

REVIEW:

Ekosistem Mangrove di Jawa: 2. Restorasi**Mangrove ecosystem in Java: 2. Restoration****AHMAD DWI SETYAWAN^{1,2}, KUSUMO WINARNO^{1,2}, PURIN CANDRA PURNAMA¹**¹Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta 57126²Program Studi Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Sebelas Maret Surakarta 57126

Diterima 15 Desember 2002. Disetujui 15 Juli 2003.

ABSTRACT

The restoration of mangroves has received a lot of attentions world wide for several reasons. Mangrove ecosystem is very important in term of socio-economic and ecology functions. Because of its functions, wide range of people paid attention whenever mangrove restoration taken place. Mangrove restoration potentially increases mangrove resource value, protect the coastal area from destruction, conserve biodiversity, fish production and both of directly and indirectly support the life of surrounding people. This paper outlines the activities of mangrove restoration on Java island. The extensive research has been carried out on the ecology, structure and functioning of the mangrove ecosystem. However, the findings have not been interpreted in a management framework, thus mangrove forests around the world continue to be over-exploited, converted to aquaculture ponds, and polluted. We strongly argue that links between research and sustainable management of mangrove ecosystem should be established.

© 2003 Jurusan Biologi FMIPA UNS Surakarta

Key words: mangrove, restoration, management, Java.**PENDAHULUAN**

Ekosistem mangrove di Jawa mengalami penurunan sangat drastis, akibat tingginya tekanan penduduk yang berimplikasi pada besarnya kegiatan pertambakan, penebangan hutan, reklamasi dan sedimentasi, serta pencemaran lingkungan. Ekosistem mangrove memiliki fungsi sosial-ekonomi, sosial-budaya, dan peran ekologi yang sangat penting, sehingga banyak pihak (*stakeholders*) yang memberi perhatian lebih untuk mengembalikan fungsi ekosistem ini melalui restorasi. Restorasi mangrove dapat menaikkan nilai sumber daya ini, memberi mata pencaharian penduduk, mencegah kerusakan pantai, menjaga biodiversitas, menjaga hasil tangkapan perikanan, serta mempengaruhi kehidupan masyarakat di sekitarnya baik secara langsung atau tidak langsung (Setyawan dkk., 2003).

Terdapat tiga kata kunci yang penting dalam manajemen ekosistem mangrove, yaitu restorasi, kreasi (pembentukan), dan pengkayaan spesies (Lewis, 1990; Mish, 1989). Restorasi adalah tindakan

untuk mengembalikan sesuatu ke kondisi semula; kreasi adalah tindakan untuk membuat, menemukan atau menghasilkan sesuatu; sedangkan pengkayaan adalah menambahkan atau menaikkan sesuatu (Mish, 1989). Selanjutnya muncul istilah rehabilitasi sebagai payung yang mencakup istilah restorasi dan kreasi (Streever, 1999). Menurut Whitten *et al.*, (2000) restorasi adalah suatu taktik untuk mengembalikan lahan yang terdegradasi ke kondisi asli atau mendekati kondisi asli, sedangkan rehabilitasi adalah suatu strategi manajemen untuk mencegah degradasi suatu lanskap dan menjadikannya bermanfaat. Di samping itu terdapat pula istilah reforestasi dan afforestasi. Menurut Lewis dan Streever (2000), reforestasi adalah penanaman mangrove pada bekas area hutan mangrove, sedang afforestasi adalah penanaman mangrove pada area yang semula bukan hutan mangrove.

Tulisan ini bermaksud menjelaskan aktivitas restorasi ekosistem mangrove khususnya di Jawa, sehingga fungsinya dapat kembali seperti semula. Penelitian yang luas telah dilakukan untuk memahami ekologi, struktur dan fungsi ekosistem mangrove. Namun, temuan-temuan tersebut belum diterapkan dalam kerangka kerja manajemen, terbukti hutan mangrove di seluruh dunia terus mengalami penurunan terutama akibat eksploitasi berlebih,

▼ Alamat korespondensi:

Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126

Tel. & Fax.: +62-271-663375.

e-mail: biology@mipa.uns.ac.id

konversi ke tambak ikan dan udang, serta pencemaran lingkungan. Oleh karena itu perlu kiranya mengaitkan penelitian mangrove dengan manajemen lestari ekosistem tersebut.

