembali mengaktifkan Komite Nasional Mangrove Indonesia sekaligus membentuk upaya koordinasi untuk menyelamatkan ekosistem mangrove. Pertemuan tersebut dilakukan di Departemen Kelautan dan Perikanan pada awal tahun 2006, sebagai langkah awal kebangkitan KKMN, kemudian berturut-turut dilakukan pertemuan di Departemen Dalam Negeri, Bakosurtanal dan Kementerian Lingkungan Hidup yang mengukuhkan secara nyata pembentukan KKMN. Empat instansi utama pengelolaan ekosistem mangrove, yaitu Departemen Kehutanan, Departemen Kelautan dan Perikanan, Departemen Dalam Negeri dan Kementerian Negara Lingkungan Hidup, bersepakat membentuk Kelompok Kerja Mangrove Nasional didukung para pakar dan lembaga swadaya masyarakat terkait pengelolaan mangrove. Seperti diketahui, saat ini Kementerian Kehutanan dan Kementerian Lingkungan Hidup telah menjadi satu kementerian yakni Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Selanjutnya, Stranas pengelolaan mangrove menjabarkan nilai manfaat langsung dan tidak langsung ekosistem mangrove sebagai berikut:

Hasil Hutan Kayu (HHK). Hasil hutan kayu merupakan nilai manfaat langsung (*Direct use value*) yang diberikan oleh ekosistem mangrove kepada masyarakat pengguna sumber daya ekosistem mangrove. Daftar pemanfaatan jenis vegetasi mangrove yang berpotensi untuk dimanfaatkan kayunya berdasarkan Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove 2004 dapat dilihat dalam website KKMN.

Hasil Hutan Non Kayu (HHNK). Hasil hutan non kayu umumnya merupakan hasil hutan yang memberikan nilai manfaat tidak langsung (*Indirect Use Value*) dan hanya sebagai hasil ikutan dari kayu, namun tidak banyak orang atau pihak yang menghitung besarnya nilai ekonomi yang bisa dihasilkan dari manfaat tidak langsung mangrove. Para ahli ekonomi sumber daya hutan mengklasifikasikan manfaat hutan ke dalam beberapa kategori. Beberapa manfaat tidak langsung pada ekosistem mangrove diantaranya:

- Beberapa areal ekosistem mangrove memiliki potensi sebagai habitat lebah penghasil madu. Namun potensi ini oleh sebagian masyarakat belum diketahui teknis pengelolaannya. Vegetasi yang dijadikan sebagai tempat bersarang lebah diantaranya *Avicennia sp.*, *Ceriops spp.* dan *Excocaria agallocha*. Pertanyaannya sekarang adalah berapa besar nilai ekonomi yang dihasilkan dari adanya madu lebah pada ekosistem mangrove untuk setiap daerah atau secara nasional untuk setiap bulan atau per tahunnya?, sehingga perlu dipetakan struktur komunitas di masing-masing wilayah yang potensial.
- Ekosistem mangrove memiliki beberapa jenis tumbuhan yang bermanfaat untuk dijadikan sebagai obat meskipun keberadaannya tidak semua masyarakat mengetahui dan teknis pemanfaatannya masih bersifat tradisional. Sampai saat ini belum ada penelitian khusus mengenai hal itu, informasi yang diperoleh akan sangat

berguna dan sangat membantu dalam proses pengelolaan ekosistem mangrove yang saat ini sedang berjalan. Beberapa jenis tumbuhan mangrove yang berguna sebagai obat telah ditulis dalam banyak laporan.

- Tanin merupakan bahan yang diekstrak dari kulit kayu beberapa jenis mangrove tertentu, yang memiliki beragam manfaat antara lain untuk bahan pembuatan tinta, plastik dan perekat, bahan pencelup untuk pengawet jala ikan serta bahan penyamak kulit. Secara tradisional di Asia Tenggara, tanin ini hanya digunakan oleh nelayan sebagai suatu bahan celup untuk mengawetkan jala ikan. Penggunaan tanin untuk keperluan tersebut hampir punah sejak munculnya jala nilon. Ekstraksi tanin di Indonesia tetap dalam skala kecil, sedangkan di negara-negara Amerika Latin pengambilan tanin dalam skala besar terutama dari kulit kayu *Rhizophora* spp. terus dikembangkan.
- Nipah (*Nypa fruticans*) merupakan salah satu jenis tumbuhan yang mempunyai banyak manfaat, yang umum di temukan pada ekosistem mangrove. Jenis nipah ini mempunyai peran penting dalam kehidupan masyarakat pantai di Indonesia dan di Asia Tenggara. Suku Bajo, Bugis dan Jawa menggunakan daun nipah tua untuk tikar, keranjang, tas, topi dan jas hujan, sedangkan daunnya yang masih muda digunakan untuk pembungkus rokok (di Langkat) dan pembungkus makanan. Biji buahnya yang keras di bakar sebagai bahan makanan, atau dicacah dan direbus untuk menghasilkan garam. Kulit buahnya yang mudah dapat langsung dimakan, direbus atau langsung dapat dibuat manisan. Sedangkan cairan yang manis yang keluar dari bekas potongan tangkai di buat minuman yang beralkohol, cuka dan gula nipah. di Sumatera Selatan, air dari nipah digunakan untuk pembuatan tuak. Produksi alkohol murni dari 1 ha

nipah dapat mencapai 3000 liter dan dengan taksiran 1 juta ha rawa nipah di Indonesia terutama di Kalimantan, Sumatera, dan Irian Jaya, maka potensi ekonomi produksi alkohol murni cukup besar.

- Hutan mangrove berguna sebagai penyedia unsur hara bagi ekosistem mangrove itu sendiri, tempat berlindung dan asuhan bagi anak-anak ikan, dan mendukung secara ekstensif jenis-jenis organisme akuatik lain. Beberapa bentuk pemanfaatan areal mangrove yang dilakukan oleh masyarakat sekitar di antaranya:

1. Perikanan

Usaha dibidang perikanan biasanya pada areal ekosistem mangrove dilakukan dalam dua bentuk yaitu perikanan tangkap dan perikanan budidaya. Kegiatan perikanan tangkap di areal mangrove biasanya dilakukan dalam skala yang beragam. Sumber daya perikanan yang utama di perairan ini adalah ikan pemakan detritus, kepiting, krustase dan moluska. Di Indonesia, nelayan mengeksploitasi wilayah ini dengan menggunakan alat tangkap tradisional seperti perangkap ikan, "bubu", pancing jala dan insang; yang menghasilkan tingkat produksi perorangan yang rendah. Banyak jenis udang yang di dapat dari perikanan tangkap merupakan jenis-jenis yang tergantung pada keberadaan hutan mangrove (misalnya *Penaeus merguensis*, *P. monodon* dan *Metapenaeus* spp). Bentuk yang paling umum budidaya perairan di pantai Indonesia adalah kolam budidaya atau tambak yang di laksanakan secara luas di Jawa, Sumatera, Sulawesi Selatan dan Kalimantan. Produksi udang air payau di Indonesia (*Penaeus monodon*, *P. fabricus*, *P. merguensis* dan *Metapenaeus* spp.) meningkat dari 27.595 ton pada tahun 1983 hingga puncaknya

yaitu pada tahun 1991 dengan produksi mencapai 140.131 ton. Rata-rata pertumbuhan tahunan pada periode tersebut adalah 24 % dan tertinggi pada tahun 1987 yaitu 47 %. Pada tahun 1995 hasilnya menurun menjadi 79.494 ton. Penurunan tersebut berkaitan dengan menurunnya laju pertumbuhan industri ini dan meningkatnya penyakit pada udang tambak. Hasil survei di Sumatera Utara menunjukkan bahwa produktivitas tambak yang tinggi yaitu 6 ton/ha, jumlah produksi ini tidak dapat dipertahankan, sampai pada akhirnya lahan tambak ditinggalkan. Ada satu pola pemanfaatan perikanan budidaya yang berada di areal ekosistem mangrove dengan maksud pengelolaan dengan tetap memperhatikan kelestarian ekosistem mangrove yaitu *Silvofishery*.

2. Pertanian

Potensi untuk pertanian meningkat ke arah darat karena pengaruh penggenangan, pasang berkurang, tingkat salinitas, keasaman dan kondisi-kondisi yang berpotensi mengandung asam sulfat berkurang dan jumlah air tawar yang menggenangi tanah meningkat. Rawa-rawa air tawar sering terdapat di belakang rawa-rawa mangrove memiliki beberapa potensi untuk pengembangan sawah beririgasi, salah satunya menggunakan tenaga hidrolik untuk mengangkat air tawar ke dalam sawah pasang surut atau dengan pola irigasi teknis secara penuh. Salah satu pemanfaatan pertama atas hutan mangrove yang tidak melibatkan penanaman budidaya atau menyebabkan kerusakan hutan secara besar adalah pengambilan daun pohon mangrove untuk makanan ternak.

Kambing sangat menyukai daun *Rhizophora* spp. dan bahkan daun yang sudah tua.

- Tidak banyak orang atau masyarakat yang berada di sekitar ekosistem mangrove mengetahui dan tahu cara memanfaatkan potensi sumber daya ekosistem mangrove untuk kegiatan wisata berbasis lingkungan. Bila kita perhatikan, perkembangan wisata di dunia sebagian besar merupakan kegiatan ekowisata hanya saja masyarakat cenderung kurang menyadari. Potensi flora dan fauna mangrove dapat dikembangkan untuk kegiatan ekowisata salah satunya adalah wisata pengamatan satwaliar, pada kelas aves lebih dikenal dengan wisata *bird watching*. Kegiatan lain yaitu outbond, potensi kegiatan yang satu ini masih belum begitu berkembang disebabkan oleh berbagai faktor. Kegiatan ekowisata dapat dilakukan dengan membuat paket wisata yang terdiri dari beberapa rangkaian kegiatan termasuk kegiatan silvikultur mangrove (penanaman). Belum ada penghitungan berapa besar manfaat atau nilai ekonomi yang dihasilkan dari sektor HHNK yang satu ini, tetapi di sejumlah daerah telah memulai pengembangan eko-wisata mangrove, dan potensinya sangat menjanjikan.

Sebagai catatan, pada tahun 2012 dikeluarkan Peraturan Presiden Nomor 73 Tahun 2012 tentang Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove atau yang disingkat SNPEM. Paling tidak peraturan ini memberikan gambaran seperti apa arah kebijakan pengelolaan ekosistem mangrove di Indonesia.

3. Peraturan-peraturan

Sebelumnya dikenal sebuah peta Tata Guna Hutan Kesepakatan (TGHK) yang dikeluarkan oleh Departemen Pertanian pada tahun 1982.

Dalam TGHK berskala 1 : 500.000 diatur pembagian lahan untuk kategori areal konservasi dan perlindungan alam meliputi:

- Hutan lindung,
- Hutan produksi terbatas dan biasa,
- Hutan konversi,
- Tak terklasifikasi (hak milik, hak milik adat, hak pengelolaan).

Mangrove dapat menjadi bagian dari keseluruhan kategori tersebut, dan dalam praktek, beberapa instansi mengkategorikan mangrove terpisah dari yang lain. Saat itu, peta TGHK dijadikan dasar bagi pemerintah daerah dalam pembuatan perencanaan tata ruang. Dengan keluarnya Undang Undang Nomor 24 tahun 1992, fungsi peta TGHK tergantikan. Pada tingkat daerah, Undang Undang ini mengamanatkan adanya pengembangan program perencanaan tata ruang.

Undang-Undang hingga perangkat aturan operasional belum tersedia secara memadai terkait dengan pengelolaan mangrove secara komprehensif. Berikut sejumlah peraturan yang dapat berkaitan langsung maupun tidak langsung dengan pengaturan atau pengelolaan mangrove, yakni:

1. Undang-Undang Dasar Tahun 1945 (pasal 33 ayat 3),
2. Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1967, tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Agraria;
3. Undang-Undang Nomor 11 Tahun 1974, tentang Perairan,
4. Undang-Undang Nomor 9 Tahun 1985, tentang Perikanan,
5. Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1990, tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistem,
6. Undang-Undang Nomor 9 Tahun 1990, tentang Keparawisataan,
7. Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1994 tentang Pengesahan United Nations Convention On Biological Diversity (Konvesi

Perserikatan Bangsa-Bangsa Mengenai Keanekaragaman Hayati).

8. Undang-Undang Nomor 6 tahun 1994 tentang United Nations Framework Convention on Climate Change (Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa Mengenai Perubahan Iklim).
9. Undang-Undang Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan yang telah diubah menjadi Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2004 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2004 tentang Perubahan Undang-Undang Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan menjadi Undang-Undang.
10. Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air.
11. Undang-Undang Nomor 25 Tahun 2004 tentang Sistem Perencanaan Pembangunan Nasional.
12. Undang-Undang Nomor 31 Tahun 2004 tentang Perikanan yang telah diubah dengan Undang-Undang Nomor 45 Tahun 2009.
13. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2004 tentang Pemerintahan Daerah yang telah diubah dengan Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2008, Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2014, kemudian Undang-Undang Nomor 9 Tahun 2015 tentang Perubahan Kedua Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2014.
14. Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang
15. Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil yang telah direvisi dengan Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2018.
16. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

17. Undang- Undang Nomor 18 Tahun 2013 tentang Pencegahan dan Pemberantasan Perusakan Hutan.
18. Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 1985 tentang Perlindungan Hutan.
19. Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 1986 tentang Analisis Mengenai Dampak Lingkungan.
20. Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tahun 1990 tentang Usaha Perikanan.
21. Peraturan Pemerintah Nomor 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air.
22. Peraturan Pemerintah Nomor 27 Tahun 1991 tentang Rawa.
23. Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 1991 tentang Sungai.
24. Peraturan Pemerintah Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil.
25. Peraturan Pemerintah Nomor 45 Tahun 2004 tentang Perlindungan Hutan.
26. Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2007 tentang Pembagian Urusan Pemerintahan, antara Pemerintah, Pemerintahan Daerah Provinsi dan Pemerintahan Daerah Kabupaten/Kota.
27. Peraturan Pemerintah Nomor 60 Tahun 2007 tentang Konservasi Sumber Daya Ikan.
28. Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2008 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional.
29. Peraturan Pemerintah Nomor 76 tahun 2008 tentang Reklamasi dan Rehabilitasi Hutan.
30. Keputusan Presiden Nomor 57 Tahun 1989 tentang Tim Koordinasi Pengelolaan Tata Ruang Nasional.

31. Keputusan Presiden Nomor 32 Tahun 1990 tentang Pengelolaan Kawasan Lindung.
32. Peraturan Presiden Nomor 73 Tahun 2012 tentang Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove.
33. Peraturan Presiden Nomor 88 Tahun 2017 tentang Penyelesaian Penguasaan Tanah Dalam Kawasan Hutan.
34. Peraturan perundangan lainnya pada tingkat operasional seperti keputusan menteri, peraturan daerah, dll.

4. Catatan dalam penegakan hukum

Untuk memberikan gambaran bagaimana penerapan hukum telah dilakukan terkait pengelolaan ekosistem mangrove, beberapa kasus hukum yang telah berkekuatan hukum tetap dianalisis. Hasil analisis diringkas seperti pada Tabel 9.1.

Tabel 9.1. Deskripsi kasus hukum terkait pengelolaan mangrove yang telah diputuskan di pengadilan.

No. Putusan	Perbuatan	Putusan Pengadilan
No. 186 K/Pid.Sus /2013	Menebang mangrove jenis api-api dan dikonversi menjadi tambak di Kawasan Konservasi Hutan Mangrove di Kelurahan Kejawan Putih Tambak, Kecamatan Mulyorejo, Surabaya	<p>Terbukti dengan sengaja melakukan cara atau metode yang merusak mangrove yang tidak sesuai dengan karakteristik wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil, dan menghukum terdakwa dengan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pidana penjara selama 2 bulan, - Denda 2 miliar rupiah atau diganti dengan pidana kurungan penjara selama 3 bulan, - Barang bukti dirampas oleh Negara, - Menanggung biaya perkara. <p>Catatan: peraturan yang digunakan sebagai pertimbangan; pasal 73 ayat (1) huruf b jo. Pasal 35 Huruf e, f, g UU No. 27 Tahun 2007.</p>

No. 525 K/Pid.Sus /2013	Menebang pohon mangrove di Kawasan Konservasi Hutan Mangrove di Kelurahan Kejawan Putih Tambak, Kecamatan Mulyorejo Surabaya	Menolak permohonan kasasi Jaksa Penuntut Umum; artinya tidak ada perbuatan pidana yang dilakukan terdakwa. Catatan: penerapan hukum sudah benar oleh majelis hakim PN Surabaya karena: kayu api-api tumbuh di tanah oloran milik terdakwa, tidak termasuk kawasan konservasi mangrove, dll.
No. 279/Pid.S us/2014/P N Bwi.	Menebang dua batang kayu rimba jenis kricak, pohon mangrove jenis tanjang di Zona Rehabilitasi Taman Nasional Alas Purwo	Terbukti secara sah dan meyakinkan bersalah melakukan tindak pidana “Tanpa hak dengan sengaja melakukan kegiatan yang tidak sesuai dengan fungsi zona pemanfaatan dan zona lain dari Taman Nasional, Taman Hutan Raya dan Taman Wisata Alam, dan menghukum terdakwa dengan: - Pidana penjara 1 tahun, - Denda 1 juta rupiah atau diganti dengan pidana kurungan penjara selama 1 bulan, - Barang bukti dirampas oleh Negara, - Menanggung biaya perkara. Catatan: peraturan yang digunakan sebagai pertimbangan; pasal 33 ayat (3) jo. pasal 40 ayat 2 UU No. 5 Tahun 1990.
No. 2931 K/PID.SU S/2015	Menebang kayu mangrove di wilayah yang masih dipersengketakan antara Terdakwa dan Kementerian Lingkungan Hidup	Menolak permohonan kasasi jaksa Penuntut Umum karena batas lahan masih dipersengketakan di pengadilan.
Nomor 943 K/PID.SU S.LH/201 6	Menebang pohon mangrove untuk pembuatan tambak sehing merugikan Perum Perhutani	Menolak permohonan kasasi Terdakwa (terbukti dengan sengaja menebang pohon mangrove dalam kawasan hutan tanpa memiliki ijin yang dikeluarkan oleh pejabat yang berwenang), dan menghukum terdakwa untuk menanggung biaya perkara. Catatan: peraturan yang digunakan sebagai pertimbangan; pasal 82 ayat (2) pasal 12 huruf c UU No. 18 Tahun 2013.

Berdasarkan beberapa contoh putusan hukum perkara pidana khusus yang diringkas seperti pada Tabel 9.1, dapat disimpulkan bahwa suatu perkara

hukum pidana penebangan mangrove dinyatakan sah sebagai perbuatan pidana bila dilakukan pada suatu kawasan yang telah memiliki status hukum yang jelas (contoh: Taman Nasional, Kawasan Konservasi, dll.). Pada dua contoh kasus yang pertama (Perkara No. No. 186 K/Pid.Sus/2013 dan No. 525 K/Pid.Sus/2013) meskipun keduanya berada di kelurahan yang sama tetapi lokasi penebangan kedua perkara tersebut berbeda dimana kasus yang pertama benar-benar berada di kawasan konservasi mangrove sementara kasus yang kedua berada di lokasi tanah oloran yang menjadi milik terdakwa. Secara umum, mempelajari isi putusan masing-masing perkara, masih ditemukan pemahaman tentang mangrove sebagai tumbuhan maupun ekosistem yang keliru. Contoh-contoh putusan tersebut juga memberi gambaran bahwa tindakan penebangan pohon mangrove di kawasan-kawasan yang belum berstatus atau tanpa pengaturan yang jelas dapat dikategorikan bukan sebagai perbuatan pidana. Upaya pengelolaan mangrove yang telah dilakukan oleh Pemerintah Kota Surabaya melalui penetapan kawasan lindung mangrove (Pasal 38 ayat 1 Peraturan Daerah No. 3 Tahun 2007 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah) menjadi sebuah contoh keseriusan pemerintah daerah dalam memberikan perlindungan terhadap fungsi dan manfaat ekosistem mangrove.

B. Tragedi properti publik (*tragedy of common properties*)

Era hingga tahun 1990 sangat menyedihkan bagi keberadaan dan pengelolaan ekosistem mangrove di Indonesia. Berlaku pemahaman yang sangat umum di tengah masyarakat bahwa ekosistem ini berada di ruang publik dan menjadi milik semua orang. Pemahaman ini muncul karena pandangan bahwa hutan mangrove berada di ruang yang tak bertuan dan tegakan mangrove di dalamnya tumbuh secara alami. Akibatnya, penebangan pohon mangrove dilakukan secara tidak terkendali, lahan-lahan mangrove menjadi terbuka atau

dikonversi untuk peruntukan yang lain, dan sebagian besar bekas tebang yang telah mengalami perubahan fisik menjadi terlantar. Saat itu, kepedulian terhadap pelestarian ekosistem mangrove masih sangat rendah sehingga upaya perlindungan dan rehabilitasi hanya dilakukan terbatas oleh kelompok kecil yang peduli.

Di beberapa daerah, kepemilikan ekosistem mangrove (hutan mangrove) diklaim sebagai kepemilikan komunal dan ada yang dimasukkan sebagai properti desa. Pada sejumlah kasus, model kepemilikan seperti ini telah memfasilitasi kerusakan mangrove karena akses memanfaatkan diberikan ke banyak orang tanpa aturan yang jelas, dan prinsip-prinsip pengelolaan berkelanjutan tidak dipahami atau diabaikan. Sepanjang mangrove dimanfaatkan oleh komunitas dan atau mendapat restu dari pemerintah desa maka mangrove dapat dieksploitasi.

Praktek pemanfaatan mangrove dengan cara kepemilikan umum atau komunal menimbulkan banyak konflik. Semua orang berlomba untuk memanfaatkan dan semua orang merasa berkuasa untuk memutuskan apapun. Maka, hal yang terjadi adalah klaim-mengklaim ruang yang kemudian memunculkan persoalan antar berbagai pihak berkepentingan. Persoalan biasanya tidak mudah diselesaikan karena tidak ada aturan yang dipegang bersama untuk ditaati. Pada beberapa kasus yang ekstrim, pihak tertentu termasuk aparat desa memperjualbelikan hutan mangrove kepada pihak tertentu dan menimbulkan konflik dengan anggota masyarakat yang lain.

C. Stabilitas lahan mangrove

Habitat mangrove tergolong sangat dinamis, berada di zona intertidal antara darat dan laut, terpengaruh oleh input daratan dan faktor-faktor oseanografi yang terjadi di zona tersebut. Kondisi habitat yang dinamis menyebabkan komunitas mangrove jarang sekali ditemukan mencapai tingkat perkembangan

optimum yang dicirikan oleh tegakan-tegakan berukuran besar atau tegakan tua dalam kondisi dieback, meskipun ukuran besar-kecilnya tegakan tidak mutlak mencerminkan umur tegakan. Oleh karena kondisi habitat mangrove sering berubah, maka tidak mengherankan jika kita sering menemukan komunitas mangrove tumbuh bergantian sebelum mencapai tingkat matang. Pada situasi perubahan fisik yang ekstrem komunitas mangrove bisa hilang, atau dalam kasus perubahan habitat menjadi daratan, komunitas mangrove tergantikan oleh vegetasi daratan. Seiring pertumbuhan populasi penduduk dengan segala perkembangan aktivitas pembangunan menyebabkan tekanan dan gangguan pada habitat mangrove semakin berat dan kompleks.

Abrasi dan sedimentasi merupakan dua proses di pantai yang dapat berpengaruh langsung terhadap keberadaan mangrove di suatu tempat. Abrasi dan sedimentasi di zona pantai terutama diperankan oleh arus susur pantai yang tercipta saat gelombang pecah di pantai dengan sudut tertentu. Arus susur pantai dengan kecepatan tertentu mampu memindahkan sedimen dari suatu tempat di wilayah pantai ke tempat lain searah dengan arah arus yang bergerak sejajar garis pantai. Arus balik (*rip current*) juga dapat memainkan peran penting dalam hal pengangkatan sedimen dari pantai ke laut. Arus ini terjadi karena pembiasan arah gelombang di titik tertentu berbentuk cekungan di pantai yang kemudian menciptakan dua arah arus susur pantai yang saling bertemu dan melepaskan energi dalam bentuk gerakan massa air laut balik menuju ke laut. Suatu tempat di pantai bisa mengalami dua proses sekaligus yaitu abrasi dan sedimentasi. Bagian lahan mangrove yang mengalami abrasi akan kehilangan sedimen permukaan atau bila tipe sedimennya adalah sedimen lepas berfraksi dominan pasir maka pohon akan tumbang. Jika abrasi berlangsung sangat aktif dan vegetasi mangrove masih bisa hidup karena perakarannya masih mampu menopang tegakan untuk berdiri dan melangsungkan proses metabolisme maka yang terjadi adalah sedimen mangrove dapat berupa fraksi

batu kerikil kasar atau terumbu karang mati yang tersingkap. Pada kondisi seperti ini, proses regenerasi akan mengalami hambatan. Lahan yang mengalami sedimentasi juga menimbulkan permasalahan pada tegakan mangrove. Bila laju sedimentasi berlangsung cepat maka pertumbuhan mangrove akan terhambat dan perlahan akan mati ketika akar tumbuhan telah tertimbun.

Selain faktor-faktor oseanografis seperti yang telah dijelaskan, abrasi pada lahan atau habitat mangrove dapat terjadi karena pembukaan lahan mangrove terutama akibat penebangan. Hilangnya tegakan mangrove menyebabkan kecepatan pergerakan air saat surut dan pasang meningkat sehingga sedimen halus dan ringan terangkut ke luar dari lahan yang terbuka. Tegakan mangrove yang padat dengan sistem perakaran yang banyak dan menancap ke dalam substrat menyebabkan sedimen terperangkap di antara perakaran mangrove. Kondisi ini berbeda ketika lahan menjadi terbuka. Sedimen bagian permukaan sangat mudah terlepas dan terbawa oleh masa air pasang surut.

Sedimentasi pada lahan mangrove terjadi akibat akumulasi materi sedimen pada suatu tempat. Di zona belakang dekat daratan, sedimen yang terangkut lewat air permukaan dan air tanah terutama saat musim hujan dapat terakumulasi dan mengangkat permukaan lahan. Bila perombakan lahan daratan dekat mangrove terjadi maka suplai sedimen yang memasuki lahan mangrove dapat terjadi secara masif dan dapat membunuh vegetasi di zona yang mengalami sedimentasi. Proses sedimentasi seperti ini nampak nyata pada habitat mangrove yang berbatasan dengan daratan bertopografi perbukitan atau lahan daratan dengan kontur miring hingga terjal. Habitat mangrove yang dibatasi oleh beting (*sandbar*) di sebelah laut juga mengalami proses sedimentasi yang cepat karena karakter morfologisnya. Perubahan yang cepat akibat sedimentasi juga dialami oleh habitat mangrove yang berlokasi dekat muara sungai.

D. Kegagalan rehabilitasi dengan cara penanaman artifisial

Penulis memiliki pandangan yang sama dengan Field (1999) dalam mendefinisikan rehabilitasi. Rehabilitasi suatu ekosistem adalah upaya penggantian struktur dan fungsi suatu ekosistem yang telah berkurang atau hilang, atau penggantian kualitas dan karakteristik yang berbeda dari kondisi sebelumnya menjadi lebih bernilai secara sosial, ekonomi, dan ekologi. Sementara itu, restorasi suatu ekosistem merupakan bentuk khusus rehabilitasi yang tujuannya untuk mengembalikan suatu kondisi ke kondisi yang mendekati kondisi semula. Dalam Bab 8 telah diuraikan bagaimana suatu upaya atau kegiatan rehabilitasi dirancang dengan tujuan tertentu. Melaksanakan suatu upaya rehabilitasi harus benar-benar ditopang pengetahuan tentang mangrove itu sendiri dan juga penguasaan teknis lapangan yang benar.

Program rehabilitasi mangrove telah berlangsung sangat extensif di berbagai tempat di dunia (Field, 1999), dan di Asia Tenggara kebanyakan upaya rehabilitasi menggunakan pendekatan coba-coba (*try and error*) tanpa kerangka kerja yang terintegrasi, dasar informasi ekologis, serta pertimbangan pelibatan masyarakat. Akibatnya, sedikit dari program-program yang dilaksanakan berhasil (Aksornkoe, 1996; Al-khayat & Jones, 1999; Bandaranayake, 1998). Menurut Brown dkk. (2014) upaya rehabilitasi mangrove di Indonesia banyak mengalami kegagalan, dan faktor penyebab utamanya adalah karena kesalahan pandangan bahwa rehabilitasi mangrove dapat dilakukan dengan mudah melalui penanaman utamanya menggunakan bibit jenis marga *Rhizophora*. Salah satu program masif yang dapat dijadikan pembelajaran yaitu restorasi pantai dan penanaman mangrove di Aceh pasca tsunami 26 Desember 2004 dimana sekitar 27.532 ha wilayah pantai dialokasikan untuk penanaman mangrove. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan program masih jauh dari harapan, dan faktor penyebabnya antara lain kondisi lingkungan yang mengalami perubahan, kesalahan memilih lokasi, persiapan dan pengalaman

yang kurang, lemahnya koordinasi dan ketidakjelasan perencanaan ruang (Wibisono dkk., 2006).

Banyak fakta lapangan menunjukkan bahwa upaya rehabilitasi mangrove di Indonesia dari skala kecil, sedang hingga besar banyak mengalami kegagalan. Tetapi sedikit sekali laporan pelaksanaan kegiatan yang menerangkan terjadi kegagalan dan penyebabnya. Padahal praktisi lapangan sangat memerlukan informasi-informasi tersebut untuk perbaikan dalam kerja-kerja mereka. Hingga saat ini, masih banyak kegiatan rehabilitasi masih sangat bersifat seremonial yang pada tingkat tertentu tujuannya adalah ingin mengajak lebih banyak orang untuk prihatin dan peduli terhadap kondisi ekosistem mangrove yang semakin memprihatinkan atau paling tidak harapannya agar semakin lebih banyak orang turut serta dalam upaya menjaga kelestarian sumber daya mangrove. Pada skala pelaksanaan proyek rehabilitasi, banyak evaluasi menunjukkan bahwa kegiatan rehabilitasi dalam bentuk penanaman artifisial sudah dilakukan berulang di lokasi yang sama, bahkan dengan metode yang sama pula. Kondisi seperti ini membuktikan bahwa upaya rehabilitasi masih sebatas berapa banyak benih yang ditanam pada luasan kawasan tertentu, bukan berapa banyak benih yang ditanam dapat tumbuh dan berkembang dan seberapa cepat laju pemulihan alami terjadi selang waktu tertentu pasca penanaman.

Penanaman artifisial dapat dikonsepsikan sebagai upaya untuk konservasi lahan bekas mangrove alami. Artinya, benih mangrove yang ditanam dan berhasil tumbuh pada tingkat awal dapat memainkan peran dalam perlindungan lahan mangrove dari proses abrasi yang dapat menggerus substrat permukaan. Sistem perakaran mangrove dapat memainkan peran dalam mereduksi abrasi pada lahan mangrove yang terbuka. Konsep penanaman artifisial dapat juga dipahami sebagai upaya menciptakan kondisi yang cocok (mikro habitat) bagi spesies mangrove alami untuk memanfaatkan peluang tumbuh dan berkembang. Dalam Bab 3 telah dibahas secara mendalam bagaimana karakteristik fisik

lahan dan dinamika biogeokimia yang berlangsung pada substrat mangrove dalam hubungannya dengan vegetasi mangrove. Proyek atau suatu upaya rehabilitasi lahan mangrove melalui penanaman artifisial tidak bisa dikatakan gagal jika yang kemudian terjadi adalah ”*spesies yang ditanam memfasilitasi hadirnya spesies alami*”, sebagaimana dicontohkan pada Bab 8 untuk kasus di Desa Tiwoho. Masih sangat sering ditemukan dalam observasi lapangan dimana lahan bekas penanaman ditinggalkan begitu saja tidak terpantau apalagi dirawat. Vegetasi mangrove yang ditanam dan telah bertumbuh membentuk komunitas mangrove baru kembali ditebang, dan ada juga lahan yang telah direhabilitasi kemudian dialihfungsikan.

Jika memang keputusan rehabilitasi suatu lahan mangrove ditetapkan untuk dilakukan melalui penanaman artifisial berdasarkan pertimbangan ekologis dan teknis, maka harus dipastikan bahwa tujuan rehabilitasi benar-benar dicapai. Sudah saatnya kita meninggalkan segala bentuk praktek penanaman artifisial yang hanya sebatas melaporkan jumlah benih dan luasan areal tanam saja. Upaya rehabilitasi lahan mangrove melalui penanaman artifisial merupakan bentuk intervensi manusia yang pada batasan tertentu adalah membantu pemulihan alami yang lambat atau terhambat dengan menghadirkan tumbuhan mangrove spesies tertentu. Jika benih mangrove yang ditanam berhasil tumbuh dan berkembang, maka proses selanjutnya kita serahkan kepada proses alamiah regenerasi mangrove yang dinamikanya jauh dari jangkauan kontrol kita. Bentuk pengelolaan mangrove secara berkelanjutan harus hadir untuk menjamin keberhasilan suatu upaya rehabilitasi.

E. Rehabilitasi mangrove secara ekologis (*Ecological Mangrove Rehabilitation*)

Telah dijelaskan sebelumnya dalam Bab 4 bahwa hampir semua spesies mangrove menghasilkan benih/propagule yang mengapung sehingga media air menjadi penting dalam persebaran mangrove. Kondisi oseanografi perairan

Indonesia saat ini memungkinkan persebaran mangrove melalui pergerakan air laut menjangkau hampir setiap wilayah pantai Indonesia. Juga tidak mengherankan bila saat ini komunitas mangrove bisa dijumpai di berbagai tempat pesisir pantai Nusantara. Benih mangrove yang mengapung mampu bertahan hidup selama beberapa hari hingga berbulan-bulan bagi spesies tertentu. Lebih jauh dari itu, ada fakta bahwa pada beberapa spesies mangrove, benih yang terbawa arus laut dan tertambat pada suatu lokasi tertentu, ternyata masih memiliki kemampuan untuk mengapung kembali dan tetap hidup hingga kemudian tiba pada suatu tempat lain dimana kondisinya mendukung benih tersebut untuk tumbuh. Oleh karena itu, faktor ketersediaan benih alami dapat dianggap bukan sebagai persoalan atau pembatas bagi pemulihan alami lahan-lahan bekas mangrove. Apalagi pada tempat-tempat dimana komunitas mangrove alami masih ada dan terus menghasilkan benih-benih alami yang sehat. Pertanyaannya, kenapa lahan-lahan bekas mangrove yang terbuka tidak serta merta ditumbuhi kembali vegetasi mangrove?, apakah benih-benih alami tidak pernah tiba di lokasi-lokasi tersebut?, atau kenapa jika merekapun tiba di lokasi-lokasi tersebut tidak bisa tumbuh?, atau jikapun ditanam dengan spesies mangrove tertentu kenapa selalu gagal?. Jawabannya adalah sederhana yaitu bahwa spesies mangrove hanya tumbuh pada tempat yang cocok baginya untuk tumbuh. Tempat-tempat terbuka yang pernah ditumbuhi mangrove secara alami dan kemudian tidak segera mengalami pemulihan sangat mungkin telah berubah dari kondisi alaminya dan perubahan ini menciptakan suatu kondisi baru yang tidak cocok bagi benih mangrove alami yang tersedia untuk tumbuh. Sayangnya, seiring waktu perubahan fisik pada lahan yang terjadi justru semakin jauh dari kondisi habitat ideal bagi spesies mangrove untuk tumbuh. Pada sejumlah kasus yang ditemukan di lapangan, intervensi penanaman artifisial justru mengambil alih proses regenerasi alami yang masih berpeluang terjadi. Atau jikapun suksesi sekunder alamiah sulit terjadi dan penanaman

artifisial kemudian menggantikan proses tersebut, maka komunitas mangrove yang berhasil tumbuh dan berkembang miskin spesies bahkan homogen. Kenapa demikian? karena benih yang selalu ditanam pada umumnya berupa propagule marga *Rhizophora*. Alasannya sangat klasik yaitu propagule spesies marga ini relatif banyak dan mudah disemaikan.

Sudah saatnya memikirkan dan mengganti metode rehabilitasi dengan mengedepankan pendekatan ekologis. Kita mungkin sulit mengembalikan kondisi mangrove yang telah berubah untuk bisa kembali pulih sebagaimana kondisi alaminya terutama dalam hal komposisi spesies. Tetapi beberapa pendekatan teknis di lapangan dapat dilakukan untuk mendorong terciptanya komunitas mangrove yang komposisi spesiesnya mendekati kondisi alami. Pada banyak kasus kegagalan penanaman dengan memaksakan spesies mangrove tertentu untuk tumbuh, terutama pada lahan-lahan yang hidrologinya telah mengalami perubahan baik karena faktor alami atau buatan manusia, masih dapat diperbaiki dengan pendekatan restorasi hidrologi sebagaimana dijelaskan pada Bab 8. teknik ini telah dicobakan dan berhasil, salah satunya pada lahan mangrove bekas tambak di Desa Tiwoho, Taman Nasional Bunaken. Suksesi mangrove dapat berlangsung secara alamiah pasca perbaikan hidrologi lahan. Hasilnya, komunitas mangrove yang terbentuk sama dengan komunitas mangrove alami di sekitar lahan restorasi. Upaya rehabilitasi seperti ini dapat pula dipandang sebagai upaya konservasi spesies mangrove. Kelebihan lainnya adalah bahwa komunitas mangrove yang berhasil tumbuh dan berkembang lebih memiliki kemampuan untuk menghadapi tekanan perubahan fisik habitat dan gangguan alamiah lainnya.

F. Pengelolaan mangrove berbasis komunitas (*Community-based mangrove management*)

Pengelolaan mangrove berbasis komunitas dapat menjadi salah satu alternatif pengelolaan yang tepat untuk diaplikasikan pada sumber daya

mangrove yang berada dekat pemukiman masyarakat atau yang biasa diakses oleh masyarakat untuk berbagai tujuan. Tanpa suatu pengaturan, sumber daya mangrove seperti ini biasanya mengalami tekanan yang berat atau kerusakan karena semua orang akan merasa bisa melakukan apa saja yang ingin dilakukan.

Satu contoh berhasil terkait implementasi pengelolaan mangrove berbasis masyarakat yakni di Desa Tiwoho. Desa ini terletak di Kecamatan Wori, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara. Masyarakatnya kebanyakan berprofesi sebagai petani dan nelayan atau kedua-duanya. Persoalan mendasar yang dihadapi masyarakat yakni menyangkut akses memanfaatkan sumber daya alam yang sudah sangat terbatas oleh karena wilayah sekitar Desa bagian daratan merupakan areal Hutan Lindung Gunung Tumpa dan kebun masyarakat seluas 120 ha telah dialihfungsikan menjadi lahan Hak Guna Bangunan kepada pihak swasta sejak tahun 1986. Wilayah pesisir dan laut termasuk dalam kawasan Taman Nasional Bunaken sejak tahun 1991. Pertanyaannya, bagaimana masyarakat dengan profesi sebagai petani dan nelayan bisa melangsungkan kehidupan mereka?

Tidak dapat dihindari bahwa pada kondisi seperti yang dihadapi Masyarakat Desa Tiwoho, mereka akan tetap memanfaatkan sumber daya alam termasuk sumber daya mangrove sekitar 65 ha di wilayah pesisir. Sejak lama masyarakat telah memanfaatkan mangrove untuk berbagai keperluan antara lain: keperluan kayu bakar, tegakan besar *Sonneratia alba* dimanfaatkan kayunya untuk pembuatan perahu dan bahan konstruksi rumah, kayu berukuran kecil *Rhizophora* spp. dimanfaatkan untuk pembuatan pagar rumah, daun *S. alba* diambil untuk pakan kambing, daun *Nypa fruticans* dimanfaatkan untuk membuat atap rumah, kepiting mangrove dan beberapa spesies kerang diambil oleh ibu-ibu dan anak-anak terutama saat laut dalam keadaan tidak bersahabat dan nelayan sukar melaut, dll. Pada tahun 1992 atau satu tahun setelah penetapan kawasan Taman Nasional Bunaken, masyarakat membantu sebuah

perusahaan untuk menebang mangrove seluas sekitar 20 ha untuk dijadikan tambak. Akibatnya, sumber daya mangrove di Desa ini mengalami kerusakan berat dimana sebagian besar vegetasinya ditebang, lahan mangrove menjadi terbuka, pesisir pantai tepat di depan Desa mengalami abrasi, dan banjir rob sering menggenangi bagian Desa yang rendah.