SEJARAH RESTORASI MANGROVE

Penanaman dan pengelolaan mangrove memiliki sejarah panjang di Asia Tenggara (Watson, 1928), meskipun catatan tertua mengenai manajemen mangrove sebagai penghasil kayu terdapat di Sundarbans, suatu hutan mangrove seluas 6.000 km² di perbatasan India dan Banglades, yang dikelola sejak 1769, dimana rencana kerja lengkap pengelolannya telah disempurnakan pada tahun 1893-1894 (Chowdhury dan Ahmed, 1994). Hutan mangrove seluas 40.000 ha di Matang, Malaysia yang dikelola sejak 1902 untuk menghasilkan kayu bakar (Watson, 1928), merupakan contoh tertua dan terbaik manajemen hutan mangrove (Khoon dan Eong, 1995).

Pada saat ini mangrove dikelola secara terintegrasi untuk budidaya ikan dan udang (Primavera, 1995), ekoturisme (Bacon, 1987), mencegah erosi (Teas, 1977), eksperimen biologi (Rabinowitz, 1978), melindungi dari badai (Hamilton dan Snedaker, 1984), dan merestorasi kerusakan ekosistem akibat tumpahan minyak (Duke, 1996). Restorasi ekosistem mangrove yang rusak antara lain dibahas oleh Watson (1928), Noakes (1951), Chapman (1976), Lewis (1982), Hamilton dan Snedaker (1984), Lewis (1990a, 1990b), Crews dan Lewis (1991), Cintron-Molero (1992), Saenger dan Siddiqi (1993), Siddiqi *et al.* (1993), dan Field (1996).

Penanaman kembali hutan-hutan daratan yang rusak (reboisasi) telah dilakukan selama ratusan tahun, namun reboisasi ekosistem mangrove baru akhir-akhir ini mendapatkan perhatian serius, seperti di Indonesia, Malaysia, Banglades, dan Cina. Banglades mempelopori penghutanan mangrove dengan sukses sejak 1966 di atas tanah seluas 113.000 ha (Chowdhury, 2000). Malaysia sejak 1980 menanam berbagai tumbuhan mangrove untuk membatu regenerasi alami dan memantapkan penutupan hutan (Hassan, 1981). Penghutanan mangrove di Cina dimulai pada akhir 1950-an dan diaktifkan lagi pada tahun 1980 (Baowen *et al.*, 1997). Di Indonesia, reboisasi mangrove diawali di Sinjai, Sulawesi pada tahun 1985 diprakarsai sekelompok nelayan. Kesuksesan upaya ini mendorong reboisasi mangrove di seluruh Indonesia (Chowdhury, 1996). Di atas kertas, rehabilitasi mangrove mendapatkan perhatian cukup besar dalam *Strategi Nasional Pengelolaan Mangrove di Indonesia* (Anonim, 2003), namun implementasi di lapangan tampaknya masih jauh dari harapan. Kegagalan beberapa kegiatan restorasi ditengarai karena pendekatan “proyek” yang menyebabkan lemahnya manajemen pelaksanaan.

Silvikultur mangrove (penanaman, pemeliharaan, dan pemanenan) telah dilaksanakan sejak abad ke-

19 di Indonesia, Malaysia, Filipina, dan Vietnam (Teas, 1980; Teas *et al.*, 1975). Kegiatan manajemen meliputi penanaman, penjarangan, penyiangan spesies yang tidak dikehendaki, dan persemaian propagul, khususnya *Rhizophora*. Informasi silvikultur mangrove untuk restorasi relatif masih sedikit. Pada saat ini telah diketahui spesies-spesies pohon yang dapat digunakan untuk restorasi, namun kegiatan penciptaan ekosistem yang bernilai bagi perikanan dan konservasi masih jarang (Kaly dan Jones, 1996).

Salah satu upaya mengintegrasikan perikanan dan konservasi mangrove dilakukan oleh Perhutani dan masyarakat di pantai utara Jawa dengan sistem “empang parit” (“tambak tumpangsari”). Sistem ini merupakan pengetahuan asli masyarakat Indonesia, dimana pada hutan mangrove dibuat lajur-lajur tambak untuk memelihara ikan, atau sebaliknya di atas tambak dibuat lajur-lajur tumbuhan mangrove, misalnya di Brebes, Pemalang, Cirebon, Indramayu, Purwakarta, Karawang, dan Tanggerang (Anonim, 1991, 1997; Fitzgerald dan Savitri, 2002; Fitzgerald, 1997, 2002; Tessar dan Insan, 1993; Hartina, 1996; Widiarti dan Effendi, 1989).