Mempertimbangkan kondisi kesejahteraan masyarakat dan keberlangsungan layanan sumber daya alam yang ada di sekitar mereka, sekitar tahun 2000 KELOLA (Kelompok Pengelola Sumber daya Alam, organisasi lingkungan, melakukan pendampingan dan memperkenalkan konsep pengelolaan sumber daya alam berbasis masyarakat. Pendidikan konservasi dikembangkan melalui proses pendidikan informal dalam bentuk kegiatan seperti pemetaan sumber daya alam, inventarisasi spesies, dan penguatan kelembagaan dalam masyarakat. Secara formal, pendidikan lingkungan hidup diintroduksi ke dalam mata pelajaran anak sekolah tingkat dasar dalam Mata Pelajaran Muatan Lokal melalui pengembangan kurikulum dengan pendekatan teori (Bahan Ajar) dan praktek langsung di lapangan. Melalui pendidikan formal telah hadir generasi-generasi yang memahami dengan baik kondisi sumber daya alam yang ada di sekitar tempat tinggal mereka. Selanjutnya, kesepakatan-kesepakatan dimulai dari hal paling sederhana hingga yang besar dan berdampak langsung terhadap kebiasaan masyarakat didiskusikan dan disepakati. Kehadiran ekosistem mangrove adalah penting bagi masyarakat secara ekologis dan ekonomis, merupakan konsep pandangan yang terbangun seiring waktu. Turunan dari pandangan tersebut adalah bahwa merusak sumber daya alam tidak hanya semata-mata tindakan yang melanggar aturan yang berlaku tetapi juga dapat mengancam keberlangsungan kehidupan masyarakat. Sejalan dengan itu, masyarakat bersepakat untuk melindungi keberadaan ekosistem mangrove di sekitar mereka dengan menghentikan penebangan dan melarang pihak manapun untuk membuka lahan mangrove untuk tujuan

apapun. Dengan dipimpin oleh tokoh-tokoh masyarakat, segenap komponen masyarakat termasuk anak sekolah terlibat dalam pengawasan dan upaya rehabilitasi habitat mangrove yang telah rusak. Hasilnya, kondisi mangrove di Desa ini terus membaik dan hampir seluruh lahan terbuka kembali ditutupi vegetasi mangrove. Desa terhindar dari abrasi dan banjir rob. Masyarakat dapat memanfaatkan ketersediaan kepiting mangrove, kerang-kerangan, dan daun Nipah untuk pembuatan atap rumah. Masyarakat juga memanfaatkan sejumlah komponen spesies mangrove tertentu untuk dijadikan bahan makanan. Belakangan, dengan membaiknya kondisi mangrove, nelayan kembali bisa menangkap ikan roa (sebutan lokal di Manado) atau galafea (sebutan orang Maluku Utara) atau julung-julung *Hemirhamphus brasiliensis*) atau Garfish dalam Bahasa Inggris, yang telah lama hilang. Sejak beberapa tahun belakangan, Desa ini menjadi lokasi belajar lapangan, lokal hingga manca negara, terutama menyangkut pemanfaatan mangrove secara berkelanjutan, rehabilitasi mangrove melalui penanaman artifisial dan restorasi hidrologi. Pada September 2016, mangrove di Desa ini menjadi lokasi kunjungan peserta "The 9th International Blue Carbon Scientific Working Group (IBCSWG) Meeting and the Indonesian Blue Carbon Science-Policy Dialogue". Sebagai informasi tambahan, di Desa ini telah dibangun Pusat Belajar Mangrove Daseng Lolaro sejak tahun 2004. Pada Gambar 9.1 ditampilkan berbagai contoh kegiatan yang dilaksanakan di Desa Tiwoho berkaitan dengan pengelolaan mangrove oleh masyarakat.



Gambar 9.1. Pengelolaan ekosistem mangrove berbasis masyarakat di Desa Tiwoho: A, B) Kegiatan pelatihan di Pusat Belajar Mangrove Daseng Lolero, C,D) Pengembangan Kurikulum Lingkungan Hidup di Sekolah Dasar, E) Penanaman oleh anak Sekolah Dasar, F,G) Restorasi hidrologi, H) Pemeliharaan lahan rehabilitasi, I) Pembuatan makanan dari buah nyapa.

G. Mangrove dan mitigasi bencana

Pembelajaran yang sangat penting mudah kita pelajari dari kejadian bencana tsunami yang menimpa Nangroe Aceh Darussalam pada 26 Desember 2004. Gempa berkekuatan 9,5 skala richter di Laut Hindia menimbulkan gelombang tsunami dengan ketinggian maksimum mencapai 51 m. Gempa ini menimbulkan koban jiwa di Aceh sebanyak 165.708 jiwa dan sebanyak 226.408 jiwa di seluruh wilayah yang terkena dampak. Dibalik dari kejadian ini, ditemukan fakta penting bahwa dua lokasi tepatnya di Semeuleu Aceh dan

Thailand Bagian Selatan warga terhindang dari gelombang tsunami, dan setelah dipelajari ternyata kehadiran mangrove di pesisir pantai berhasil meredam secara efektif rambatan energi gelombang tsunami. Banyak ahli kemudian mempelajari dan membuktikan hal tersebut. Ibarat tembok pantai yang hidup, mangrove menjadi sebuah kekuatan yang mampu menahan rambatan dan mereduksi energi gelombang tsunami yang sangat besar sehingga kecepatan jalaran massa air laut setelah teredam menjadi sangat lambat seperti banjir rob.

Dunia belakangan diperhadapkan dengan kondisi meningkatnya temperatur atau dikenal dengan istilah pemanasan global yang berdampak sangat serius terhadap perubahan iklim bumi. Karbon dioksida (CO_2) salah satu komponen yang terdeteksi hadir dalam jumlah besar di atmosfer dan menimbulkan efek rumah kaca. Dalam kaitannya dengan CO_2 ekosistem mangrove ternyata memainkan peran yang sangat penting dimana ekosistem ini mampu menyimpan karbon dalam bentuk biomasa maupun pada substrat dalam jumlah yang jauh lebih besar (hingga empat kali) dibandingkan ekosistem daratan. Sebagai perbandingan, dari studi yang dilakukan oleh Kauffman dkk. (2016) pada ekosistem mangrove tepian dan estuari di Pantanos de Centla Mexico Bagian Tenggara ditemukan nilai rata-rata karbon stok sebesar 1358 Mg C/ha dibandingkan dengan nilai sebesar 458 Mg C/ha (1 kg = 0,001 megagram) pada padang rumput pengembalaan. Dengan luasan mangrove yang dimiliki Indonesia, maka perannya sebagai stok karbon dunia menjadi sangat penting. Hal ini menjadi salah satu alasan pokok dalam upaya konservasi mangrove di Negara ini yang pada kenyataannya terus mengalami degradasi.

9.2 Alternatif Pemanfaatan Berkelanjutan

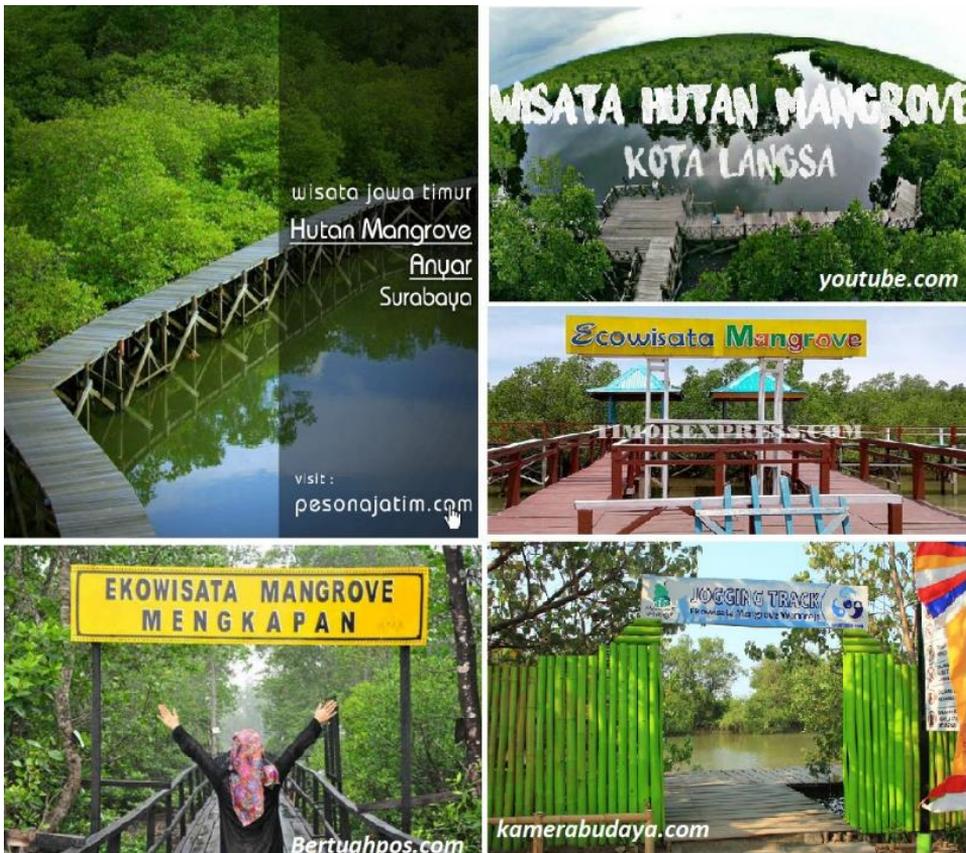
A. Pengembangan eko-wisata

Menjadi fenomena bahwa hutan daratan kian menipis akibat penebangan (legal maupun ilegal) dan kebakaran. Menipisnya areal hutan menyebabkan

habitat hewan liar menjadi semakin sempit sehingga tidak mampu mendukung terjadinya suatu proses regenerasi alami secara optimal. Sementara itu, maraknya kegiatan perburuan menyebabkan populasi hewan liar menjadi sangat berkurang bahkan sejumlah spesies endemik di beberapa tempat terancam punah. Di sejumlah daerah, keberadaan hutan mangrove nampak menjadi alternatif habitat bagi hewan liar (seperti burung, kelelawar, dan monyet) sehingga memperkaya keanekaragaman hayati hutan mangrove. Kondisi seperti ini harus dipandang sebagai suatu potensi untuk pengembangan eko-wisata mangrove lewat kegiatan pengamatan burung dan hewan lainnya.

Jasa eko-wisata mangrove akan menjadi lebih menarik ketika tersedia beberapa fasilitas pendukung seperti tenaga pemandu (penduduk lokal terlatih) sarana transportasi berupa perahu tradisional, atau bisa juga dikembangkan jalan lintas mangrove (*walk ways*) yang disainnya menggelantung di antara pohon-pohon. Upaya pengembangan eko-wisata mangrove ini akan menjadi lebih menarik bila dilengkapi dengan kegiatan olah raga mancing (*fishing sport*). Belakangan ini, tren pengembangan eko-wisata mangrove semakin berkembang di Indonesia (Gambar 9.2).

Suatu program internasional antara lain yang dikembangkan oleh Netherland Committee for IUCN lewat program yang diberi nama '*Eco-tourism for Conservation*' dapat dijadikan mitra pengembangan kegiatan wisata mangrove yang telah dijelaskan sebelumnya. Dalam program ini, wisatawan internasional akan diinformasikan mengenai kondisi lokasi dan hal-hal apa saja yang dapat mereka lihat dan nikmati, terutama yang berkaitan dengan upaya konservasi. NC-IUCN berperan dalam mempersiapkan dan mengatur segala hal berkaitan dengan perjalanan wisatawan. Oleh karena program eko-wisata ini sangat cocok dikembangkan pada skala lokal atau kampung, maka perlu pengetahuan keparawisataan di tingkat masyarakat.



Gambar 9.2. Beberapa contoh pengembangan kawasan eko-wisata mangrove di Indonesia.

Di Honda Bay, Palawan (Filipina) pengembangan eko-wisata mangrove diintegrasikan dalam sebuah pengelolaan terpadu kegiatan wisata pantai. Ekosistem mangrove disepakati warga sebagai daerah perlindungan dengan seperangkat regulasi yang ditetapkan bersama. Warga berbeda latar belakang tergabung dalam sebuah organisasi yang memiliki tanggung jawab manajemen usaha eko-wisata, mulai dari penyediaan kebutuhan dasar hingga menjadi pemandu bagi pengunjung. Selain sumber daya alam bisa terlindungi, masyarakat juga mendapat keuntungan ekonomis yang nyata lewat usaha jasa eko-wisata.

B. Pemanfaatan langsung produk berbahan mangrove

Walaupun belum banyak dikembangkan tetapi berbagai produk bernilai ekonomis dapat dihasilkan dengan cara memanfaatkan secara langsung berbagai bagian dari pohon mangrove tanpa harus merusak ekosistemnya. Beberapa contoh usaha produksi yang memanfaatkan tumbuhan mangrove secara langsung antara lain yakni; pembuatan gula, alkohol dan cuka nypa, sirup dan selai (jam), meubel dan kerajinan tangan, serta macam-macam produk makanan. Secara tidak langsung, pengembangan usaha madu dapat dilakukan di dalam maupun dekat ekosistem mangrove.

Seperti halnya beberapa tumbuhan jenis palem, *Nypa fruticans* yang banyak tumbuh di daerah mangrove bagian belakang terutama yang mendapat masukan air tawar secara reguler, dapat memproduksi nira yang dapat diolah menjadi gula merah (Gambar 9.3), alkohol dan cuka. Produksi nira per pohon sangat bervariasi dengan rata-rata 2 liter/pohon atau selama satu musim sadap (sekitar 200 hari) dengan kepadatan pohon 9000/ha dapat diproduksi 160.000 liter nira/ha. Melalui metode perebusan, gula merah dapat dihasilkan dan juga dikembangkan untuk pembuatan gula semut, dan dengan metode fermentasi dapat dihasilkan cuka nira. Metode penyulingan dapat dikembangkan untuk menghasilkan alkohol dari nira.



Gambar 9.3. Pembuatan gula merah nipa oleh kelompok perempuan di Desa Deaga Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan: (A) penyadapan nira, (B) memasak nira, (C) pencetakan.

Di Sri Lanka, Small Fisher Folk Federation of Lanka (SFFL) telah berhasil mengolah dan mengembangkan sari buah/sirup dan juga selai (jam) dari buah mangrove *Sonneratia caseolaris* (Gambar 9.4). Citra rasa produk sirup dan selai ini sangat unik, dan juga memiliki komposisi gizi yang cukup baik. Sekarang, produk ini telah dipasarkan dengan harga jual yang menguntungkan. Karena teknik pengolahannya sangat sederhana maka dapat dilakukan hingga tingkat kampung, dan ini tentu saja membantu peningkatan pendapatan warga.



Gambar 9.4. Sirup mangrove buah *Sonneratia caseolaris* (<http://exploresrilanka.lk>)

Usaha lain yang potensial dilakukan yakni budidaya lebah dalam atau dekat mangrove untuk menghasilkan madu. Meskipun belum banyak dilakukan, tetapi usaha ini berpeluang ekonomis untuk dikembangkan oleh penduduk lokal yang tinggal dekat hutan mangrove. Pengembangan madu dari lebah hutan jenis *Apis dorsata* sangat potensial dikembangkan di kawasan pesisir berhutan mangrove. Selain cairan madu, beberapa produk turunan seperti bee pollen, royal jelly, bee wax, dan propolis dapat dihasilkan. Seperti yang sudah diteliti di

kawasan mangrove pesisir Kalimantan Barat, bunga dari tiga spesies mangrove *Sonneratia caseolaris*, *Sonneratia alba*, dan *Nypa fruticans* memiliki cairan madu dan *bee pollen*. Pada Gambar 9.5 dapat dilihat beberapa contoh madu hutan mangrove yang telah dipasarkan.



Gambar 9.5. Produk madu hutan mangrove yang telah dipasarkan: Madu Syaiful ([https://www.facebook.com /MADUSYAIFUL/photos/](https://www.facebook.com/MADUSYAIFUL/photos/)), Madu Mangrove dan Madu Hutan Bakau Sumbawa (<https://www.bukalapak.com>).

Produk makanan berbahan baku mangrove telah lama menjadi bagian dari kehidupan keseharian masyarakat Indonesia terutama mereka yang tinggal dekat hutan mangrove. Produk olahan ini terus dikembangkan dan semakin bervariasi. Dalam buah, propagule bahkan daun mangrove terdapat nilai manfaat gizi bagi tubuh manusia baik dalam bentuk karbohidrat, lemak, protein, mineral, dll. Melalui cara pengolahan yang benar maka beragam

produk makanan berbahan baku mangrove dapat dihasilkan dengan cita rasa yang khas untuk masing-masing produk (Gambar 9.6). Lembaga Pengkajian dan Pengembangan Mangrove atau juga dikenal dengan Yayasan Mangrove bekerjasama dengan beberapa pihak melakukan perlombaan resep makanan dari bahan baku mangrove pada bulan November 1998. Lima perwakilan desa mempraktekan 25 resep makanan berbeda dari macam-macam bahan baku mangrove. Paling tidak sudah ada 32 jenis resep makanan berbahan baku mangrove yang telah dibukukan oleh MAP Indonesia bekerjasama dengan PSAP-UGM.



Gambar 9.6. Dokumentasi dan publikasi produk makanan berbahan baku mangrove (Santoso dkk., 2005; Priyono dkk., 2010)

Sering menjadi pemandangan yang umum dimana akar dan kayu gelondongan pohon mangrove dibiarkan begitu saja dalam hutan. Padahal akar dan kayu mangrove tersebut memiliki kualitas yang sangat baik bila dijadikan bahan baku meubel atau kerajinan tangan seperti patung. Hanya dengan sedikit

sentuhan tukang kayu atau pemahat maka produk meubel dan kerajinan tangan tersebut akan memiliki nilai ekonomis yang tinggi.

C. Pengembangan usaha penangkapan dan budidaya kepiting

Mangrove merupakan habitat bagi berbagai spesies kepiting lumpur, dan salah satu spesies yang bernilai ekonomis tinggi yakni kepiting lumpur (*Scylla serrata*). Bagi kebanyakan penduduk yang tinggal dekat hutan mangrove, menangkap kepiting mangrove bukan merupakan hal yang baru terutama untuk memenuhi kebutuhan protein mereka sendiri. Hanya sebagian kecil penduduk yang secara serius menggeluti usaha pengumpulan kepiting mangrove untuk tujuan komersil, dan walaupun ada umumnya usaha tersebut dilakukan secara tradisional. Ada dua kendala yang sering dihadapi terkait pengumpulan kepiting alami yakni alat tangkap yang tidak efektif dan populasi kepiting yang terus berkurang.

Untuk mengatasi kendala yang berkaitan dengan alat tangkap, beberapa jenis alat tangkap kepiting seperti yang dikembangkan oleh nelayan di Thailand dapat diintroduksi. Alat tangkap ini sangat sederhana, berukuran kecil, dan dapat dibuat oleh siapapun. Berkaitan dengan kendala kedua, sebenarnya yang dimaksud dengan populasi kepiting makin berkurang yaitu untuk ukuran kepiting yang bernilai ekonomis saat dijual, tetapi tidak untuk kepiting berukuran kecil yang selalu melimpah dalam hutan mangrove. Untuk mempertahankan populasi kepiting agar tetap cukup tersedia, perlu pengaturan penangkapan dengan memperhatikan dua hal berikut yakni: ukuran tangkap dan jenis kelamin kepiting. Sejak 27 Desember 2016, Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Kelautan dan Perikanan mengeluarkan Peraturan Nomor 56/PERMEN-KP/2016 tentang Larangan Penangkapan dan/atau Pengeluaran Lobster (*Panulirus* spp.), Kepiting (*Scylla* spp.), dan Rajungan (*Portunus* spp.)

dari Wilayah Negara RI. Adapun ketentuan terkait kepiting bakau atau *Scylla* spp. termatub dalam pasal 3 berikut:

Peraturan Menteri Nomor 56/PERMEN-KP/2016

Pasal 3

Penangkapan dan/atau Pengeluaran Kepiting (*Scylla* spp.), dengan *Harmonized System Code* 0306.24.10.00, dari wilayah Negara Republik Indonesia hanya dapat dilakukan dengan ketentuan:

- a. Penangkapan dan/atau pengeluaran pada tanggal 15 Desember sampai dengan tanggal 5 Februari baik dalam kondisi bertelur maupun tidak bertelur dan dengan ukuran lebar karapas diatas 15 (lima belas) cm atau berat di atas 200 (dua ratus) gram per ekor;
- b. Penangkapan dan/atau pengeluaran pada tanggal 6 Februari sampai tanggal 14 Desember dalam kondisi tidak bertelur dengan ukuran lebar karapas diatas 15 (lima belas) cm atau berat diatas 200 (dua ratus) gram per ekor;
- c. Pengeluaran pada tanggal 15 Desember sampai dengan tanggal 5 Februari baik dalam kondisi bertelur maupun tidak bertelur dan dengan ukuran lebar karapas diatas 15 (lima belas) cm atau berat diatas 200 (dua ratus) gram per ekor yang berasal dari hasil budidaya yang dibuktikan dengan Surat Keterangan Asal; atau
- d. Pengeluaran pada tanggal 6 Februari sampai tanggal 14 Desember dalam kondisi tidak bertelur dengan ukuran lebar karapas diatas 15 (lima belas) cm atau berat diatas 200 (dua ratus) gram per ekor yang berasal dari hasil budidaya yang dibuktikan dengan Surat Keterangan Asal.

Pada Gambar 9.7 ditampilkan hasil tangkapan kepiting oleh masyarakat lokal di Teluk Tomini. Hasil tangkapan masyarakat ini bernilai sangat ekonomis karena memiliki harga jual yang tinggi di pasaran. Bila kondisi mendukung, antara lain terdapat daerah terbuka bekas penebangan, kolam-kolam bekas tambak ikan dan udang, atau kemungkinan membuka daerah tertentu dalam mangrove, maka usaha budidaya kepiting dapat dikembangkan. Dua hal yang sangat mendukung usaha ini yakni ketersediaan bibit dan sumber makanan berupa ikan hasil tangkapan yang sudah tidak segar atau bernilai ekonomis rendah yang mudah diperoleh. Bahan dan bentuk konstruksi kolam budidaya kepiting sangat tidak mengikat, karena yang paling penting kepiting yang dibudidaya tidak keluar.



Gambar 9.7. Hasil tangkapan kepiting mangrove (*Scylla serrata*) yang bernilai ekonomis tinggi.