Di Jawa, sejarah restorasi ekosistem mangrove tidak banyak dicatat, namun berbagai individu dan lembaga, baik pemerintah maupun swasta, diyakini terlibat dalam kegiatan ini meskipun jumlahnya relatif terbatas. Salah satu contoh restorasi hutan mangrove yang dilakukan secara kontinyu dan cukup berhasil adalah penanaman *Rhizophora* spp. di sepanjang pantai utara Rembang, khususnya di kecamatan kota. Pada tahun 1980-an, pemerintah setempat bersama para pihak melakukan restorasi ekosistem mangrove pada area dengan panjang sekitar 3000 m, dan lebar antara 100-300 m. Pada saat ini tegakan yang terbentuk sudah dapat menjalankan fungsi utamanya sebagai penahan gelombang laut, angin dan mencegah pantai dari abrasi. Untuk menjaga kelestarian tumbuhan ini, masyarakat setempat diikutsertakan dalam kelompok-kelompok tani yang memiliki hak untuk memanen ekosistem yang ada, dengan tetap memperhatikan kelestariannya. Salah satu kegiatan terkait konservasi yang cukup berhasil adalah pembibitan *Rhizophora* spp. untuk memenuhi kebutuhan bibit proyek-proyek rehabilitasi hutan bakau di Jawa. Kawasan ini merupakan salah satu pusat pembibitan *Rhizophora* spp. terbesar di Jawa. Pantai utara Rembang merupakan *tidal flat* bagi sungai-sungai di sekitarnya, seperti Sungai Delok, Sungai Anyar, dan Sungai Lasem, sehingga memungkinkan terus berlanjutnya perluasan ekosistem mangrove ke arah laut. Suatu tindakan yang hingga saat ini masih terus dilakukan oleh pemerintah setempat. Pada akhirnya lokasi ini bernilai konservasi karena menarik berbagai hidupan liar yang megah, khususnya spesies-spesies burung air. Di samping itu terdapat pula nilai edukasi dan turisme, dimana sering disinggahi pelancong di jalur pantura dan menjadi lokasi praktikum dan penelitian mahasiswa dari Universitas Sebelas Maret Surakarta, Universitas

Diponegoro Semarang, dan lain-lain (ADS, 2002-2003, pengamatan pribadi). Upaya restorasi mangrove dengan pola serupa, yakni memberi peran aktif kepada masyarakat juga dilakukan di Probolinggo, Jawa Timur (Sudarmadji, 2003, komunikasi pribadi). Tampaknya pelibatan aktif masyarakat merupakan salah satu unsur utama keberhasilan pengelolaan kawasan pesisir (Suara Pembaruan, 03/03/2002).

Salah satu contoh upaya restorasi mangrove yang kurang berhasil terjadi di muara Sungai Bogowonto, satu-satunya ekosistem mangrove di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan berbatasan dengan Propinsi Jawa Tengah. Upaya ini telah dilakukan sejak tahun 1990-an, namun hasilnya tidak memuaskan. Tidak adanya kesamaan persepsi antara para pihak yang berkepentingan tampaknya menjadi penyebab utama kegagalan. Universitas, lembaga swadaya masyarakat, dan sebagian organ pemerintah setempat merasa berkepentingan untuk menjaga kelestarian ekosistem mangrove. Pengusaha dan sebagian organ pemerintah lainnya mencoba mengambil keuntungan ekonomi dengan membuat tambak. Adapun masyarakat setempat secara turun-temurun memanfaatkan tepian lahan untuk bertani dan bagian tengah untuk padang penggembalaan kerbau (*Bos bubalis*). Semua kepentingan tersebut tidak dikelola secara integratif, sehingga boleh jadi saling merugikan. Upaya konservasi dengan mengembalikan lahan menjadi hutan mangrove dapat menafikan upaya pengusaha untuk membuat tambak dan upaya petani untuk terus memanfaatkannya sebagai lahan bertani dan menggembalakan ternak. Upaya pembuatan tambak dapat menggusur lahan bercocok tanam dan penggembalaan ternak, serta berpotensi menghancurkan lahan mangrove yang tersisa. Sedangkan upaya petani mempertahankan lahan untuk bertanam dan menggembala ternak dapat menghambat upaya perluasan tambak dan mematikan benih mangrove yang diharapkan dapat menyebar dan menutupi seluruh laguna sebagaimana dahulu. Apabila tidak dikelola dengan tepat, permasalahan ini akan menghabiskan energi, dana, dan sumber daya tanpa hasil yang memadai (ADS, 2002-2003, pengamatan pribadi).