D. Penebangan secara terbatas

Mengeluarkan izin untuk penebangan mangrove bukan suatu hal yang mudah, karena secara alami sifatnya sangat rentan terhadap perubahan. Selain itu secara biologi tumbuhan mangrove sangat lambat pertumbuhannya. Ketika terjadi perubahan pada habitat mangrove maka proses regenerasi alami (suksesi sekunder) akan sangat bermasalah. Meskipun intervensi manusia dilakukan untuk merehabilitasi lahan mangrove yang telah berubah atau rusak, banyak fakta menunjukkan bahwa tingkat keberhasilannya sangat rendah.

Hal yang menjadi pertanyaan, apakah hutan mangrove dapat diambil kayunya? Satu contoh penebangan mangrove untuk tujuan komersil yang dianggap berhasil yaitu di Klang, Malaysia. Secara sederhana teknik penebangan mangrove di tempat ini menggunakan sistem rotasi. Areal hutan

dibagi atas sejumlah blok yang masing-masing akan mendapat giliran ditebang setelah masa rotasi 15-20 tahun. Ukuran minimal diameter pohon dan volume tebangan diatur pada taraf dimana pertumbuhan pohon sisa tetap optimal dan proses regenerasi terus berlangsung. Sistem rotasi seperti ini telah dipraktikkan bertahun-tahun dan cukup berhasil.

Secara alami mangrove memiliki strategi khusus mulai dari establisment hingga regenerasinya. Dengan memahami secara baik strategi-strategi tersebut disertai dengan pemahaman teknik-teknik perbaikan habitat yang benar, maka peluang menebang pohon mangrove untuk skala tertentu (kebutuhan kayu bakar) menjadi sangat mungkin dilakukan terutama pada hutan mangrove yang selama ini menjadi target penebangan oleh masyarakat (bukan hutan asli atau hutan yang memiliki nilai ekologis tertentu).

Kombinasi antara sistem rotasi dan tebang pilih dipertimbangkan sangat mungkin dilakukan. Studi dasar berkaitan dengan kebutuhan kayu bakar (bersifat relatif artinya tidak perlu dipaksakan), perkiraan luas hutan, proses regenerasi alami (suksesi sekunder) dan potensi kayu, harus dilakukan untuk mendapatkan nilai perkiraan lama suatu siklus penebangan.

Periode siklus penebangan 10 sampai 15 belas tahun (sebagai alternatif) mungkin dapat dicoba pada tahap siklus pertama, kemudian dievaluasi kembali tingkat pemulihan (*recovery*) pada lokasi yang telah ditebang untuk perbaikan lama siklus berikutnya. Dalam sistem ini, suatu areal hutan dibagi-bagi (menghasilkan sejumlah blok lokasi penebangan) menurut potensi kayu yang tersedia.

Ukuran kayu yang ditebang bervariasi menurut jenis, dan sangat disarankan bahwa penebangan tidak dilakukan pada lokasi tertentu yang sangat dinamis seperti: sepanjang tepian sebelah laut dan darat, sepanjang aliran sungai pasang-surut yang membelah hutan mangrove (bila ada), serta lokasi tertentu dimana perkembangan dan regenerasi alami bermasalah. Sebagai tambahan, dalam satu

siklus penebangan di suatu lokasi yang sudah ditetapkan, harus ditinggalkan paling sedikit 40% pohon (berbeda jenis dan tersebar acak) yang telah mampu memproduksi benih. Pohon-pohon yang disisakan tersebut, selain berperan sebagai sumber benih alami, juga berperan untuk menahan substrat dan melindungi lahan dari pemanasan berlebihan yang dapat meningkatkan salinitas substrat permukaan.

Akhirnya, keputusan untuk memanfaatkan sumber daya mangrove dengan menebang pohon mangrove sebaiknya dijadikan pilihan terakhir. Masih banyak cara memanfaatkan sumber daya mangrove baik langsung maupun tidak langsung tanpa harus menebang, dan hasilnya pun tidak kalah secara ekonomis. Perlu menjadi pertimbangan bahwa manfaat mangrove tidak dapat dipandang dari satu sisi saja yaitu berupa manfaat langsung dengan mengambil bagian pohon. Dalam keadaan tidak dimanfaatkan oleh manusia, mangrove telah memberi manfaat yang sangat besar secara ekologis, bermanfaat bagi perlindungan pemukiman dan keselamatan manusia dari ancaman bencana alam yang bisa terjadi kapan saja, dan berkontribusi jangka panjang untuk mitigasi bencana terkait pemanasan global melalui kemampuan ekosistem ini dalam menyerap dan menyimpan karbon.

10 Metode Penelitian & Pengenalan Mangrove Flora

Hingga saat ini studi tentang mangrove berkembang sangat lambat di Indonesia dibandingkan dengan sumber daya pantai lainnya. Apakah karena lingkungannya yang memang sulit untuk diakses atau karena faktor lain. Di lingkungan perguruan tinggi, mangrove masih dilihat secara berbeda sebagai ekosistem hutan sehingga oleh mereka yang membidangi kehutanan memperlakukannya sebagaimana pengetahuan kehutanan terestrial yang memang telah lama berkembang termasuk dalam hal produksi kayu. Mereka yang belajar tentang perikanan dan kelautan masih melihat mangrove sebatas ekosistem transisi antara daratan dan laut, meskipun disadari bahwa ekosistem ini memiliki peran penting bagi produktivitas sumber daya pantai, dll. Satu hal yang pasti bahwa masih banyak hal yang harus diungkap dan dipelajari terkait ekosistem mangrove.

Memang melakukan studi mangrove sangat menantang, karena ekosistem ini memiliki ciri yang khas seperti berair dan berlumpur, akses masuk yang terbatas karena terhalang pepohonan dan akar yang padat serta berbau tidak sedap. Bahkan, di beberapa tempat ekosistem ini masih dihuni oleh jenis-jenis hewan berbahaya seperti ular dan buaya. Bila tidak berhati-hati beberapa insiden dapat terjadi seperti terperangkap di lumpur yang dalam atau air pasang, atau mungkin jatuh dari pohon atau tertusuk akar pohon yang tajam.

Bagaimana mungkin kita dapat memperlakukan mangrove secara benar, apabila kita tidak mengenal dan memahaminya dengan baik. Ekosistem mangrove merupakan salah satu jenis ekosistem yang sangat dinamis, mudah mengalami perubahan baik karena faktor alami maupun intervensi manusia.

Kondisi yang sekarang berlaku pada suatu ekosistem mangrove harus dapat digambarkan dengan baik, dan perubahan yang terjadi di dalamnya harus tercatat agar kemungkinan arah perubahannya di masa akan datang dapat diperhitungkan dan tindakan pencegahan perubahan yang sifatnya merusak dapat diantisipasi.

Dalam Bab 10 ini diulas dua hal terkait metode penelitian dan pengenalan mangrove flora. Metode penelitian dibatasi pada hal yang mendasar yaitu berupa survei struktur vegetasi mangrove dikaitkan dengan adanya gangguan, studi mendalam tentang dinamika struktur komunitas, dan penilaian umum kondisi struktur komunitas. Pada bagian akhir Bab ini, ditampilkan spesies-spesies mangrove yang telah diidentifikasi dan dikoleksi oleh penulis. Berbagai ulasan dibuat sederhana agar mudah dipelajari dan dilakukan oleh semua kalangan termasuk masyarakat awam yang tinggal di sekitar hutan mangrove. Diharapkan pelaku studi akan terdorong melakukan pengamatan secara mandiri dengan hasil pengamatan yang dapat diterima secara saintifik. Lebih jauh lagi, pelaku studi diharapkan akan lebih mengenal dan memahami kondisi mangrove yang diamati termasuk evaluasi perubahan yang terjadi sehingga dapat merekomendasikan dan memutuskan langkah-langkah yang tepat dalam pengelolaan mangrove secara berkelanjutan termasuk dalam hal pembuatan kebijakan.

10.1 Metode Penelitian

A. Pengamatan struktur vegetasi dan respon terhadap gangguan

Lembar isian pada Tabel 10.1 dapat digunakan untuk mengamati struktur vegetasi dan respon suatu ekosistem mangrove terhadap adanya gangguan. Beberapa catatan penting terkait dengan lembar isian ini yakni:

- Pemilihan lokasi pengamatan: ditentukan berdasarkan tanda-tanda perbedaan yang jelas nampak pada ekosistem mangrove, apakah terkait

kepadatan vegetasi, tinggi vegetasi perbedaan komposisi jenis, atau tingkat penutupan kanopi.

- **Tujuan:** pengumpulan data lembar isian ini bertujuan untuk menggambarkan secara sistematik vegetasi mangrove termasuk tingkat gangguan yang dialami ekosistem mangrove.
- **Parameter:** parameter yang dipilih adalah kehadiran spesies di sekitar titik pengamatan serta sejumlah ciri struktur vegetasi, yang keseluruhannya menggambarkan kondisi lingkungan di lokasi pengamatan dan proses perubahan yang terjadi.
- **Profil vegetasi:** harus dapat menampilkan ciri utama struktur vegetasi dan spesies dominan sepanjang garis pengamatan sekitar 50 meter.

Tabel 10.1. Lembar isian pengamatan struktur vegetasi dan penilaian tingkat gangguan pada ekosistem mangrove.

Nama lokasi:.....
Pembacaan GPS atau posisi:.....
Nomor site:.....
Tanggal pengamatan:.....
Tim survei:.....
1. Species pohon: Catat nama-nama spesies yang teramati di dekat titik pengamatan:
2. Struktur komunitas: Tinggi kanopi (strata dominan):.....meter Tutupan kanopi (perkiraan persentase tutupan daun):.....%
3. Struktur kanopi Komunitas dengan satu strata kanopi Komunitas dengan lebih dari satu strata kanopi Komunitas dengan pohon mencuat lebih tinggi dari kanopi dominan
4. Keceragaman kanopi Kanopi bagian atas teratur Kanopi bagian atas tidak teratur
5. Bentuk kanopi Secara umum, apakah kanopi berdistribusi pada pohon dari: 1/3 pohon bagian atas 2/3 bagian pohon Dari pangkal pohon

6. Ciri pertumbuhan

Secara umum apakah kanopi pohon:

Bercabang tunggal

Bercabang banyak

Apakah pohon menunjukkan percabangan lateral: Ya / Tidak

7. Struktur percabangan pohon

Apakah pohon mati:

Umum

Jarang

Absen

Apakah anakan:

Umum

Jarang

Absen

Catat diameter 5 pohon kanopi terbesar:

1.....cm

2.....cm

3.....cm

4.....cm

5.....cm

Catat diameter 5 pohon kanopi terkecil:

1.....cm

2.....cm

3.....cm

4.....cm

5.....cm

Secara umum apakah diameter pohon:

Seragam

Tidak seragam

Apakah pohon berdistribusi dengan pola:

Teratur (jarak antar pohon relatif sama)

Acak (jarak antar pohon tidak sama)

Mengelompok

Hitung kepadatan pohon yang berhasil tumbuh dalam kuadrat 10 x 10 meter

(.....pohon/0,01 ha)

8. Fauna

Kehadiran kepiting (berdasarkan jumlah yang terlihat atau lobang kepiting):

Jarang

Umum

Melimpah

Kehadiran mud lobster (*Thalassina* sp.)

Absen

Jarang

Umum

Melimpah

Kehadiran whelk (Fam. Cerithidae)

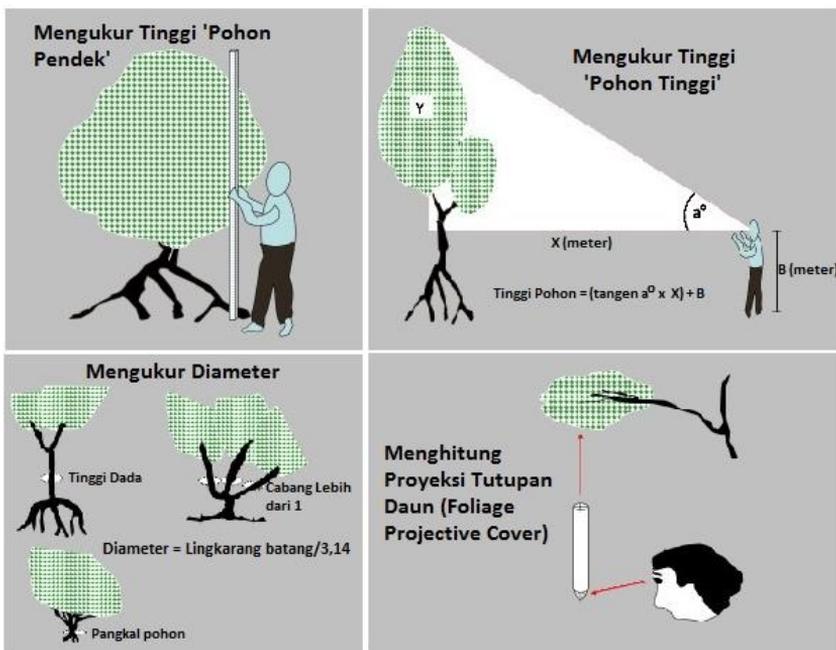
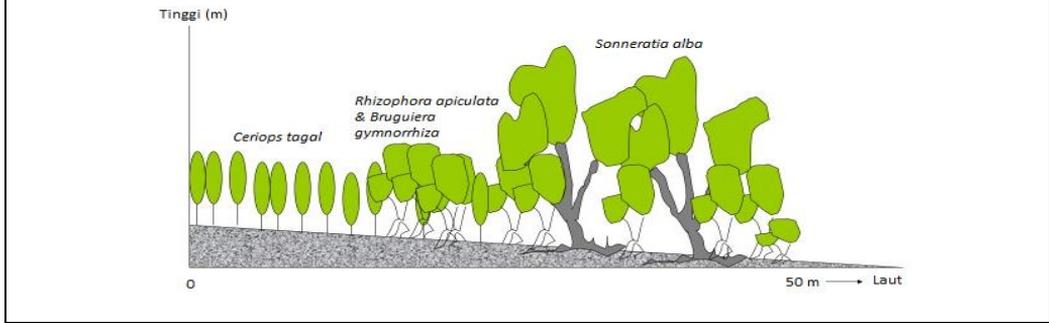
Absen

Jarang

Umum

Melimpah

Gambarkan profil vegetasi seperti pada contoh di bawah ini



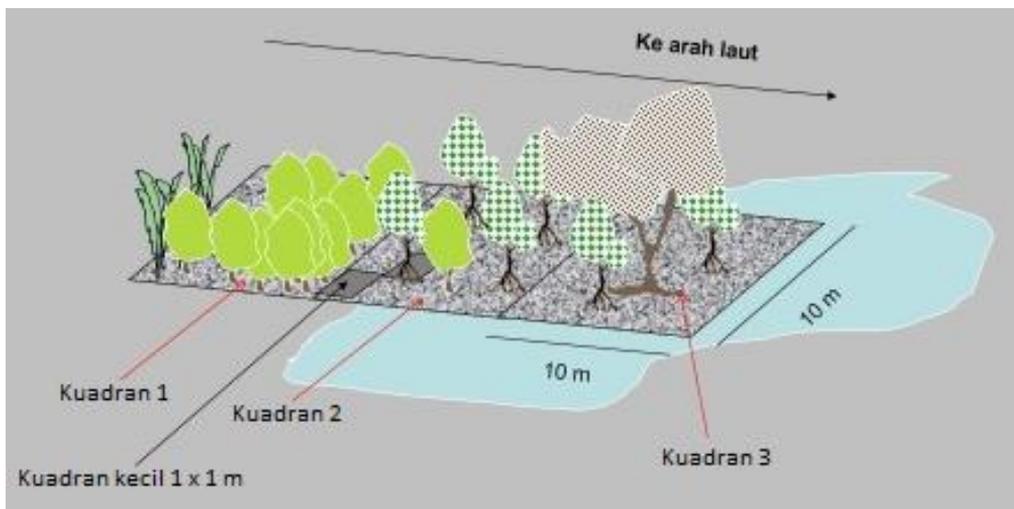
Gambar 10.1. Ilustrasi teknik pengukuran tinggi pohon, diameter pohon dan proyeksi tutupan daun.

B. Metode kuadran kontinu

Metode ini biasa digunakan oleh peneliti mangrove untuk mempelajari struktur komunitas mangrove secara mendalam. Kepadatan pohon, komposisi jenis, pola penyebaran spasial, produktivitas, potensi kayu, dan kondisi anakan dapat diduga lewat metode ini.

Secara ringkas, metode ini menggunakan kuadran 10 x 10 meter sebagai dasar pengamatan. Sebuah garis bantu ditetapkan memotong (tegak lurus garis pantai) pada suatu bagian pada ekosistem mangrove sebagai jalur pengamatan. Setiap jarak 10 meter pada garis tersebut diletakkan kuadran secara berurutan. Anakan diamati dalam kuadran kecil 1 x 1 meter yang ditempatkan memotong secara diagonal dalam setiap kuadran 10 x 10 meter. Pada Gambar 10.2 diilustrasikan bagaimana disain metode kuadran kontinu tersebut.

Sebagai catatan tambahan, pertimbangan posisi tegak lurus garis pantai adalah berdasarkan pemahaman bahwa pola distribusi spasial mangrove pada zona intertidal dipengaruhi oleh faktor tingkat perendaman dan gradien salinitas air tanah permukaan. Pada kondisi tertentu, adanya aliran air tawar dari daratan sekitar dapat mempengaruhi kadar salinitas air tanah permukaan terutama di zona belakang dekat daratan.



Gambar 10.2. Diagram metode kuadran kontinu.

Lembar isian pada Tabel 10.2 dapat dijadikan pedoman saat melakukan pengamatan di lapangan.

Tabel 10.2. Lembar isian pengamatan struktur komunitas menggunakan metode kuadran kontinu.

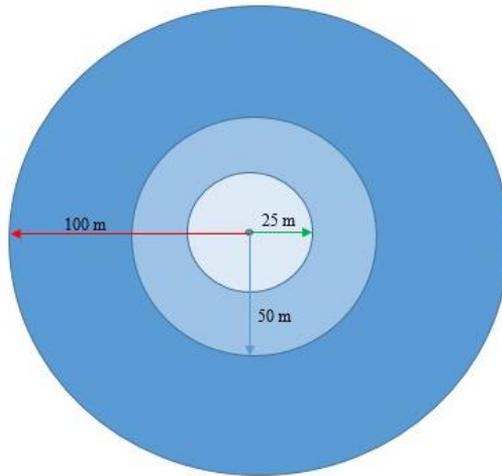
Nama Lokasi Pengamatan:.....												
Pembacaan GPS atau posisi: Titik awal (kuadran 1):..... Titik akhir (kuadran terakhir):.....												
Nomor site:.....												
Tanggal pengamatan:.....												
Tim Survei:.....												
KODE SPESIES POHON:												
<i>Achrostichum aureum</i> (Faa)				<i>Cerbera floribunda</i> (Crf)				<i>Osbornia octodonta</i> (Oso)				
<i>A. speciosum</i> (Fas)				<i>Ceriops decandra</i> (Cpd)				<i>Phemipis acidula</i> (Pha)				
<i>Acanthus ilicifolius</i> (Aci)				<i>C. tagal</i> (Cpt)				<i>Rhizophora apiculata</i> (Rza)				
<i>Aegialitis annulata</i> (Aea)				<i>Cynometra ramiflora</i> (Cyr)				<i>R. mucronata</i> (Rzm)				
<i>Aegiceras corniculatum</i> (Age)				<i>Dolichandrone spathacea</i> (Dos)				<i>R. stylosa</i> (Rzs)				
<i>Avicennia alba</i> (Ava)				<i>Excoecaria agallocha</i> (Exa)				<i>Scyphyphora hydrophyllacea</i> (Sch)				
<i>A. lanata</i> (Avl)				<i>Heritiera littoralis</i> (Hrl)				<i>Sonneratia alba</i> (Sna)				
<i>A. marina</i> (Avm)				<i>Hibiscus tiliaceus</i> (Hbt)				<i>S. caseolaris</i> (Snc)				
<i>A. officinalis</i> (Avo)				<i>Intsia bijuga</i> (Inb)				<i>S. ovata</i> (Sno)				
<i>Bruguiera cylindrica</i> (Bgc)				<i>Candelia candel</i> (Cac)				<i>Thespesia populnea</i> (Thp)				
<i>B. exariscata</i> (Bge)				<i>Lumnitzera littoria</i> (Lzl)				<i>Xylocarpus granatum</i> (Xyg)				
<i>B. parviflora</i> (Bgp)				<i>L. racemosa</i> (Lzc)				<i>X. mekongensis</i> (Xym)				
<i>B. sexangula</i> (Bgs)				<i>Myristica hollrungia</i> (Myh)								
<i>Campostemon philippinensis</i> (Cpp)				<i>Nypa fruticans</i> (Nyf)								
KUADRAN KE-1												
No. pohon	sp	ht	dbh	cvr	hbt	No. pohon	sp	ht	dbh	cvr	hbt	
1						11						
2						12						
3						13						
4						14						
5						15						
6						16						
7						17						
8						18						
9						19						
10						20						
Jumlah tegakan mati berdiri dalam kuadran:.....pohon												
Jumlah potongan log atau pohon tumbang:.....log												
KUADRAN KE-2												
No. pohon	sp	ht	dbh	cvr	hbt	No. pohon	sp	ht	dbh	cvr	hbt	
1						11						
2						12						
3						13						
4						14						
5						15						
6						16						
7						17						
8						18						
9						19						
10						20						
Jumlah tegakan mati berdiri dalam kuadran:.....pohon												
Jumlah potongan log atau pohon tumbang:.....log												
Catatan:												
sp = spesies												
ht = tinggi pohon dalam meter, menggunakan tiang berskala untuk pohon dengan tinggi kurang dari 4 m, dan menggunakan rumus $(\tan a^\circ \times d) + h$, dimana a° adalah sudut antara pengamat dan ujung atas kanopi, d adalah jarak antara												

<p>pengamat dan pohon, dan h adalah tinggi pengamat dbh = diameter tinggi dada (lingkaran pohon/3,14) untuk pohon dengan percabangan tunggal, diukur tepat di atas akar gantung teratas untuk pohon besar jenis <i>Rhizophora</i>, diukur pada tinggi sekitar 50 cm untuk pohon dengan 2 percabangan keluar dekat pangkal, diukur di bawah percabangan terbawah untuk pohon/semak dengan banyak percabangan. cvr (cover) = persen tutupan daun (0 – 100%), menggunakan alat across wire on a free swinging vertical tube with a 45° mirror yang dikembangkan oleh Winkword and Goodall (1962) hbt (habit) = ciri pertumbuhan pohon disimbolkan dengan: St (pohon > 2m bercabang tunggal), Ss (pohon < 2m bercabang tunggal), Mt (pohon > 2 m bercabang banyak), Ms (semak < 2 m bercabang banyak), V (tumbuhan berkayu merayap), F (ferna)</p>		
PENGAMATAN ANAKAN (kuadran 1 x 1 meter)		
KUADRAN KE-1		
No.	Spesies	Jumlah anakan
1.1		
1.2		
1.3		
1.4		
1.5		
KUADRAN KE-2		
No.	Spesies	Jumlah anakan
2.1		
2.2		
2.3		
2.4		
2.5		

B. Metode pemeriksaan titik (*Spot Check Method*)

Metode ini dapat digunakan terutama bila tujuan suatu penelitian adalah untuk mendapatkan gambaran umum tentang struktur komunitas mangrove, sementara wilayah penelitian cukup luas dan waktu yang tersedia relatif singkat. Berbeda dengan Metode Kuadran Kontinu, area pengamatan pada Metode Pemeriksaan Titik berupa berupa titik atau lingkaran dengan jari-jari 25, 50 atau 100 m (Gambar 10.3), tergantung pada keseragaman vegetasi dan waktu yang tersedia. Identifikasi titik-titik yang akan diamati ditentukan lewat analisis deskriptif image atau citra satelit, foto udara, dll. dengan memperhatikan tanda-tanda perbedaan fisik yang nampak secara visual. Posisi geografis titik-titik yang teridentifikasi dicatat untuk kemudian diperiksa di lapangan (ground check). Semua spesies mangrove yang teramati dalam area pengamatan dicatat, diameter dan tinggi pohon kanopi terbesar dan terkecil sebanyak masing-masing 10 pohon untuk lingkaran dengan jari-jari 25 m, 20 pohon untuk lingkaran dengan jari-jari 50 m) dan 40 pohon untuk lingkaran

dengan jari-jari 100 m. Kuadran 10 x 10 m ditentukan secara acak untuk perhitungan kepadatan pohon, sedangkan kuadran kecil yang disarangkan secara diagonal dalam kuadran 10 x 10 m digunakan untuk perhitungan kepadatan anakan.



Gambar 10.3. Diagram lingkaran untuk pengamatan menggunakan metode pemeriksaan titik.

10.2 Mangrove Flora

A. *Acrostichum speciosum* Willdenow, 1810

Ciri Khusus:

Ferna (mencapai ketinggian hingga 1,5 meter), daun hijau kecoklatan, memiliki pinak daun berwarna karat pada bagian ujung, pinak daun yang steril memiliki ujung lebih kecil dan menyempit, tertutup secara seragam oleh sporangia besar, bagian bawah pinak daun yang fertil berwarna coklat tua ditutupi sporangia, urat daun berbentuk jaring, spora besar dan berbentuk tetrahedral.

Habitat:

Zona sebelah darat yang hanya terendam air pasang tinggi dan tanah-tanah gundukan.



B. *Achantus ilicifolius* Linnaeus, 1753

Ciri Khusus:

Herba rendah (mencapai ketinggian 2 meter), cabang umumnya tegak tidak banyak dan muncul dari bagian yang lebih tua, akar udara muncul dari permukaan bawah batang horizontal, daun (hijau muda hingga gelap, zig-zag bergerigi besar seperti gergaji dan menyempit ke arah ujung, unit sederhana dan berlawanan, meruncing dan berduri tajam), bunga (berwarna biru muda hingga ungu dan kadang putih, letak di ujung, formasi bulir), buah (berwarna hijau, mengkilap, berbentuk melinjo)

Habitat:

Zona sebelah darat yang hanya terendam air pasang tinggi dan tanah-tanah gundukan.



C. *Aegiceras corniculatum* (Linnaeus) Blanco., 1837

Ciri Khusus:

Semak atau pohon (umumnya kurang dari 4 meter, tetapi ada yang mencapai 15 meter), akar (menjalar di permukaan tanah), kulit kayu (abu-abu hingga coklat, bercelah, memiliki sejumlah lentisel), daun (hijau gelap, mengkilap, memiliki kelenjar garam pada permukaan dan gagang daun, bulat telur terbalik hingga elips, unit sederhana dan bersilangan, ujung membuldar), bunga (dalam satu tandan terdapat banyak bunga yang menggantung seperti lampion, formasi payung, daun makota 5 berwarna putih berambut halus, kelopak bunga putih - hijau), buah (hijau hingga merah, permukaan halus, membengkok seperti sabit, berisi satu biji).

Habitat:

Toleran terhadap lahan bersalinias tinggi, tepian sungai, substrat keras dekat daratan.



D. *Aegiceras floridum* Roemer dan Schultes, 1819

Ciri Khusus:

Semak (umumnya kurang dari 4 meter, selalu hijau), akar (menjalar di permukaan tanah), kulit kayu (abu-abu hingga coklat, bercelah, memiliki sejumlah lentisel), daun (hijau gelap, mengkilap, memiliki kelenjar garam pada permukaan, bulat telur terbalik, unit sederhana dan bersilangan), bunga (payung, 5 daun makota putih berambut halus, formasi payung), buah (hijau hingga merah, berisi satu biji),

Habitat:

Kelimpahan terbatas dan tumbuh umum di habitat keras berbatu.



E. *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh., 1907

Ciri Khusus:

Semak atau pohon (tumbuh hingga 25 meter), akar (sistem perakaran horisontal, berbentuk pensil, akar nafas tegak dengan sejumlah lentisel), kulit kayu (hijau hingga abu-abu, halus terkelupas dalam bagian-bagian kecil), daun (ditutupi bintik-bintik kelenjar, bagian bawah berwarna putih abu-abu, elips bulat memanjang bulat telur terbalik, ujung meruncing hingga bundar, unit sederhana dan berlawanan), bunga (bergerombol muncul di ujung tandan, bau menyengat, nektar banyak, bulir 2 -12 per tandan, daun mahkota 4 kuning pucat hingga jingga tua, kelompok bunga 5, benang sari 4), buah (agak bundar dengan ujung menajam seperti paruh, hijau agak ke abua-abuan, permukaan berambut halus).

Habitat:

Pada banyak variasi substrat; berpasir, berlumpur halus yang tipis, dekat muara hingga tempat yang asin.



F. *Bruguiera gymnorrhiza* (Linnaeus) Lamk.1797-8

Ciri Khusus:

Pohon (tumbuh hingga 35 meter), akar (melebar ke samping dekat pangkal pohon dengan akar lutut), kulit kayu (abu-abu hingga kehitaman, memiliki lentisel), daun (berkulit, hijau terang hingga gelap, elips hingga elips-lanset, unit sederhana dan berlawanan, ujung meruncing), bunga (menggantung, menempel pada ketiak daun, soliter, daun mahkota 10 – 14 putih dan coklat saat tua, kelompok bunga 10 - 14 merah muda hingga merah, buah (melingkar spiral, bundar melintang, hipokotil lurus tumpul berwarna hijau hingga keunguan)

Habitat:

Pada banyak variasi substrat, dari sebelah laut maupun dekat daratan yang relatif kering, dengan dan tanpa pengaruh air tawar.



G. *Bruguiera cylindrica* (Linnaeus) Blum, 1827

Ciri Khusus:

Semak hingga pohon (tinggi hingga 20 m), akar (lutut, papan dekat pangkal pohon), kulit kayu (abu-abu, terdapat lentisel kecil), daun (hijau hingga hijau menguning, elips, unit sederhana dan berlawanan, bagian ujung meruncing), bunga (mengelompok di ujung tandan, daun mahkota putih dan berubah menjadi coklat saat umur bertambah, kelopak bunga 8 hijau kekuningan), buah (hipokotil berbentuk lurus atau melengkung, berwarna hijau dan ungu di bagian ujung).

Habitat:

Zona belakang yang hanya terendam air laut saat pasang tinggi, dengan atau tanpa pengaruh air tawar.



H. *Ceriops zippeliana* Blume

Ciri Khusus:

Pohon atau semak (umumnya kurang dari 4 meter), akar (menumpuk di pangkal pohon berupa akar tunjang pendek), kulit kayu (abu-abu hingga gelap, bercelah tidak dalam), daun (hijau terang dan kuning muda sebelum jatuh, elips- bulat memanjang, unit sederhana dan berlawanan, ujung bundar), bunga (menempel pada ketiak daun, mengelompok 2 – 4, daun mahkota 5 putih dan kecoklatan saat tua, kelopak bunga 5 berwarna hijau berlentisel dan bintil, benang sari bertangkai pendek – sama atau lebih pendek dari kepala sari), buah (hipokotil berbentuk silinder, membesar di ujung, hijau saat muda hingga coklat saat matang).

Habitat:

Lahan kering dan keras di sebelah darat, toleran terhadap garam.



I. *Ceriops tagal* (Perr.) C.B. Robinson, 1908

Ciri Khusus:

Pohon (tumbuh mencapai tinggi 20 meter meskipun jarang), atau semak (umumnya kurang dari 4 meter), akar (menumpuk di pangkal pohon, berupa akar tunjang pendek), kulit kayu (abu-abu hingga gelap, bercelah tidak dalam), daun (hijau mengkilap, bulat telur terbalik - elips, unit sederhana dan berlawanan, ujung bundar), bunga (menempel pada ketiak daun atau ujung cabang, mengelompok 5 – 10, daun mahkota 5 putih dan menjadi kecoklatan saat tua, benang sari bertangkai lebih panjang dari kepala sari yang tumpul), buah (hipokotil berbintil, halus dan berwarna coklat lebih gelap saat tua, leher kotilidon kuning saat matang).

Habitat:

Lahan kering dan keras di sebelah darat, toleran terhadap garam).



J. *Excoecaria agallocha* Linnaeus, 1759

Ciri Khusus:

Pohon (merangas kecil dengan ketinggian mencapai 15 meter), akar (menjalar di permukaan tanah), kulit kayu (abu-abu, halus berbintil), daun (hijau tua, bergerigi halus di tepi, ada 2 kelenjar di bagian pangkal, elips, unit sederhana bersilangan, ujung meruncing), bunga (jantan atau betina saja, bunga jantan tanpa gagang dan lebih kecil dari betina, menyebar di sepanjang tandan, tandan bunga jantan berbau, letak pada ketiak daun, formasi bulir, daun mahkota hijau dan putih, kelopak hijau kekuningan, benang sari kuning).



Habitat:

Tepi sungai atau lahan berair tawar, substrat kering dekat daratan, tumbuh berkelompok atau sendiri-sendiri.

K. *Heritiera littoralis* Dryand, 1789

Ciri Khusus:

Pohon (ketinggian mencapai 15 meter, biasanya lebih dari satu batang utama), akar papan, kulit kayu (abu-abu, coklat muda hingga kehitaman, bercelah), daun (hijau buram bagian atas, putih keabu-abuan bagian bawah, bulat telur elips, unit sederhana bersilangan, ujung meruncing, mengelompok di bagian ujung), bunga (jantan lebih banyak tetapi lebih kecil dari betina - individu pohon hanya punya bunga betina atau bunga jantan, tandan berambut, letak di ujung atau di ketiak, bergerombol bebas, daun mahkota ungu dan coklat, kelopak 4 – 5 seperti mangkok kemerahan dan berambut), buah (hijau hingga kecoklatan mengkilat, memiliki satu biji).

Habitat:

Umum di daerah belakang yang kering dekat daratan, toleran terhadap kondisi kurang cahaya.



L. *Lumnitzera littorea* (Jack) Voigt, 1845

Ciri Khusus:

Semak atau pohon (bisa tumbuh mencapai ketinggian 15 meter, sering bercabang banyak, memiliki kayu sangat keras), akar (akar nafas berbentuk lutut, menjalar di permukaan tanah, coklat kehitaman), kulit kayu (memiliki retakan longitudinal), daun (agak tebal, kaku mudah patah, lebih hijau dari *L. racemosa*, merumpun di ujung dahan, bulat telur terbalik, unit sederhana bersilangan, membundar di ujung), bunga (biseksual, merah cerah, harum dan dipenuhi nektar, muncul di ujung atau pada bagian pangkal, bulir, daun mahkota 5 berwarna merah, kelopak bunga 5 berwarna hijau, benang sari kurang dari 10 lebih panjang dari daun mahkota), buah (berbentuk seperti jambangan bunga/pot - elips, hijau –ungu, padat).

Habitat:

Dekat daratan , substrat padat/keras.



M. *Lumnitzera racemosa* Willd, 1803

Ciri Khusus:

Belukar atau pohon kecil (tumbuh mencapai 10 meter), akar (tanpa akar nafas), kulit kayu (coklat kemerahan, memiliki retakan longitudinal pada batang tua), daun (agak tebal, kaku mudah patah, hijau dan merumpun di ujung dahan, bulat telur menyempit, unit sederhana bersilangan, membundar di ujung), bunga (biseksual, tanpa gagang, dipenuhi nektar, muncul di ujung atau pada bagian pangkal, bulir, daun mahkota 5 berwarna putih, kelopak bunga 5 berwarna hijau, benang sari kurang dari 10 dengan panjang sama atau sedikit lebih panjang dari daun mahkota), buah (berbentuk kembang/elips, hijau kekuningan, berserta dan padat).

Habitat:

Dekat daratan, substrat padat/keras.



N. *Nypa fruticans* (Thunb.) Wurmb.,1781

Ciri Khusus:

Palma (tanpa batang, membentuk rumpun), batang di bawah tanah dengan akar-akar halus, bunga (tandan bunga biseksual tumbuh dekat puncak batang, bunga betina membentuk kepala melingkar sedangkan bunga jantan kuning cerah, terletak di bawah kepala bunganya), buah (bulat bergelombang, coklat mengkilap, keras dan erdapt satu biji berbentuk telur di dalamnya).

Habitat:

Lahan yang dipengaruhi air tawar, berlumpur.



O. *Osbornia octodonta* F. Muell.

Ciri Khusus:

Semak atau pohon (ketinggian mencapai 7 meter), akar (menyebar horisontal, kadang memiliki akar nafas), kulit kayu (coklat, abu-abu kehitaman, terkelupas), daun (berkulit tipis, berbau saat disentuh, ada kelenjar minyak, bulat telur terbalik, unit sederhana bersilangan, ujung membuldar), bunga (biseksual, 1 – 3 bunga per tandan, menempel pada ketiak daun, daun mahkota tak ada, kelompok bunga 8 hijau, benang sari banyak putih hingga kuning), buah (ditutupi kelopak bunga yang tidak terbuka saat matang, biji 1 – 2 berbentuk datar dan bulat telur terbalik).

Habitat:

Dekat daratan, pinggiran aliran pasang-surut, tempat yang terendam air laut saat surut, substrat lumpur tipis dan keras.



P. Phempis acidula

Ciri Khusus:

Semak (ketinggian umumnya kurang dari 3 meter), akar nafas tidak berkembang, kulit kayu (abu-abu hingga coklat), daun (tebal, kaku, agak tertekuk ke dalam, elips hingga bulat telur terbalik, unit sederhana dan berlawanan), bunga (berbentuk lonceng, menempel pada ketiak daun, berkelompok, daun mahkota 6 putih bersih bagian tengah agak ungu kekuningan, kelopak bunga 12 hijau, benang sari 12 – 18).

Habitat:

Substrat berpasir dan kering, bersama tumbuhan pantai.



Q. *Rhizophora apiculata* Blume, 1827

Ciri Khusus:

Pohon (tumbuh hingga 30 meter), akar (tunjang dan akar udara), kulit kayu (abu-abu hingga gelap, agak bersih/licin dibanding lainnya), daun (hijau hingga hijau tua, berbintik di bagian bawah, elips menyempit, unit sederhana dan berlawanan), bunga (biseksual, kepala bunga kekuning-kuningan, menempel pada ketiak daun, 2 bunga per kelompok, daun mahkota 4 berwarna kuning-putih tanpa rambut, kelopak bunga 4 kuning kecoklatan, benang sari 11 – 12 tak bertangkai, buah (seperti pear, coklat, berisi 1 biji fertil, hipokotil silindris berbintik dan hijau jingga, leher kotilidon berwarna kuning kecoklatan saat muda dan kemerahan saat matang).

Habitat:

Tanah berlumpur tetapi tidak terlalu dalam, relatif lebih luas penyebarannya dibanding dua spesies *Rhizophora* lainnya.



R. *Rhizophora mucronata* Lamk., 1804

Ciri Khusus:

Pohon (tumbuh hingga 30 meter), akar (tunjang dan akar udara), kulit kayu (gelap hingga kehitaman, bercelah horizontal), daun (hijau, berbintik di bagian bawah, elips melebar, unit sederhana dan berlawanan), bunga (seperti cagak, biseksual, menempel pada ketiak daun, 4-8 bunga per kelompok, daun mahkota 4 putih berambut, kelopak bunga 4 kuning muda/pucat, benang sari 8 tak bertangkai), buah (lonjong panjang hingga bulat telur, berbiji tunggal, hipokotil silindris kasar dan berbintil).

Habitat:

Berlumpur, lumpur berpasir, kadang di atas terumbu berpasir.



S. *Rhizophora stylosa* Griffith, 1854

Ciri khusus:

Pohon (tumbuh hingga 25 meter), akar (tunjang dan akar udara), kulit kayu (abu-abu hingga hingga hitam, bercelah), daun (hijau terang, berbintik di bagian bawah, elips melebar, unit sederhana dan berlawanan), bunga (seperti cagak, biseksual, menempel pada ketiak daun, 8-16 bunga per kelompok, daun mahkota putih berambut, kelopak bunga 4 kuning muda, benang sari 8 dengan 1 tangkai putih memanjang), buah (seperti pear, coklat, berisi 1 biji fertil, hipokotil silindris, leher kotilidon kuning kehijauan saat matang).

Habitat:

Umumnya berlumpur campur pasir, dekat sungai, atau di atas



T. *Scyphyphora hydrophyllacea* Gaertn.f. 1805

Ciri Khusus:

Semak (banyak percabangan dari pangkal, tumbuh hingga 4 meter), kulit kayu (kasar, coklat), daun (berkulit, hijau mengkilap, pinak berkelenjar, bulat telur terbalik, unit sederhana dan berlawanan, ujung membuldar), bunga (putih, hampir tak bertangkai, menempel pada ketiak daun, berkelompok, daun mahkota 4 – 5 putih agak merah, kelopak bunga 4 – 5 berbentuk mangkok, benang sari 4 – 5), buah (silindris, hijau hingga coklat, bulat memanjang, memiliki sisa daun kelopak bunga yang tidak membuka saat matang, 4 biji silindris).

Habitat:

Lahan kering dekat daratan, substrat keras.



U. *Sonneratia alba* J. Smith, 1819

Ciri Khusus:

Pohon (tumbuh hingga 40 meter), akar (nafas vertikal berbentuk kerucut), kulit kayu (abu-abu hingga coklat muda, kasar bercelah dan terkelupas), daun (hijau, bulat telur terbalik, ujung membuldar, unit sederhana berlawanan), bunga (biseksual, soliter mengelompok 1 – 3 bunga per kelompok, daun mahkota putih, kelopak bunga 6-8, benang sari banyak bertangkai kuning dan ujungnya putih), buah (bulat agak pipih, ujungnya bertangkai, dasarnya terbungkus kelopak bunga).

Habitat:

Terumbu karang berpasir, lumpur berpasir.