Kegiatan restorasi lahan mangrove di Jawa dengan ukuran yang signifikan, antara lain juga telah dilakukan di teluk Jakarta, Muara Angke, Bekasi, Indramayu, Pemalang, Tegal, dan Demak dengan dipelopori oleh Yayasan Mangrove Indonesia (Anonim, 2003). Kegiatan restorasi juga dilakukan di Segara Anakan oleh Badan Pengelola Kawasan Segara Anakan (BPKSA) (Suara Pembaruan, 19/04/2003), muara sungai Porong oleh Pemerintah Kabupaten Sidoarjo (Republika Online, 15/07/2002), Telukawur-Semat, Jepara oleh Universitas Diponegoro Semarang (Suara Merdeka, 09/04/2003), dan lain-lain. Dalam jumlah yang lebih kecil, kegiatan ini diyakini banyak dilakukan di berbagai lokasi, termasuk pada muara-muara sungai di pantai selatan Jawa, misalnya di Purworejo dan Kebumen (ADS, 2002-2003, pengamatan pribadi).

TUJUAN RESTORASI

Tujuan utama restorasi mangrove adalah mengelola struktur, fungsi, dan proses-proses ekologi pada ekosistem tersebut, serta mencegahnya dari kepunahan, fragmentasi atau degradasi lebih lanjut (Anonim, 2001). Restorasi diperlukan apabila ekosistem telah terdegradasi dan berubah jauh, tidak dapat memperbaharui diri secara alami untuk kembali ke kondisi semula, serta tidak dapat melaksanakan fungsi sebagaimana mestinya, sehingga memerlukan pengelolaan dan perlindungan (Stevenson *et al.*, 1999; Morrison, 1990). Pada kondisi ini, homeostasis ekosistem secara permanen terhenti, sehingga menghambat proses suksesi sekunder secara normal untuk menyembuhkan area yang rusak (Stevenson *et al.*, 1999). Konsep ini belum banyak dibahas, pembahasan baru dilakukan antara lain oleh Detweiler *et al.* (1976), Ball (1980), dan Lewis (1982).

Tujuan restorasi lainnya adalah memperkaya lanskap, mempertahankan keberlanjutan produksi sumberdaya alam (khususnya perikanan dan kayu), melindungi kawasan pantai, serta fungsi sosial budaya (Watson, 1928; Field, 1996; Morrison, 1990; Lewis, 1992; Aksornkoea, 1996; Stevenson *et al.*, 1999). Tujuan restorasi perlu ditetapkan berdasarkan masukan dari para pihak dan merupakan konsensus bersama, sehingga mendapat dukungan secara luas (Fitzgerald, 1997), tanpa dukungan para pihak setempat keberhasilan restorasi dalam jangka panjang sangat kecil (Primavera dan Agbayani, 1996).

Keuntungan restorasi komunitas mangrove meliputi: konservasi dan pengembalian spesies yang pernah ada, spesies yang memiliki daerah jelajah luas, dan burung-burung migran; mendaur-ulang nutrisi dan menjaga keseimbangan nutrisi pada muara sungai; melindungi jaring-jaring makanan pada hutan mangrove, muara, dan laut; menjaga habitat fisik dan tempat pembesaran anakan berbagai spesies laut komersial; melindungi lahan dari badai, menjaga garis pantai, dan mengendapkan lumpur; meningkatkan kualitas dan kejernihan air dengan menyaring dan menjebak sampah dan sedimen yang dibawa air permukaan dari hulu sungai. Pada akhirnya, preservasi ekosistem mangrove membantu menjaga keseluruhan kondisi alami dan keindahan panorama muara sungai dan nilai ekonomi kawasan pesisir (Anonim, 2001).

Dalam restorasi mangrove kadang-kadang hanya fungsi tertentu saja yang ingin dikembalikan, karena beberapa parameter seperti kondisi dan tipe tanah, serta spesies tumbuhan dan hewan telah berubah (Lewis, 1990b, 1992). Restorasi yang bertujuan mengembalikan suatu area sepenuhnya ke kondisi alami seperti sebelum dibangun, memiliki tingkat kegagalan jauh lebih tinggi dibandingkan restorasi karakter dan fungsi ekosistem tertentu saja (Lewis *et al.*, 1995). Restorasi ke tipe habitat asli kemungkinan juga bukan pilihan terbaik untuk skala regional, khususnya apabila ekosistem yang rusak hanya

bagian kecil dari suatu tipe ekosistem yang umum, namun apabila tipe ekosistem tersebut sangat langka maka restorasi ke kondisi asli barangkali diperlukan (Cairns, 1988). Dalam tulisan ini, hanya disinggung praktek restorasi mangrove dengan tujuan melindungi pantai, mengembalikan tambak yang rusak, serta mengatasi kerusakan akibat tumpahan minyak.

Pelindung pantai

Di kawasan yang penuh aktivitas dan padat penduduk, restorasi dapat ditujukan untuk melindungi pantai (Stevenson *et al.*, 1999). Di pantai utara Jawa, abrasi merupakan fenomena yang sering terjadi, seperti di Tangerang (Media Indonesia, 19/08/2002, 03/10/2003), Jakarta (Media Indonesia, 17/06/2002), Indramayu (Pikiran Rakyat, 27/12/2002; Republika Online, 17/04/2002; Suara Pembaruan, 07/07/2002, 11/12/2002; Pikiran Rakyat, 14/03/2003), Cirebon (Media Indonesia, 08/04/2003), Brebes (Media Indonesia, 28/07/2003), Tegal (Kompas, 06/08/2002), Pemalang, Pekalongan (Media Indonesia, 31/05/2002; Republika Online, 15/07/2003), Kendal, Semarang, Demak, Jepara, dan Pati (Kompas, 15/08/2002; Suara Merdeka, 26/01/2003).

Pembabatan mangrove di beberapa kawasan terkait erat dengan kerusakan ekosistem ini, meskipun dapat pula terjadi karena perubahan arus laut akibat pengerukan pasir (Pikiran Rakyat, 04/04/2002; Media Indonesia, 15/09/2003), reklamasi pantai (Kompas, 06/10/2003), gangguan/pemindahan muara sungai (Kompas, 10/11/2002), dan kerusakan terumbu karang (Whitten *et al.*, 2000). Restorasi ekosistem mangrove diharapkan dapat memulihkan kondisi lingkungan seperti semula, meskipun harapan ini tidak selalu berhasil mengingat pada kasus tertentu kerusakan yang timbul bersifat permanen sehingga penanaman mangrove tidak dapat mengatasi, tanpa perubahan kondisi-kondisi lain yang menyebabkan perubahan arus laut. Di samping itu kesembuhan ekosistem mangrove bersifat jangka panjang, dimana pada kasus tertentu, kecepatan abrasi jauh melebihi kemampuan tumbuhnya mangrove. Meskipun pada akhirnya abrasi akan terhenti dengan sendirinya apabila pola arus laut kembali seimbang. Dalam hal ini pembangunan tanggul dan pemecah gelombang tampaknya lebih sesuai (Pikiran Rakyat, 27/12/2002).

Restorasi mangrove pada bekas tambak udang

Restorasi secara khusus dapat pula ditujukan untuk mengembalikan bekas tambak udang ke ekosistem mangrove. Hingga kini sangat sedikit laporan berkenaan dengan restorasi tambak (Stevenson dkk., 1999). Pembangunan tambak udang merupakan salah satu penyebab utama kerusakan ekosistem mangrove di Jawa. Tambak ikan memiliki sejarah panjang di Jawa, dimana bandeng (*Chanos chanos*) telah dibudidayakan sejak abad ke-15, namun pada

tahun 1970 terjadi akselerasi pertambakan, khususnya dengan ditemukannya metode budidaya intensif udang di tambak (Fitzgerald dan Savitri, 2002), sehingga sejumlah besar area mangrove di pantai utara Jawa diubah menjadi tambak. Namun tambak udang intensif berkonsekuensi pada perubahan kondisi hidrologi, edafit (tanah sulfat asam), penyakit, dan pencemaran lingkungan, sehingga ratusan hektar tambak beserta sarana produksinya dibiarkan rusak tidak terurus (Setyawan dkk., 2002). Dalam kondisi demikian, Stevenson *et al.* (1999) menyarankan agar dilakukan restorasi mangrove pada tambak udang yang rusak, diikuti pembukaan area mangrove baru untuk tambak udang.