V. *Sonneratia caseolaris* (Linnaeus) Engler, 1897

Ciri Khusus:

Pohon (tumbuh hingga 20 meter), akar (nafas vertikal), kulit kayu (coklat, licin saat masih muda), daun (hijau gelap, bulat memanjang, ujung membulat, unit sederhana berlawanan), bunga (soliter mengelompok 1 – 3 bunga per kelompok, daun mahkota merah, kelopak bunga 6-8, benang sari banyak, tangkai merah dan ujungnya putih), buah (bulat agak pipih, ujungnya bertangkai, dasarnya terbungkus kelopak bunga).

Habitat:

Tempat berair tawar sepanjang tepi aliran sungai, rawa payau atau



W. *Sonneratia ovata* Backer, 1929

Ciri Khusus:

Pohon (tinggi mencapai 25 m), akar (nafas vertical), kulit kayu (abu-abu), daun (hijau, bulat telur, unit sederhana dan berlawanan, bagian ujung membundar), bunga (diujung, tunggal hingga 3 bunga, daun mahkota tidak ada, benang sari banyak berwarna putih), buah (bundar, bertangkai di bagian ujung dan terbungkus kelopak bunga).

Habitat:

Zona belakang dan dipengaruhi air tawar.



X. *Xylocarpus granatum* König, 1784

Ciri Khusus:

Pohon (tumbuh hingga 20 meter), akar (seperti papan melebar ke samping dekat pangkal, meliuk membentuk celah-celah), kulit kayu (coklat muda, tipis dan mengelupas), daun (agak tebal, hijau, elips - bulat telur terbalik, unit majemuk berlawanan, ujung membuldar), bunga (dua jenis kelamin atau betina saja, muncul dari dasar ketiak daun, mengelompok acak 8 – 20 bunga per kelompok, daun mahkota 4 putih kehijauan lonjong, kelopak bunga 4 cuping kuning muda, benang sari putih krem dan menyatu dalam tabung, buah (seperti bola, berkulit, hijau kecoklatan, terdapat 6 – 16 biji besar berkayu dan berbentuk tetrahedral).

Habitat:

Tepi sungai, lahan kering dekat daratan, berair tawar, toleran terhadap kondisi sedikit cahaya.



Y. *Xylocarpus moluccensis* Pierre, 1897

Ciri Khusus:

Pohon (tumbuh hingga 20 meter), akar (memiliki akar nafas mengerucut berbentuk cawan), kulit kayu (pada batang utama dengan guratan yang dalam), daun (lebih tipis dar *X. granatum*, hijau, elips - bulat telur terbalik, unit majemuk berlawanan, ujung agak meruncing), bunga (dua jenis kelamin atau betina saja, muncul dari ketiak tangkai daun, bergerombol acak 10 – 35 bunga per gerombol, daun mahkota 4 putih kehijauan dan lonjong, kelopak bunga 4 cuping hijau kekuningan, benang sari 8 menyatu dan putih krem), buah (seperti bulat seperti jambu bangkok, berkulit, hijau, terdapat 4 – 10 biji berbentuk tetrahedral).



Habitat:

Sama dengan *X. granatum*.

Daftar Pustaka

- Aksornkoe S. (1996). Reforestation of mangrove forests in Thailand: ads; case study of Pattani province. Dalam C.D. Field (Ed.). 'Restoration of Mangrove Ecosystems', hal. 52-63. International Society of Mangrove Ecosystems (ISME), Okinawa, Japan.
- Alikodra HS. (1998). Kebijakan pengelolaan hutan mangrove dilihat dari lingkungan hidup. *Proseding Seminar VI Ekosistem Mangrove*, hal. 33-34.
- Al-Khayat JA., Jones DA. (1999). A comparison of the macrofauna of natural and replanted mangroves in Qatar. *Estuarine, Coastal Shelf Science*, 49: 55-63.
- Alrasjid, H. dan R. Effendi. (1986). Pengaruh penebangan terhadap kerusakan permudaan alam hutan mangrove di kelompok hutan Sungai Sepada, Kalimantan Barat. *Buletin Penelitian Hutan*, 476:1-22.
- Aluri RJS. (1990). Observations on the floral biology of certain mangroves. *Proceeding of the Indian National Science Academy, part B*, 56(4):367-374.
- Ball MC. (1980). Patterns of secondary succession in a mangrove forest of Southern Florida. *Oecologia*, 44:226-235.
- Ball MC., Pidsley SM. (1995). Growth-responses to salinity in relation to distribution of 2 mangrove species, *Sonneratia alba* and *S. lanceolata*, in Northern Australia. *Functional Ecology*, 9(1):77-85.
- Ball, MC. (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.
- Bandaranayake MM. (1998). Traditional and medj6ical uses of mangrove. *Mangroves and Salt Marshes*, 2(3), 133-148.
- Banus MD., Kolehmainen, SE. (1975). Floating, rooting, and growth of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.) seedlings: effect on expansion of mangroves in south-western Puerto Rico. Dalam: Walsh, G.E., Snedaker, S.C., and Teas, H.J. (Eds.). 'Proceeding of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves', hal. 370-384. Institute of Food and Agriculture Science, University of Florida, Gainesville.
- Bappeda Kutai Kartanegara. (2010). Rencana Rehabilitasi dan Konservasi Mangrove di Delta Mahakam Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Tenggara: Bappeda KutaiKartanegara.

- Bardsley KN. (1985). The effects of Cyclone Kathy on mangrove vegetation. Dalam: Bardsley, K.N., Davie, J.D.S. and Woodroffe, C.D. (Eds) 'Coastal and Tidal Wetlands of the Australian Monsoon Region', hal. 167-185. Australian University, North Australia Research Unit, Darwin. Mangrove Monograph 1.
- Bazzaz FA. (1991). Regeneration of tropical forest: physiological responses of pioneer and secondary species. Dalam: Gomez-Pompa, A., Whitmore, T.C., and Hadley, M. (Eds.). 'Rain Forest Regeneration and Management'. Man and The Biosphere Series, 6:91-118.
- Bird ECF., Barson MM. (1979). Stability of mangrove systems. Dalam: Clough, B.F. (ed.) Mangrove Ecosystem in Australia: Structure, Function and Management, Hal. 265-275. AIMS with ANU Press, Canberra, Australia.
- Blanchard J., Prado G. (1995). Natural regeneration of *Rhizophora mangle* in strip clearcuts in northwest Ecuador. *Biotropica*, 27(2):160-167.
- 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. Dalam: Snedaker, S.C. and Snedaker, J.G. (Eds.). 'The Mangrove Ecosystem: Research Methods', hal. 81-90. UNESCO.
- Boto K. (1992). Nutrients and mangroves. Dalam: Cornell D., Hawken D. (Eds.). 'Pollution in Tropical Aquatic Systems', hal. 129-145. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Brown B., Fadillah R., Nurdin Y., Soulsby I., Ahmad R. (2014). Case study: community based ecological mangrove rehabilitation (CBEMR) in Indonesia. *S.A.P.I.EN.S* [Online]. Diakses dari <http://sapiens.revues.org/1589>.
- Buckett MD., Clarke CJ., Field CD., Pulkownik A. (1989). Growth and respiration in two mangrove species at a range of salinities. *Physiologia Plantarum*, 75:299-303.
- Budiman A., Riswan S., Kartawinata K., Prawiroatmodjo S. (1985). Dalam: Field, C.D. and Dartnall, A.J. (Eds.). 'Mangrove Ecosystems of Asia and the Pacific: status, exploitation and management', Hal.31-39. Proceedings of the Research for Development Seminar, Townsville, Australia.
- Campbell A., Brown B. (2015). Indonesia's vast mangroves are a treasure worth saving. *The Conversation*. Diakses dari <http://theconversation.com/indonesias-vast-mangroves-are-a-treasure-worth-saving-39367>.

- Chapman VJ. (1967). Some factors involved in mangrove establishment. Scientific Problems in Humid Tropical Zone Deltas. UNESCO, Hal. 219-224.
- Chapman VJ. (1975). Mangrove biogeography. Dalam: Walsh G.E., Snedaker, S.C., and Teas, H.J. (Eds.). 'Proceedings of the International Symposium on Biology and Management of Mangrove', hal. 3-22. Univ. Florida, Gainesville.
- Choy SC., Booth WE. (1994). Prolong inundation and ecological changes in an *Avicennia* mangrove: implications for conservation and management. *Hydrobiologia*, 285:237-247.
- Cintron G., Lugo AE., Pool DJ., Morris G. (1978). Mangroves of arid environments in Puerto Rico and adjacent islands. *Biotropica*, 10(2):110-121.
- Claridge D., Burnett J. (1992). Mangroves in focus. Marino Lithographics, Queensland. 160 hal.
- Clarke LD., Hannon NJ. (1969). The mangrove swamp and salt marsh communities of the Sidney District: the holocoemotic complex with particular reference to physiography. *Journal of Ecology*, 57:213-234.
- Clarke PJ. (1993). Dispersal of gray mangrove (*Avicennia marina*) propagules in south-eastern Australia. *Aquatic Botany*, 45:192-204.
- Clough BF. (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 FC. (1971). The trees of south Florida, Vol. 1. University of Miami Press, Coral Gables, Florida.
- Craighead FC., Gilbert V. (1962). The effect of hurricane Donna on the vegetation of southern Florida. *Quarterly Journal of the Florida Academy of Sciences*, 25(1):1-28.
- Crawley MJ. (1997). Plant ecology. Blackwell Scientific Publication, London. Pp. 77-96.
- Damanik R., Djamaluddin R. (2012). Atlas mangrove Teluk Tomini. Sustainable Coastal Livelihoods and Management Program, CIDA, IUCN, Lestari Canada.
- Davey JE. (1975). Notes on the mechanism of pollen release in *Bruguiera gymnorrhiza*. *South Africa Journal of Botany*, 41:269-272.
- Davie J., Merril R., Djamaluddin R. (1996). The sustainable use and conservation of the mangrove ecosystem of the Bunaken National Park,

- Indonesia. Final Report to the Indonesia Natural Resource Management Project. USAID/ARD, Jakarta, Indonesia.
- Davie JDS. (1983). Pattern and process in the mangrove ecosystems in Moreton Bay, Southern Queensland, Ph.D. Thesis, University of Queensland, Australia.
- Davie JDS. (1987). Mangrove ecosystems in Australia. Dalam: Field, C.D. and Dartnall, A.J. (Eds.). 'Mangrove Ecosystems of Asia and the Pacific: Status, Exploitation and Management', hal.3-39. Proceedings of the Research for Development Seminar, Townsville, Australia.
- Devoe NN., Cole TG. (1998). Growth and yield in mangrove forest of the Federated State of Micronesia. *Forest Ecology and Management*, 1:33-48.
- Ding Hou. (1958). Rhizophoraceae. *Flora Malesiana*, I(5):429-93.
- Djamaluddin R. (2004). The dynamics of mangrove forest in relation to dieback and human use in Bunaken National Park, North Sulawesi, Indonesia. Doctoral thesis in the University of Queensland, Australia. 327 p.
- Djamaluddin R. (2018). The mangrove flora and their physical habitat characteristics in Bunaken National Park, North Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas* 19 (4): 1303-1312.
- Duke NC. (1992). Mangrove floristics and biogeography. Dalam: Robertson, A.I. and Alongi, D.M. (Eds.). 'Coastal and Estuarine Studies', hal. 63-100. American Geophysical Union, Washington, D.C.
- Duke NC. (1995). Genetic diversity, distributional patterns and rafting continents more thoughts on the evolution of mangroves. *Hydrobiology*, 295:161-181.
- Duke NC. (1996). Mangrove reforestation in Panama: an evaluation of planting in areas deforested by a large oil spill. Dalam: Field, C. (Ed.). 'Restoration of Mangrove Ecosystems', hal. 209-232. International Society of Mangrove Ecosystems ISME and International Tropical Timber Organization ITTO, Okinawa, Japan.
- Duke NC. (2001). Gap creation and regenerative process driving diversity and structure of mangrove ecosystems. *Wetlands Ecology and Management*, 9:257-269.
- Duke NC., Ball MC., Ellison JC. (1998). Factor influencing biodiversity and distribution gradients in mangrove. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7(1):27-47.
- Duke NC., Burns KA., Swannell RPJ., Dalhaus O., Rupp RJ. (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 NC., Pinzone ZS., Prada MC. (1993). Mangrove forests recovering from two large oil spills in Bahia Las Minas, Panama, in 1992. Dalam: Keller, B.D. and Jackson, J.B.C. (Eds.). 'Long-term Assessment of the 1986 Oil Spill at Bahia Las Minas, Panama', Hal. 39-80. Final Report, Marine Spill Response Corporation MSRC, Washington, D.C.
- Duke NC., Pinzone ZS., Prada MC. (1999). Recovery of tropical mangrove forests following a major oil spill: a study of recruitment and growth, and benefits of planting. Dalam: Yanez-Arancibia, A. and Lara-Domingues, A.L. (Eds.). 'Ecosistemas de manglar en America Tropical', hal. 231-254. Instituto de Ecologia, A.C. Mexico, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Springs MD USA.
- Eagler FE. (1952). Southeast saline everglades vegetation, Florida and its mangement. *Vegetatio*, 3:213-265.
- Effendi R., Sutiyono. (1993). Pengaruh penjarangan terhadap pertumbuhan permudaan alam kayu tumu (*Bruguiera gymnorrhiza* L Lamk). *Buletin Penelitian Hutan*, 556:51-58.
- Ellison JC., Stoddart DR. (1991). Mangrove ecosystem collapse during predicted sea-level rise: holocene analogues and implications. *Journal of Coastal Research*, 7(1):151-166.
- Ewel KC., Zheng S, Pinzon ZS., Bourgeois JA. (1998). Environmental effects of canopy gap formation in high-rainfall mangrove forests. *Biotropica*, 30(4):510-518.
- Farnsworth EJ., Ellison AM. (1997). Global patterns of pre-dispersal propagule predation in mangrove forests. *Biotropica*, 29(3):318-330.
- Feller IC., Friess DA., Krauss KW., Lewis, R.R. *In press*. The state of the world's mangroves in the 21st century under climate change. *Hydrobiologia*.
- Feller IC., Mathis WN. (1997). Primary herbivory by wood-boring insects along an architectural gradient of *Rhizophora mangle*. *Biotropica*, 29:440-451.
- Feller IC., McKee KL. (1999). Small gap creation in a Belizean mangrove forests by a wood-boring insect. *Biotropica*, 31:607-617.
- Fernando ES., Pancho JV. (1980). Mangrove trees of the Philippines. *Silvatrop the Philippines Forest Research Journal*, 5(1):35-54.

- Field CD. (1995). Journey amongst mangroves. International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa, Japan. 140 hal.
- Field CD. (1999) Rehabilitation of mangrove ecosystems: an overview. *Marine Pollution Bulletin*, 37(8-12), 383-392.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1994). Mangrove forest management guidelines. FAO Forestry Paper, 117, Rome.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2007). *The world's mangroves 1980-2005*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fromard F., Puig H., Mougin E., Marty G., Betoulle JL., Cadamuro L. (1998). Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. *Oecologia*, 115:39-53.
- Galloway WE. (1975). Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems. Dalam: Broussard, M.L. (Ed.). *Deltas, Models for Exploration*, hal. 87-98. Houston Geological Society, Houston.
- Gara RI., Sarango A., Cannon PG. (1990). Defoliation of an Ecuadorian mangrove forest by the bagworm, *Oiketicus kirbyi* Guilding (Lepidoptera: Psychidae). *Journal of Tropical Forest Science*, 3(2):181-186.
- Gieasen W, Wulffraat S, Zieren M, Scholten L. (2006). Mangrove guide book for Southeast Asia. FAO and Wetlands International.
- Gong WK., Ong JE. (1990). Plant biomass and nutrient flux in a managed mangrove forest in Malaysia. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 31:519-530.
- Gordon DM. (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.
- Halle F., Oldeman RAA., Tomlinson PB. (1978). Tropical trees and forests – an architectural analysis. Springer Verlag, Berlin.
- Hangqing F. (1995). Mangrove resources, human disturbance and rehabilitation action in China. *Chinese Biodiversity*, 3:49-54.
- Hartini S., Saputro GB., Yulianto M., Suprajaka. (2010). Assessing the Used of Remotely Sensed Data for Mapping Mangroves Indonesia. Selected Topics in Power Systems and Remote Sensing. Dalam: 6th WSEAS International Conference on Remote Sensing (REMOTE '10), Iwate Prefectural University, Japan. October 4-6, 2010: Hal. 210-215.

- Hatcher BG., Johannes RT., Robertson AI. (1989). Review of research relevant to the conservation of shallow tropical marine ecosystems. *Oceanogr. Marine Biology Annual Review*, 27:337-414.
- Heatwole H., Lowman M. (1986). *Dieback: death of an Australian landscape*. Reed books Pty Ltd., NSW. 150 hal.
- Heinson GE., Spain AV. (1974). Effect of a tropical cyclone on littoral and sublittoral communities and on a population of dugong (*Dugong dugon*). *Biological Conservation*, 6(2):143-152.
- Hogarth PJ. (1999). *The biology of mangrove*. Oxford University Press, New York. 228 hal.
- Houston WA. (1999). Severe hail damage to mangroves at Port Curtis, Australia.
- Hutchings P., Saenger P. (1987). *Ecology of Mangroves*. University of Queensland Press. St. Lucia, Australia. 388 hal.
- Ibrahim S. (1990). The effects of clear felling mangroves on sediment anaerobiosis. *Journal of Tropical Forest Science*, 3(1):58-65.
- Innest JL. (1993). *Forest health: its assessment and status*. CAB Inter., Wallington, U.K. 677 hal.
- Jimenez JA., Lugo AE., Cintron G. (1985). Tree mortality in mangrove forests. *Biotropica*, 17:177-185.
- Juncosa AM. (1982). Embryo and seedling development in the Rhizophoraceae. Ph.D Thesis. Duke University, Durham, North Carolina.
- Kangas PC., Lugo E. (1990). The distribution of mangroves and saltmarsh in Florida. *Tropical Ecology*, 31(1):32-39.
- Kathiresan K., Thangam TS. (1990). A note on the effect of salinity and pH on growth of Rhizophora seedlings. *The Indian Forester*, 116(3):243-244.
- Kauffman JB., Trejo HH., Jesus Garcia M. del Carmen, Heider C., Contreras WM. (2016). Carbon stocks of mangroves and losses arising from their conversion to cattle pastures in the Pantanos de Centla, Mexico. *Wetlands Ecology and Management* 24(2): 203-216.
- Kementerian Kehutanan Republik Indonesia. (2014). *Recalculation of Indonesia's land cover in 2013*: Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan.
- Kimmins JP. (1982). *Forest ecology*. Mcmillan Publishing Company, NY. 531 hal.

- Klekowski, E.J.Jr., J.E. Corredor, J.M. Morrell and C.A. Delcastillo. (1994). Petroleum pollution and mutation in mangroves. *Marine Pollution Bulletin*, 28:166-169.
- Laksono, PM. (2000). Perempuan di Hutan Mangrove, Kearifan Ekologis Masyarakat Papua. Jogjakarta: Galang Press bekerjasama dengan KEHATI dan PSAP-UGM.
- Lewis RR. (1984). Impact of oil spills on mangrove forests. Dalam: Teas, H.J. (Ed.). 'Biology and Ecology of Mangrove: Task for Vegetation Science', Vol. 8, Hal. 171-184. Dr. W. Junk, The Hague.
- Lewis RR., Dunstan FM. (1975). The possible role of *Spartina alterniflora* Loisel. in establishment of mangroves in Florida. Dalam: Lewis, R.R. (Ed.). 'Proceeding of the Second Annual Conference on Restoration of Coastal Vegetation in Florida', Hal. 82-101. Hillsborough Community College, Tampa, Florida.
- Lewis RR., Marshall MJ. (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.
- Lugo AE. (1980). Mangrove ecosystems: successional or steady state. *Biotropica*, 12 (suppl.):65-72.
- Lugo AE., Evink G., Brinson MM., Broce A., Snedaker SC. (1975). Diurnal rates of photosynthesis, respiration and transpiration in mangrove forests of south Florida. Dalam: Golley, F. and Medina, E. (Eds.). 'Tropical Ecological Systems', hal. 335-350. Springer-Verlag, New York.
- Lugo AE., Zucca CP. (1977). The impact of low temperature stress on mangrove structure and growth. *Tropical Ecology*, 18:149-161.
- Mabberley CM., Pannel CM., Sing AM. (1995). Flora Malesiana: seri I-Spermathophyta, 12(1):371-81.
- Mackey AP., Hodgkinson M., Nardella R. (1992). Nutrient levels and heavy metals from the Brisbane River, Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 24:418-420.
- Macnae W. (1968). A general account of the fauna and flora of mangrove swamps and forests in the Indo-West Pacific region, *Advance in Marine Biology*, 6:73-270.
- Mabberley DJ. (1991). Tropical rainforest ecology. Blackie and Son Ltd., 2nd ed., Glasgow, London. 300 hal.

- Mannion PD. (1989). Hardwood forest decline-concept and management. Proceeding Society American Forests Conservation, Rochester, N.Y. Hal. 127-130.
- Mannion PD. (1991). Tree disease concepts. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.Y. 399 hal.
- Mannion PD., Lachance D. (1992). Forest decline concepts: an overview. Dalam: Manion PD., Lachance D. (Eds). 'Forest Decline Concept', hal. 181-190. APS Press, St. Paul, Minnesota, USA.
- Margono BA., Potapov PV., Turubanova S., Stolle F., Hansen MC. (2014). Primary forest cover loss in Indonesia over 2000-2012. *Nature Climate Change*, Published Online 29 June 2014: DOI: 10.1038/ NCLIMATE 2277.
- Marshall N. (1995). Mangrove conservation in relation to overall environmental considerations. *Hydrobiologia*, 285:303-309.
- McGuinness KA. (1997). Dispersal, establishment and survival of *Ceriops tagal* propagules in a north Australian mangrove forest. *Oecologia*, 109:80-87.
- McIntosh RP. (1981). Succession and ecological theory. Dalam: West DC., Shugart HH., Botkin DB. (Eds.). 'Forest Succession: Concepts and Applications', Hal. 10-23. Springer Verlag, N.Y.
- Mueller-Dombois D. (1992). A natural dieback theor, cohort senescence as an alternative to the decline disease theory. Dalam: Manion, P.D. and Lachanche, D. (Eds.). 'Forest Decline Concepts', Hal. 26-37. The American Phytopathological Society, Minnesota.
- Murdiyarso D., Purbopuspito J., Kauffman JB., Warren MW., Sasmito SD., Donato DC., Manuri S., Krisnawati H., Taberima S., Kurnianto S. (2015). *The Potential of Indonesian Mangrove Forest for Global Climate Change Mitigation*. *Nature Climate Change*, 5: 1089–1092.
- Naidoo G. (1990). Effect of nitrate, ammonium and salinity on growth of the mangrove *Bruguiera gymnorrhiza* (L) Lam. *Aquatic Botany*, 38:209-219.
- NASA. (2010). Mapping mangrove by satellite. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/47427/mapping-mangroves-by-satellite> (accessed August 20, 2018)
- Noor YR., Khazali M., Suryadiputra INN. (2006). Panduan pengenalan mangrove. Ditjen PPHKA-Wetland International, Bogor. 220 hal.
- Oliver CD., Larson BC. (1996). Forest stand dynamics. Wiley, N.Y. 449 hal.
- Paijmans K., Rollet B. (1977). The mangroves of Galley Reach, Papua New Guinea. *Forests Ecology and Management*, 1:119-140.

- Pangestu, T P., Nurani, TW., Wiyono, ES. (2012). Evaluasi luasan kawasan mangrove untuk mendukung perikanan udang di Kabupaten Cilacap, Provinsi Jawa Tengah. *Marine Fisheries*, 3(1): 35-43.
- Patrick WH Jr., Mahapatra IC. (1968). Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. *Advances in Agronomy*, 20:323–359.
- Pegg KG., Gillespies NC., Forsberg LI. (1980). *Phytophthora* sp. associated with mangrove death in central coastal Queensland, Australia. *Plant Physiology*, 9:6-7.
- Percival M., Womersley JS. 1975. Floristics and ecology of the mangrove vegetation in Papua New Guinea. *Botany Bulletin*, 8.
- Pernetta JC. (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. 46 hal.
- Primarck RB., Duke NC., Tomlinson PB. (1981). Floral morphology in relation to pollination ecology in five Queensland coastal plants. *Austrobaileya*, 4:346-355.
- Priyono A., Yuliani LS., Iminingtyias D., Hakim TL. (2010). Berbagai produk olahan berbahan dasar mangrove. KeSEMat, Semarang.
- Pusat Konservasi Alam Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam Departemen Kehutanan Republik Indonesia. (2006). 50 Taman Nasional Indonesia. Bogor.
- Putz FE., Chan HT. (1986). Tree growth, dynamics, and productivity in a mature mangrove forest in Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 17:211-230.
- Rabinowitz D. (1978). Dispersal properties of mangrove propagules. *Biotropica*, 10:47-57.
- Reef R., Feller IC., Lovelock CE. (2010). Nutrition of mangrove. *Tree Physiology*, 30:148–1160.
- Richards PW. (1996). The tropical rain forest. Cambridge University Press, 2nd ed. 575 hal.
- Sachtler ML. (1973). Inventario y fomento de los recursos forestales: Republica Dominicana Inventario Forestal. FAO: Informe Tecnico, FO:SF/DOM 8.
- Saenger P., Bellan MF. (1995). The mangrove vegetation of the Atlantic Coast of Africa. Universite de Toulouse Press, Toulouse.96 hal.

- Saenger P., Hegerl EJ., Davie JDS. (1983). The global status of mangrove ecosystems. *The Environmentalist* 3, Suppl.3.
- Santoso N, Nurcahya BC., Siregar NAF., Farida F. (2005). Resep makanan berbahan baku mangrove dan pemanfaatan Nypa. Lembaga Pengkajian dan Pengembangan Mangrove.
- Semeniuk V. (1980). Mangrove zonation along an eroding coastline in King Sound, North-western Australia. *Journal of Ecology*, 68:789-812.
- Servant J., Jean-Bart N., Sobesky O. (1978). Le phenomene "etang bois-sec": une zone d' hypersalvire en mangrove. *Bull. De Liaison du Groupe de Travail*, 4:64-69. Comite Gestion des Ressources Naturelles Renovedable, Guadelope.
- Smith III TJ., Robblee RB., Wanless HR., Doyle TW. (1994). Mangroves, hurricanes, and lightning strikes. *Bioscience*, 44(4).
- Smith-III TJ. (1992). Forests structure. Dalam: Robertson AI., Alongi DM. (Eds.). 'Tropical Mangrove Ecosystems', Hal. 101-136. 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.
- Spalding M., Blasco F., Field C. (1997). World mangrove atlas. The International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa, Japan. 178 hal.
- Spalding MD, Kainuma M, Collins L. (2010). World Atlas of Mangroves. Earthscan, London.
- Specht RL. (1981). Ecophysiological principles determining the biogeography of major vegetation formations in Australia. Dalam: A. Keast (Ed). 'Ecological Biogeography of Australia', hal. 299-332. Dr. W. Junk, The Hague.
- Specht, RL. (1970). Vegetation. Dalam: Leeper GW. (Ed.). 'Australian Environment', hal. 44-67. CSIRO, Melbourne University Press.
- Steinke TD. (1975). Some factors affecting dispersal and establishment of propagules of *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. Dalam: Walsh GE., Snedaker, SC., Teas HJ. (Eds.). 'Proceeding of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves', hal. 402-414. Institute of Food and Agricultural Science, University of Florida, Gainesville.
- Steinke TD., 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 GC. (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 DR. (1971). Coral reefs and islands and catastrophic storms. Dalam: Steers, J.A. (Ed.). 'Applied Coastal Geomorphology', Hal. 155-197. Macmillan, N.Y.
- Sun D., Hnatiuk RJ., Neldner VJ. (1996). Vegetation classification and mapping systems for Australian forest management. Bureau of Resourch Science and Australian Nature Coservation Agency. 47 hal.
- Sunardi RM. (1996). Coastal management in an enclosed sea environment: an Indonesian case in the preservation of coastal ecosystem. Indonesian Quarterly, 24(3):248-256.
- Tabb DC., Jones AC. (1962). Effect of hurricane Donna on the aquatic fauna of the north Florida Bay. Transaction of the American Fisheries Society, 91(4):375-378.
- Terchunian A., Klemas V., Segovia A., Alfarez A., Vasconez B., Guerrero L. (1986). Mangrove mapping in El Salvador: the impact of shrimp pond construction. Environmental Management, 10:345-350.
- Tho YP. (1974). The termite problem in plantation forestry in Peninsular Malaysia. Malaysian Forester, 37:278-283.
- Tho YP. (1982). Gap formation by the termite *Microtermes dubius* in lowland forests of Peninsular Malaysia. Malaysian Forester, 45:184-192.
- Thom BG. (1967). Mangrove ecology and deltaic geomorphology, Tobasco, Mexico. Journal of Ecology, 55:301-343.
- Thom BG. (1982). Mangrove ecology - a geomorphological perspective. Dalam: Clough, B.F. (Ed.). 'Mangrove ecosystem in Australia: Structure, Function and Management', hal. 3-17. AIMS with ANU Press, Canberra, Australia.
- Thomas N., Lucas R., Bunting P., Hardy A., Rosenqvist A., Simard, M. (2017) Distribution and drivers of global mangrove forest change, 1996 - 2010. PLoS ONE, 12(6), 1-14.
- Tilman D. (1997). Mechanisms of plant competition. Dalam: Crawley MJ. (Ed.). 'Plant Ecology', hal. 239-261. Blackwell Science Ltd., 2nd ed.
- Tomlinson PB. (1986). The botany of mangroves. Cambridge University Press, New York. 413 hal.

- UNEP. (2014). *Importance of Mangroves to People: A Call to Action*: United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre, Cambridge.
- Van Stennis CGGJ. 1995-1958. Flora Malesiana. Nooordhoff-Kolff NV, Djakarta.
- Vandermeer J. (1996). Disturbance and neutral competition theory in rain forest dynamics. *Ecological Modelling*, 85:99-111.
- Vannuci M. (1998). The mangrove ecosystem: an overview of present knowledge. *Revista Brasileira de Biologia*, 58(1):1-15.
- Waisel Y. (1972). *The biology of halophytes*. Academic Press, New York.
- Walker J., Hopkins MS. (1990). Vegetation. Dalam McDonald RC., Isabell RC., Speight RC., Walker RF., Hopkins MS. (Eds.). 'Australian Soil and Land Survey: Field Handbook', hal. 58-86. Inkata Press, Melbourne.
- Walsh GE. (1974). Mangroves: a review. Dalam: Reimhold R.J. and Queen, W.H. (Eds.). 'Ecology of Halophytes', hal. 51-174. Academic Press, New York.
- Walsh GE., Ainsworth KA., Rigby R. (1979). Resistance of red mangrove (*Rhizophora mangle* L) seedlings to lead, cadmium and mercury. *Biotropica*, 11:22-27.
- Walters BB. (1995). People, policies, and resources: mangrove restoration and conservation in the Bais Bay Basin, Negros Oriental, and Wider Philippine Context. Dalam: Junio-Menez, M.A. and Newkirk, G.F. (Eds.). 'Philippine Coastal Resources Under Stress', hal. 151-165. Coastal Resources Research Network, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada and MSI University of Philippine, Diliman, Quezon City, Philippines.
- Watson JG. (1928). Mangrove forests of the Malay Peninsula. Fraser and Neave, Singapore. 275 hal.
- Wesre CJ., Cahill D., Stamps DJ. (1991). Mangrove dieback in north Queensland, Australia. *Transaction of the British Mycological Society*, 79:165-167.
- Whitmore TC. (1991). Tropical rain forest dynamics and its implication for management. Dalam: Gomez-Pompa, A., Whitmore, T.C., and Hadley, M. (Eds.). 'Rain Forest Regeneration and Management', Vol. 6, hal. 67-89. Man and The Biosphere Series.
- Wibisono ITC., I Nyoman N., Suryadiputra. (2006). Study of Lessons Learned from Mangrove/Coastal Ecosystem Restoration Efforts in Aceh since the Tsunami. Wetlands International – Indonesia Programme. Bogor. 86 hal.

- Winkword RE., Goodall DW. (1962). A cross wire shighting tube for point quadrat analyses. *Ecology*, 1-28, 104-109.
- Wolanski E. (1992). Hydrodynamics of tropical coastal marine systems. Dalam: Cornell, D. and Hawken, D.(Eds.). 'Pollution in Tropical Aquatic Systems', hal. 3-27. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Wyrki K. (1961). Physical oceanography of the Southeast Asian Waters. The University of California. Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California. 195 hal.

Glosarium

Above ground biomass:

Istilah yang digunakan dalam perhitungan biomassa tumbuhan dengan batasan meliputi semua biomassa hidup yang posisinya berada di atas tanah yakni: batang, ranting, kulit kayu, buah dan daun.

Angiospermae:

Kelompok tumbuhan berbunga yang menghasilkan benih tertutup oleh ovari. Istilah ini pada beberapa sistem dipertimbangkan sebagai kelas (Angiospermae) dan sistem lainnya memasukkannya ke dalam divisi (Magnoliophyta atau Anthophyta).

Arid:

Kondisi iklim yang kering atau gersang dimana curah hujan tahunan sangat rendah dengan nilai indeks ariditas berkisar antara 0,05 dan 0,2.

Australasia:

Kawasan yang mempunyai sejarah evolusi yang seragam sehingga memiliki kesamaan flora dan fauna, meliputi Australia, Papua dan pulau-pulau di sekitarnya, Pulau Lombok dan Sulawesi serta pulau-pulau di Indonesia yang berada di sebelah timur kedua pulau tersebut, dengan garis pemisah dengan Asia berupa Garis Wallace.

Beting gisik (beach ridge):

Endapan marin yang terdiri dari material pasir kasar dan halus, membentuk semacam pematang (*ridge*) dengan beberapa jalur, dan terletak pada jarak tertentu dari pantai.

Beting:

Sering juga disebut gosong untuk menggambarkan endapan pasir atau lumpur yang panjang di muara sungai atau di pantai.

Biogeografi:

Cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang keanekaragaman hayati berdasarkan ruang dan waktu, bertujuan mengungkap kehidupan suatu organisme dan faktor-faktor apa yang mempengaruhinya.

Bulu akar:

Bagian dari akar berupa bulu-bulu atau rambut berbentuk serabut halus, berukuran kecil dan terdapat pada sisi-sisi akar utama atau percabangan

akar, merupakan perluasan permukaan lapisan epidermis akar yang berfungsi untuk mengoptimalkan penyerapan air dan zat hara.

Kotiledon (Cotyledon):

Disebut juga kotil atau daun lembaga, melekat pada embrio dengan hipokotil, merupakan organ cadangan makanan pada biji sekelompok tumbuhan, sekaligus organ pertama yang dimiliki oleh tumbuhan yang baru saja berkecambah yang tak memiliki klorofil.

Cryptovivipary:

Biji telah berkecambah ketika masih melekat pada pohon induk, tetapi masih tertutup oleh kulit biji.

Dekomposisi:

Proses pembusukan atau perombakan bahan organik oleh organisme dekomposer.

Delta:

Endapan di muara sungai akibat dari berkurangnya laju aliran air saat memasuki laut.

Denitrifikasi:

Proses reduksi nitrat menjadi gas nitrogen¹ Nitrat (NO_3^-) yang digunakan sebagai akseptor elektron alternatif dalam respirasi anaerobik direduksi menjadi gas-gas nitrogen seperti (N_2 , NO, atau N_2O).

Derajat keasaman (pH):

Istilah yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan, pertama kali diperkenalkan oleh kimiawan Denmark Søren Peder Lauritz Sørensen pada tahun 1909.

Desalinisasi:

Proses yang menghilangkan kadar garam berlebih dalam air.

Dichogamy:

Pematangan organ perkembangbiakan jantan dan betina berbeda pada bunga atau makhluk hermafrodit sehingga tidak terjadi pembuahan sendiri.

Dieback:

Kondisi mati pucuk pada pohon atau pohon kehilangan kemampuan tumbuh yang diindikasikan oleh adanya bagian pohon yang layu, mengering atau mati.

Dimorphic:

Perbedaan sistematik luar antar individu yang berbeda jenis kelamin dalam spesies yang sama.

Efek rumah kaca:

Efek pemanasan atmosfer bumi yang mirip dengan cara kerja rumah kaca terhadap tanaman yang ditanam dalam rumah kaca, atau peristiwa meningkatnya suhu atmosfer bumi karena panas matahari yang dipantulkan bumi terperangkap oleh gas-gas tertentu di atmosfer.

Ekowisata:

Merupakan salah satu kegiatan pariwisata yang berwawasan lingkungan dengan mengutamakan aspek konservasi alam, aspek pemberdayaan sosial budaya ekonomi masyarakat lokal serta aspek pembelajaran dan pendidikan.

El' niño:

Anomali iklim di Pasifik Selatan, antara pesisir Barat Amerika Latin dan Asia Tenggara, namun efeknya bisa dirasakan ke seluruh penjuru dunia dan seringkali berujung pada bencana alam.

Empulur:

Jaringan yang letaknya di bagian terdalam batang tumbuhan, tersusun dari sel parenkim yang lembut yang menyimpan dan mengangkut nutrisi ke seluruh bagian tumbuhan.

Endodermis:

Lapisan terdalam pada korteks akar dengan sel-sel tebal yang dilapisi pita kaspari), yang membatasi korteks dan stele, berfungsi sebagai pembatas selektif dalam pengaturan masuknya bahan-bahan dari larutan tanah ke dalam jaringan pembuluh di dalam stele.

Epidermis:

Epidermis akar adalah selapis sel berdinding tipis, berkutikula dan tersusun rapat pada akar

Estuarin:

Badan air setengah tertutup di wilayah pesisir, dengan satu sungai atau lebih yang mengalir masuk ke dalamnya, serta terhubung bebas dengan laut terbuka.

Evergreenness:

Jenis tumbuhan yang terus memproduksi daun sepanjang tahun.

Felogen:

Kambium gabus berupa meristem yang menghasilkan periderm (jaringan pelindung yang terbentuk secara sekunder dan menggantikan epidermis pada batang dan akar yang menebal karena pertumbuhan sekunder).

Fiksasi nitrogen:

Proses penggabungan nitrogen atmosfer dengan unsur-unsur lain untuk membentuk senyawa lain yang berguna.

Floem:

Jaringan pengangkut yang berfungsi mengangkut hasil fotosintesis dari daun ke seluruh tubuh tumbuhan.

Geomorfik:

Istilah yang berhubungan dengan bentuk alam dan proses yang membentuknya.

Hibrida putative:

Konsep yang berkaitan dengan penerimaan secara umum terhadap kehadiran hibrida (hasil persilangan antara dua atau lebih populasi yang berbeda, baik fenotipe maupun genotipenya).

Humus autochthonous:

Humus atau sisa organisme dari tempat itu sendiri.

Hutan klimaks (climax forest):

Hutan yang secara alami telah mencapai suksesi klimaks karena faktor lingkungan seperti iklim, biotik, kebakaran atau edaphik (climatic climax, biotic climax, fire climax dan edaphic climax).

Iklim mikro:

Kondisi fisik lapisan atmosfer yang dekat dengan permukaan tanah atau di sekitar tanaman, seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, keteduhan, dan dinamika energi radiasi surya.

Indo-Malesia:

Sebutan bagi wilayah yang membentang dalam zona ekologi Indomalaya hingga Australasia. Garis Wallace membatasi batas timur zona ini.

Intertidal:

Daerah antara pasang tertinggi dan surut terendah di pantai.

Jamur arbuscular microhrrzal:

Jamur yang merupakan bagian dari divisi Glomeromycota.

Jaringan palisade:

Jaringan di dalam daun yang sel - selnya berbentuk memanjang, tersusun rapat, dan memiliki banyak kloroplas (berisi klorofil), berfungsi sebagai tempat fotosintesis (pembentukan makanan).

Jaringan spons:

Dikenal dengan istilah jaringan bunga karang pada daun, sebagai bagian dari parenkim, terletak di bawah lapisan palisade.

Kambium:

Lapisan sel-sel tumbuhan yang aktif membelah dan terdapat di antara xylem dan floem

Korteks:

Susunan sel-sel parenkim berdinding tipis dan tersusun longgar atau bagian terluar tubuh tumbuhan yang berfungsi sebagai benteng terluar tanaman.

Kutikel atau kutikula:

Lapisan pelindung pada seluruh sistem tajuk, berfungsi untuk memperlambat kehilangan air dari daun, batang, bunga, buah, dan biji.

Laguna (lagoon):

Sekumpulan air asin yang terpisah dari laut oleh penghalang yang berupa pasir, batu karang atau semacamnya.

Laut Tethys:

Berasal dari Bahasa Yunani (Τηθύς) untuk menggambarkan suatu samudra yang pernah ada di antara benua Gondwana dan Laurasia pada masa Mesozoikum (sebelum pembentukan Samudra Hindia dan Atlantik pada periode Kapur), juga disebut Laut Neotethys.

Lentisel:

Bagian dari batang pohon yang merupakan jaringan epidermis dan tidak tertutup jaringan gabus atau lobang-lobang kecil, berfungsi sebagai tempat keluar masuknya karbondioksida dan oksigen.

Mangal:

Istilah lama yang digunakan untuk rawa mangrove, tetapi saat ini sudah tidak banyak digunakan.

Material klastik karbonat (carbonate clastic materials):

Material yang berasal dari beragam mineral karbonat, pada umumnya berupa kalsium karbonat (CaCO_3).

Metaxylem:

Bagian xilem yang terbentuk kemudian ketika tubuh primer sedang tumbuh dan berkembang.

Mitigasi bencana:

Serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman.

Muson tropis:

Istilah untuk menggambarkan kondisi iklim yang biasanya terjadi di wilayah Asia dengan ciri curah hujan dan kelembaban yang tinggi.

Outbreeding

Jenis perkawinan silang luar, yakni bentuk perkawinan dengan kekerabatan yang jauh.

Pasang astronomis:

Tingkatan pasang yang dipengaruhi oleh pengaruh gaya gravitasi bumi, bulan dan matahari, tanpa pengaruh atmosferik.