Pengamatan di beberapa kawasan pantai utara Jawa menunjukkan, tingginya sedimentasi menyebabkan garis pantai cenderung terus menuju ke arah laut, dengan segaris mangrove tepi sebagai batas antara laut dengan lahan budidaya masyarakat, umumnya berupa tambak bandeng, tambak udang atau tambak garam. Mangrove tepi ini sekaligus berfungsi sebagai pelindung dari ombak, badai, dan abrasi. Dalam periode tertentu, luasan dataran lumpur yang ditumbuhi mangrove cukup untuk diubah menjadi tambak dengan menyisakan segaris mangrove tepi, biasanya berupa tegakan *Avicennia* atau *Rhizophora*. Pembukaan kawasan mangrove ini umumnya dimulai dengan proses pelelangan oleh aparat desa setempat, sehingga area ini berubah dari tanah publik menjadi tanah pribadi. Dalam hal ini, tambak lama letaknya akan semakin jauh dari pantai, akumulasi perubahan kondisi hidrologi, edafit, penyakit, dan pencemaran lingkungan menyebabkan tambak ini tidak lagi ekonomis untuk diusahakan. Upaya untuk mengembalikan area ini kembali ke ekosistem mangrove merupakan tindakan mahal, mengingat tanah tersebut merupakan milik pribadi, serta adanya perubahan pola hidrologi. Akibatnya banyak bekas-bekas tambak yang dibiarkan tidak terawat (Jawa: *bera*). Dalam jumlah cukup signifikan, kondisi demikian dapat dijumpai pada "cekungan" antara gunung Muria dan gunung Lasem, salah satu produsen bandeng budidaya terbesar di Jawa, yang meliputi Kabupaten Pati dan Rembang. Pada kondisi ketersediaan air tawar mencukupi, secara gradual bekas tambak dapat diubah menjadi sawah, seperti di sepanjang pesisir Demak, meskipun untuk itu perlu dibangun tanggul dan bendungan untuk mencegah masuknya air laut di kala pasang (ADS, 2002-2003, pengamatan pribadi).

Di Indonesia, upaya restorasi mangrove pada bekas tambak udang dalam luasan yang signifikan dan cukup berhasil antara lain dilakukan di teluk Benoa, Bali. Budidaya udang di kawasan ini dimulai pada tahun 1991, dan program restorasi dimulai sejak tahun 1995, dimana sekitar 350 ha tambak udang rusak ditanami mangrove kembali. Penanaman dimulai dari bekas tambak paling dekat daratan menuju arah laut (Stevenson dkk., 1999).

Restorasi akibat tumpahan minyak

Mangrove yang mati akibat tumpahan minyak dapat direstorasi untuk mengembalikan fungsi dan penampakannya. Langkah ini dapat mempercepat kesembuhan ekosistem. Biasanya restorasi hanya ditekankan pada satu atau beberapa spesies kunci, restorasi ekosistem mangrove yang kompleks secara keseluruhan tergantung pada proses alami. Regenerasi baik secara alami maupun buatan segera setelah tumpahan minyak tidak mungkin dilakukan, karena minyak yang tersisa akan mematikan atau menghambat pertumbuhan mangrove. Contoh toksisitas pasca tumpahan minyak ditunjukkan di Panama tahun 1986, dimana propagul *Rhizophora* yang ditanam 4 dan 6 bulan pasca kecelakaan semuanya mati, sedang propagul yang ditanam 9 bulan atau lebih setelah kecelakaan dapat hidup (IPIECA, 1993).

Lama waktu degradasi racun minyak bumi tergantung tipe tanah, arus pasang surut, dan curah hujan. Penanaman mangrove tidak harus menunggu racun tersebut sepenuhnya hilang. Regenerasi alamiah mangrove yang mati akibat tumpahan minyak dapat terjadi, tetapi proses ini kemungkinan sangat lambat karena adanya sisa-sisa minyak yang beracun, kurangnya suplai propagul dari kawasan sekitarnya atau hambatan propagul untuk mencapai lokasi, akibat adanya sisa-sisa batang dan akar mangrove mati yang menghalanginya (IPIECA, 1993).

Regenerasi buatan atas ekosistem mangrove yang rusak oleh tumpahan minyak dapat dipercepat dengan mengganti tanah tercemar pada lubang penanaman dengan tanah dari daratan, baru ditanami propagul. Dapat pula dengan menanam bibit pada wadah yang memisahkannya dari tanah tercemar, dengan berjalannya waktu wadah ini akan rusak dan toksisitas tanah akan menurun, sehingga bibit dapat tumbuh normal. Dapat pula dilakukan pembibitan propagul, sehingga bibit akan siap ditanam pada saat toksisitas tanah sudah menurun. Cara regenerasi di atas berhasil diterapkan di Panama, dimana area seluas 75 ha ditanami lebih dari 86.000 bibit mangrove. Dua tahun pasca tumpahan minyak, saat regenerasi alami mulai terbentuk, bibit hasil penanaman telah mencapai tinggi 1 meter dengan tingkat keberhasilan hidup lebih dari 90% (IPIECA, 1993).

Di Jawa restorasi ekosistem mangrove yang rusak akibat tumpahan minyak bumi tampaknya belum pernah dilakukan. Dalam skala Indonesia, hal ini pernah dilakukan di delta Mahakam, Kalimantan Timur dengan bibit *Sonneratia caseolaris* (Dutrieux *et al.*, 1990). Di Jawa, dampak negatif tumpahan minyak bumi terhadap ekosistem mangrove dapat diamati di sekitar sungai Donan, Segara Anakan, Cilacap dimana terdapat industri pengilangan minyak. Kawasan ini secara periodik terpengaruh tumpahan minyak baik dari industri tersebut maupun kapal-kapal tangker yang melayaninya. Ukuran pohon mangrove yang dekat dengan lokasi tersebut umumnya lebih kecil, lebih pendek, dan lebih jarang dibandingkan lokasi yang jauh (Hardjosuwarno, 1989).

KERANGKA KERJA RESTORASI

Secara umum dapat diformulasikan tiga langkah utama untuk meriset restorasi habitat mangrove, yaitu: (i) menggambarkan status ekosistem, serta menentukan tujuan dan kriteria keberhasilan restorasi (Lewis, 1990; Kusler dan Kentula, 1990; Pratt, 1994), (ii) pengembangan teknologi, meliputi pemilihan spesies, penentuan perlu tidaknya pekerjaan fisik dan restorasi buatan (Kaly dan Jones, 1996), (iii) menilai keberhasilan restorasi, berdasarkan besarnya biaya dan kecepatan kesembuhan ekosistem (Henry dan Amoros, 1995), yakni kembalinya aspek fungsional ekosistem tersebut (Kaly dan Jones, 1996).

Restorasi biasanya ditekankan pada penanaman tumbuhan mangrove, namun sebelumnya perlu diketahui penyebab kerusakan, menghilangkan penyebab tersebut, dan membiarkan proses penyembuhan secara alami (Lewis dan Streever, 2000; Hamilton dan Snedaker, 1984). Keberhasilan restorasi mangrove akan meningkat apabila kondisi habitat telah diidentifikasi; memperhatikan hak milik atas tanah dan rencana perlindungan habitat liar secara menyeluruh; pengelolaan hidrologi dan introduksi tumbuhan asing untuk memperkaya, merestorasi, dan menjaga keanekaragaman spesies; dan terdapat peraturan perundang-undangan yang tegas (Anonim, 2001). Hutan mangrove dapat memulihkan diri sendiri tanpa upaya restorasi melalui suksesi sekunder pada periode 15-30 tahun, apabila siklus hidrologi normal dan tersedia biji atau propagul dari ekosistem mangrove di sekitarnya (Watson, 1928; Lewis, 1982; Cintron-Molero, 1992). Regenerasi buatan hanya diperlukan untuk mempercepat proses alami (McKee dan Faulkner, 2000) atau apabila kesembuhan alami tidak mungkin terjadi akibat perubahan homeostasis yang terlalu jauh (Lewis dan Streever, 2000). Kegagalan melihat penyebab degradasi merupakan penyebab utama kegagalan restorasi mangrove.

Menurut Sanyal (1998) antara tahun 1989-1995 area seluas 9,050 ha di Bengali Barat, India ditanam mangrove, namun tingkat keberhasilannya hanya 1,52%. Sebaliknya Soemodihardjo *et al.* (1996) melaporkan bahwa hanya 10% area yang ditebangi di Tembilahan, Indonesia (715 ha) yang memerlukan penanaman ulang, sebab kawasan tersebut masih menyisakan lebih dari 2.500 seedling alami setiap ha. Mangrove dapat juga dibentuk dengan menghutankan kawasan intertidal yang tidak bervegetasi atau area lain yang secara alami tidak memungkinkan kedatangan propagul mangrove, misalnya tanah timbul, namun area ini sering juga melayani tujuan ekologis lain seperti menjadi tempat mencari makan burung-burung air (Lewis dan Streever, 2000). Penanaman ini juga dapat mempengaruhi vegetasi akuatik lain seperti padang lamun (Phillips dan McRoy, 1980).