Pasang perbani:

Tingkatan pasang pada saat bulan kuartier pertama dan kuartier ketiga, dimana kedudukan bulan tegak luruh terhadap matahari.

Pasang purnama:

Tingkatan pasang pada saat bulan purnama.

Pemanasan global:

Dikenal umum dengan istilah global warming, yaitu suatu proses meningkatnya suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan bumi.

Penanaman artifisial (artificial plantation):

Sistem penanaman menggunakan benih yang dikumpulkan dari alam atau yang disemaikan terlebih dahulu.

Perisikel:

Juga disebut perikambium, yakni lapisan luar stele (bagian central batang atau akar atau silinder pusat)

Pita kaspari:

Zat seperti lilin yang menghalangi masuknya air ke dalam sel endodermis.

Propagule:

Buah mangrove yang telah berkecambah.

Protandry:

Perubahan jenis kelamin dari jantan ke betina.

Protoxylem:

Bagian xilem yang pertama kali terbentuk yang kemudian berdiferensiasi dalam bagian tubuh primer yang belum selesai pertumbuhan.

River run-off:

Massa air yang memasuki badan sungai dari sumber-sumber seperti air hujan, air tanah, lelehan es, dll.

Salinitas:

Ukuran keasinan, yakni jumlah gram garam dalam setiap liter larutan, dinyatakan dalam “bagian per seribu, ppt atau permil”.

Sedimen terrigenous:

Jenis sedimen yang berasal dari erosi batuan di daratan dan pada umumnya terdeposisi di wilayah paparan benua (continental shelf) yang masih berhubungan dengan wilayah pesisir.

Sel kawal/penjaga:

Merupakan sel epidermis khusus pada tumbuhan yang membentuk perbatasan stomata, berfungsi untuk mengatur dan membuka tutupnya stomata pada daun.

Sel mucilage:

Sel pada tumbuhan yang mensekresi mucilage dengan cara mendisorganising dindingnya.

Sel skretori:

Jaringan tumbuhan yang terdiri dari satu sel atau lebih yang berfungsi sebagai tempat pengeluaran senyawa-senyawa dari dalam tumbuhan seperti lendir, getah minyak dan lemak.

Semi arid:

Kondisi iklim dengan curah hujan tahunan antara 25 – 51 cm.

Silvofishery:

Sistem pertambakan yang menggabungkan antara usaha perikanan dengan penanaman mangrove.

Sistem blok:

Sistem atau cara penebangan pohon dengan membagi lokasi hutan menjadi beberapa bagian (blok) dan penebangan dilakukan pada blok yang telah ditentukan waktu, ukuran batang pohon yang ditebang, jenis, dll.

Stoma:

Pori-pori atau mulut daun yang terdapat pada daun berfungsi sebagai tempat pertukaran gas.

Sub-humid:

Daerah dengan iklim antara semi arid dan humid, dimana curah hujan hanya mendukung pertumbuhan jenis rumput yang padat tetapi tidak untuk hutan.

Sub-tropis:

Wilayah bumi yang berada di Utara dan Selatan setelah wilayah tropis yang dibatasi oleh garis balik utara dan garis balik selatan pada lintang $23,5^{\circ}$ Utara dan Selatan, dicirikan oleh adanya gangguan alam berupa badai, hujan salju, atau tornado.

Succulent:

Adaptasi tumbuhan di lingkungan yang kering dengan menyimpan persediaan air di daun, batang ataupun pada akarnya.

Suksesi sekunder:

Perkembangan atau perubahan yang terjadi karena suatu komunitas mengalami gangguan baik alami maupun buatan.

Transgressed bedrock coast:

Tipe pantai dengan dasar bebatuan yang terendam air laut dan meluas.

Transpirasi:

Proses hilangnya air dalam bentuk uap air dari jaringan hidup tanaman melalui stomata, lubang kutikula, dan lentisel.

Tropis:

Daerah di permukaan Bumi yang secara geografis berada di sekitar ekuator, yaitu yang dibatasi oleh dua garis lintang 23.5° LS dan 23.5° LU: Garis Balik Utara (GBU, Tropic of Cancer) di Utara dan Garis Balik Selatan (GBS, Tropic of Capricorn) di Selatan.

Tumbuhan pantai (coastal plant):

Jenis vegetasi pantai non-mangrove yang banyak ditemukan pada daerah pantai dengan substrat yang didominasi oleh pasir, dapat berupa tumbuhan menjalar, semak, perdu dan pohon.

Vivipary:

Biji telah berkecambah ketika masih melekat pada pohon induk, dan tidak tertutup/keluar dari kulit biji.

Xeromorfik:

Sifat pada tumbuhan atau adaptasi untuk menghadapi kondisi kehilangan air berlebihan.

Xylem:

Jaringan pengangkut yang berfungsi mengangkut air dan garam mineral dari akar ke daun.

Indeks

A

A cross wire tube 83
Above ground biomass 46, 82, 90
Abrasi 3, 18, 101, 102, 116, 118, 122, 149, 152, 157, 158
Achantus 43, 47, 50, 51, 53
Achantus ilicifolius 183
Acrostichum speciosum 182
Adaptasi 1, 6, 25, 37, 41, 45, 49, 87, 111, 229
Aegialitis 46, 50, 51, 54
Aegiceras corniculatum 179, 184
Aegiceras 50, 51, 53, 56
Aegiceras floridum 185
Aerial root 46
Aerobik 38, 46
Afrika Barat 2
Afrika Timur 2, 13
Akar nafas 46, 186, 193, 194, 196, 197, 206
Akar pasak 46
Alkohol 138, 139, 163
Alluvial 24
Amerika Selatan 2
Amerika Selatan Atlantik 2
Amerika Tengah 2
Anatomi 1, 6, 14, 22, 41, 43, 44, 45, 46, 48, 49
Anchoring root system 56
Angiospermae 14
Anearobik 46
Angular seeds 54
Arid 10, 13, 49
Asia 1, 2, 13
Asia Tenggara 2-4, 10, 12, 16, 138, 151, 223
Atlantic East Pacific 13
Atlantik 11, 13

Attractive odour 53
Australasia 2
Australia 1, 2, 10, 11, 12, 13, 14, 71, 82
Avicennia 26, 43, 45-47, 49-53, 55-57, 124, 137
Avicennia germinans 55
Avicennia marina 2, 47, 55, 131, 132, 186
Avicennia rumphiana 58

B

Barrier 24
Bermuda 11
Beting 23, 24, 101, 150
Biodiversity professional 84
Biogeografi 2, 6, 13, 14
Biomassa 6, 63, 82, 83, 90, 94, 221
Biotik 25, 36, 66, 224
Bioturbation 38
Breeding mechanism 52
Bruguiera 43, 51, 54, 124
Bruguiera cylindrica 77, 86, 96, 179, 188
Bruguiera gymnorrhiza 23, 52, 60, 66, 112, 139, 144, 151, 154, 218, 241, 243, 248, 251
Budidaya 17, 18, 96, 98, 139, 140, 164, 167, 168,

C

Camptostemon 49, 86, 179
Candelia 179
Canopy recovery 65
Capitate hair 45
Carbonate clastic materials 23
Ceriops 51, 54, 57, 82, 106, 123, 124, 137,

Ceriops tagal 85, 86, 90, 94, 97,
100, 105, 106, 107, 114, 123, 125,
131, 132, 190
Ceriops zippeliana 189
Climax forest 68
Coastal plant 1
Colonization 62
Copious 53
Coppicing 43, 65
Coriaceous 45
Cotyledon 54, 55
Cryptovivipary 56

D

Delta Indus 13
Delta Mahakam 15, 207
Dekomposisi 32, 36, 36
Denitrifikasi 36, 39
Deposisi 23, 62, 63, 67, 71, 74, 77,
104
Desa Meras 107
Destructive winds 80
Dieback 61, 70-80, 92, 114, 149,
210, 213, 215, 219
Dimorphic 53
Dioecy 52

E

Early development 62
Eastern Tehtys Sea 11
Edaphic change 72
Efek rumah kaca 160
Environmental setting 23
Epidermis 49, 222, 224, 228
Epiphyte 63
Episodic events 71
Erosi 62, 63, 69, 71, 72, 74, 106,
108, 116, 135
Establismen 6, 41, 52, 55, 56, 62,
63, 65, 66, 102, 106, 170
Estuarin 26
Etiopia 13

Evaporasi 49
Evergreen 36, 43
Excoecaria agallocha 179, 191
Exogenous 72
Exposure 23

F

Fauna 3, 133, 141, 176
Fibrous 54
Fiksasi nitrogen 37
Fisiologis 12, 25, 26, 41, 49, 50, 81,
111
Fixed dendrometer bands 57
Floatation 54
Flora 45, 52, 133, 141, 173, 174,
182,
Floral dimorphism 53
Florida 2, 28, 81, 82, 238, 239, 241,
243, 246, 247, 254
Foliage projective cover 83, 84
Forest cycling process 75
Fringing mangrove 101

G

Gap creation and recovery 65
Gap generation 64
Geofisik 22, 23
Geologi 1, 14, 22
Geomorfik 22-24
Geomorfologi 3
Germinasi 6, 41, 55
Germinasi epigeal 55
Germinasi hypogeal 55
Gradien osmotik 49
Ground check 180
Gurun California 13
Gurun Persia 13

H

Hara 3, 5, 21, 22, 35, 36, 38, 111,
133, 139,
Hemirhamphus brasiliensis 158

Heritiera littoralis 179, 192

Hindia 1, 27, 159

Hipersalinitas 71

Humus autochthonous 24

Hybrid 72

Hypodermis 49

I

Iklim mikro 23

India 2, 10, 13, 11, 208

Indo-Malesia 2, 13

Indonesia 1, 2, 4, 5, 6, 9, 14, 15-18, 27, 28, 71, 81, 95, 111, 133, 135, 136, 138, 139, 141, 147, 151, 152, 158, 154, 158, 160, 165-167, 173

Indo-Pacific West 13

Indo-Pasifik 13

Inflorescence 42, 53

Inhabitation model 68

Initial floristic composition 67

Intertidal 1, 2, 4, 9, 10, 14, 15, 25, 26, 27, 37, 50, 61, 69, 74, 87-90, 148, 178

Inundation 23, 25

J

Jalur hijau 135

Jamur arbuscular microhirsral 37

Jepang 11, 97

K

Kalimantan 4, 15, 16, 17, 139, 161, 62, 164

Kambium 45

Kandelia 54, 57

Karibia 2, 12, 13

Katastropik 69

Keanekaragaman 1, 13, 14, 24, 133, 161, 221

Kohort 64

Kondisi edaphic 56

Kuadrat 90, 176

Kutikel 49, 51

L

Laguna 15, 23, 24, 26

Laguncularia 50, 55

Laju balik ulang 61, 66

Laut Jawa 27

Laut Merah 13

Lentisel 45, 48, 184-189

Liat 32, 33, 115

Life form 82

Light gap regeneration phase 64

Limiting estuarine range 26

Lumnitzera littorea 42, 43, 85, 193

Lumnitzera racemosa 77, 86, 124, 194

Lumpur 21, 167, 173, 196, 202

M

Madu 53, 137, 163-165

Malay Peninsula 25

Malayan Region 10

Maluku 4, 16

Mangal 9, 25

Mature forest 65

Maturity 62, 63

Mediterranean Basin 10

Mesiko13

Mesir 13

Mesocarp 54

Mesofil 45, 49, 51

Metapenaeus spp. 139

Metode kuadran kontinu 178-180

Mikro habitat 152

Mitigasi bencana 134, 159, 171

Model Attim 42

Model Pettit 42, 43

Model Rauh 42, 43

Monoecy 52

Morfologi 1, 3, 6, 22, 24, 31, 41, 44, 45, 89, 115, 128, 150

Muka Laut Rata-rata 21, 30

Muson tropis 2

N

Nitrifikasi 38

Nira 163

Nectar 53

Northern Territory 13

Nusa Tenggara 4

Nypa 43, 53, 54, 56, 101, 159, 163, 207

Nypa fruticans 43, 86, 156, 163, 165, 179, 195

O

Offshore shoal 24

Oksidasi 38

Osbornia octodonta 46, 196,

Oseanografi 1, 14, 32, 119, 148, 150, 153

Outbreeding 52

P

P. monodon 139

Pakistan 13

Palisade 49, 51, 225

Papua 4, 17, 221

Papua Nugini 10

Pasang astronomis 27

Pasang-surut 21-25, 27, 28, 56, 62, 69, 118, 128, 170

Pasifik 1, 11

Pasifik Barat 2

Pasifik Utara 2

Pemanasan global 160, 171

Pembuluh kayu 45, 49

Pembungaan 6, 41, 52

Pemeliharaan lahan 147, 148, 188

Penaeus merguensis 139

Penanaman 4-6, 101, 108, 111, 113, 121-123, 126-129, 131, 132, 141, 151-155, 158, 159

Penebangan 5, 6, 33, 42, 43, 74, 79, 80, 89, 95-109, 113, 126, 132, 133, 135, 147, 150, 169-171

Penyerbuk 53

Penyerbukan 6, 52, 53

Peraturan 134, 135, 141-147, 167

Perendaman 21, 23, 25, 26, 28, 29, 30, 34, 36, 38, 41, 46, 74, 81, 87, 89, 117, 131, 178

Persemaian 125, 126

Pertukaran gas 25, 45, 48

Phempis acidula 179, 197

Plagiotropic 43

Plumule 56

Pneumatofor 37, 46, 47, 48

Potensial osmotik 45, 50, 51

Potensial redoks 38

Profil vegetasi 82, 87, 89, 90, 177,

Propagule 6, 25, 43, 54-57, 62, 67, 114, 115, 123-125, 129, 153, 155, 165

Propagule sorting 25

Protandry 53

Protogynous 53

Q

Queensland 12, 13

R

Rap-rap 96, 100, 105-108

Rataan alluvial 24

Rataan pasang-surut 24

Reduksi 38, 39, 222

Regenerasi 6, 43, 50, 61, 64, 65, 73-76, 87, 96, 102, 104, 106, 113, 150, 153, 154, 161, 169, 170,

Rehabilitasi 4-6, 108, 109, 111-113, 119-122, 126, 129, 131-134, 144, 146, 148, 151, 155, 158, 159,

Relay floristic model 68

Replacement 69

Restorasi hidrologi 6, 109, 120, 122, 127, 129, 131, 155, 158, 159
Reversible 70
Rhizophora apiculata 22, 58, 131, 132, 179, 198
Rhizophora 4, 10, 18, 22, 43-48, 51-56, 58, 62, 65, 78, 82, 85, 86, 89-93, 96-98, 100, 104, 114, 123, 124, 129, 131, 132, 141, 151, 155, 156, 198, 235
Rhizophora mangle 10, 207
Rhizophora mucronata 44, 45, 48, 58, 114, 123, 199
Rhizophora stylosa 58, 200
Rip current 149
River run-off 23

S

Salinitas 21-23, 25, 26, 32-34, 37, 45, 69, 70, 71, 81, 87, 88, 125, 131, 140, 171, 178
Salt accumulators 50
Salt excluders 50
Salt gland 50
Scylla serrata 167, 169
Scyphophora hydrophyllacea 85, 179, 201
Sea level rise 71, 216
Sedimen 5, 18, 23, 32, 36, 38, 62, 63, 67, 70, 72, 77, 78, 104, 109, 113, 115, 116, 118, 122, 149, 150, 227
Sedimen terrigenous 23
Sedimentasi 18, 70, 72, 77, 113, 118, 122, 149, 150,
Seedling 64, 238, 246, 253
Segara Anakan 15
Selandia Baru 11
Sel sekretori 51
Semi-arid 13
Senescence 62, 63, 72, 74, 75
Sero 18, 97

Siklik 66, 68
Siklus hutan 61, 75
Silvofishery 140
Sistem akar 46
Sistem blok 96, 97
Sistem hidrologi 26, 30, 33
Site maximal canopy height 63
Site pre-emption 68
Sonneratia 26, 46, 47, 51, 52, 54, 124
Sonneratia alba 47, 58, 96, 114, 124, 125, 131, 156, 165, 179, 202
Sonneratia caseolaris 164, 165, 203
Sonneratia ovata 204
Spot check method 180
Stoma 55
Struktur komunitas 6, 22, 77, 81, 86, 101, 114, 137, 174, 175, 177, 179, 180
Sub-humid 13
Sub-tropis 1, 10
Succulent 45, 52
Suksesi 61, 66-68, 70
Suksesi ekologis 66
Suksesi sekunder 67, 154, 169, 170
Sulawesi 4, 15, 16, 18, 139, 156, 221
Sumatera 4, 15, 17, 27, 138, 139, 140

T

Taman Nasional Bunaken 34, 57, 59, 61, 70-76, 80, 95, 99, 100, 101, 155, 156,
Tambak 4, 17-19, 31, 95, 107-109, 118, 122, 129, 130, 132, 133, 139, 140, 145, 146, 155, 157, 168, 228
Tekstur 21, 24, 32-33, 44, 45, 78, 81, 116
Teluk Tomini 15, 19, 82, 84, 86, 88-90, 168

Tethys 11
Ting putih 96
Tolerance model 68
Topografi 24, 31, 116, 117, 150
Tragedy of common properties 147
Transgressed bedrock coast 24
Transpirasi 45, 49, 50
Tropical intertidal closed-forest community 9
Tropis 1, 9, 10, 45, 62
True mangrove 1
Tsunami 3, 4, 71, 151, 159, 160, 219
Turnover 65, 68
Two-way classification 82

V

Venezuela 13

Viviparous 54
Vivipary 56

W

Water-borne propagules 54
Watson's Inundation Classes 25
Winter rains 13

X

Xeromorfik 45, 49
Xylem 45, 51
Xylocarpus granatum 46, 47, 179, 205
Xylocarpus moluccensis 206

Z

Zonasi 25, 82, 87, 111

Tentang Penulis



Rignolda Djamaluddin dilahirkan di Manado 21 Maret 1967. Studi S1 diselesaikan di Program Studi Manajemen Sumber daya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Sam Ratulangi (FPIK – Unsrat) pada tahun 1989. Studi S2 diselesaikan di Program Studi Ilmu Perairan Institut Pertanian Bogor pada tahun 1994. Studi S3 diselesaikan di School of Natural and Rural Systems Management dan School of Life Science, University of Queensland, Australia pada tahun 2002.

Penulis adalah dosen tetap di Program Studi Ilmu Kelautan, FPIK – Unsrat sejak tahun 1991, memimpin Perkumpulan Kelola (bergerak di bidang riset, advokasi lingkungan dan hak-hak masyarakat pesisir) sebagai Direktur sejak tahun 2004, sebagai Ketua Asosiasi Nelayan Tradisional (Antra) di Sulawesi Utara sejak tahun 2009. Sebagai dosen, penulis menjalankan tugas tambahan sebagai Anggota Senat Unsrat periode 2014 – 2018, dan sebagai Koordinator Pusat Pengelolaan dan Pengembangan Kuliah Kerja Nyata Terpadu di Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat sejak September 2014.

Sekitar 29 tahun mempelajari mangrove, beberapa capaian penting sudah dicapai, antara lain bisa dibaca dalam tulisan berikut: *“The sustainable use and conservation of the mangrove ecosystems of Bunaken National Park*, *“Atlas mangrove Teluk Tomini”*, *“A site history and field guide for ecological mangrove rehabilitation in Tiwoho Village”*, *“The mangrove flora in Tomini Bay”*, *“The mangrove flora and their physical habitat characteristics in Bunaken National Park, North Sulawesi Indonesia”*. Empat manuskrip yang sedang dalam proses review yakni: *“Insects attacks on mangrove propagules”*, *“Growth rate patterns of tropical mangroves”*, *“Present condition of mangrove environment and community structure in Tomini Gulf”*, and *“The practice of hydrological restoration to rehabilitate the abandoned shrimp ponds”*, juga capaian yang penting. Tentang buku ini, penulis berharap bisa menjadi bacaan bermanfaat bagi siapa saja yang ingin mempelajari mangrove baik sebagai tumbuhan, ekosistem, maupun sebagai sumber daya pantai yang penting.

Mangrove adalah istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan sekelompok tumbuhan tingkat tinggi yang hidup di daerah intertidal bergaram dengan batas persebaran hingga wilayah-wilayah yang memiliki temperatur atmosfer tidak kurang dari 20° C. Tumbuhan ini berhasil mengembangkan adaptasi biologi, anatomi dan fisiologis sehingga mampu mengatasi kondisi habitatnya yang penuh tekanan.

Indonesia memiliki mangrove terluas di Asia Tenggara dengan keanekaragaman jenis yang tinggi. Tetapi, kegagalan dalam pengelolaannya menyebabkan kita kehilangan begitu besar luasan mangrove. Padahal, sebagai tumbuhan maupun ekosistem, mangrove memiliki manfaat yang sangat penting.

Isi buku ini merupakan hasil belajar dan pemahaman komprehensif penulis terkait mangrove baik pada tingkat teoritis maupun praktis. Kehadirannya diharapkan dapat bermanfaat terutama untuk mewujudkan pengelolaan ekosistem mangrove secara berkelanjutan.