Terdapat lima langkah penting bagi keberhasilan restorasi mangrove (Lewis dan Marshall, 1997):

- (i) Pemahaman autekologi setiap spesies mangrove, meliputi pola reproduksi, distribusi propagul, dan pematapan seedling.
- (ii) Pemahaman pola hidrologi yang mempengaruhi distribusi, pematapan, dan pertumbuhan spesies mangrove yang diinginkan.
- (iii) Pemahaman perubahan lingkungan yang dapat mencegah suksesi sekunder secara alami.
- (iv) Restorasi sifat hidrologi, dan bila memungkinkan penggunaan propagul alami.
- (v) Penanaman dilakukan apabila jumlah rekrutmen alami tidak mencukupi untuk penyembuhan.

KEBERHASILAN DAN KEGAGALAN RESTORASI

Pada bagian pertama tulisan ini telah dikemukakan kondisi terkini ekosistem mangrove di Jawa, termasuk keterancaman dan kerusakan (Setyawan dkk., 2003). Keberhasilan restorasi mangrove antar lokasi sulit digeneralisasikan, karena tergantung kondisi lingkungan setempat dan spesies yang ditanam, sehingga perlu diketahui pola yang mendasari terbentuknya tegakan mangrove (Field, 1998a). Umumnya pola hidrologi dianggap sebagai faktor utama yang mempengaruhi daya tahan dan pertumbuhan seedling mangrove (Field, 1996, 1998b). Oleh karena itu, mangrove ditanam pada lokasi dengan ombak kecil, dimana tingkat erosi pantai minimal. Pengetahuan zonasi spesies mangrove diperlukan untuk menentukan area yang sesuai untuk spesies yang berbeda (Kairo *et al.*, 2001). Zonasi ini merupakan hasil toleransi lingkungan dan pilihan fisiologis setiap spesies (Rabinowitz, 1978). Setiap spesies mangrove mempunyai suatu cakupan toleransi yang spesifik terhadap parameter-parameter lingkungan, seperti kadar garam, genangan pasang surut, keteduhan, elevasi daratan dan lain-lain. Hal ini membatasi zona yang sesuai bagi keberadaannya. *Sonneratia alba* dan *Rhizophora* akan tumbuh pada perbatasan ekosistem mangrove dengan laut, sebab tidak mampu menoleransi fluktuasi konsentrasi garam yang besar, sedang *Ceriops tagal* dan *Avicennia marina* dapat menoleransi kadar garam yang tinggi sehingga ditemukan pada batas ekosistem mangrove dengan daratan. Oleh karena itu, *Sonneratia* dapat ditanam pada dataran lumpur yang berbatasan langsung dengan laut, sedangkan *Ceriops* dan *Avicennia* dapat ditanam pada lokasi kering yang berbatasan dengan daratan (Kairo *et al.*, 2001).

Faktor penting lainnya yang menentukan keberhasilan proyek restorasi adalah tingkat kerjasama dari masyarakat dan para pemimpin lokal. Tekanan populasi lokal akan mempengaruhi struktur dan fungsi ekosistem mangrove di sekitarnya. Pendidikan lingkungan dapat mendorong keterlibatan aktif dan keikutsertaan publik yang lebih besar. Keduanya merupakan isu penting dalam manajemen dan konservasi mangrove. Keputusan manajemen

menyertakan masukan lokal akan lebih berhasil dan mendapatkan dukungan politis lebih besar. Dua pendekatan telah digunakan di restorasi area mangrove yang terdegradasi, yaitu regenerasi buatan dan alami (Kairo *et al.*, 2001).

Keberhasilan harus dapat diukur sebagai derajat dimana fungsi ekosistem alami yang digantikan dapat ditingkatkan. Hal ini tidak hanya ditentukan berdasarkan spesies yang hadir dan fungsi yang terkait dengannya, tetapi juga sifat fisik, kimia dan biologi habitat. Ekosistem yang direstorasi juga harus dapat merespon cekaman dan perubahan lingkungan sepanjang waktu sebagaimana ekosistem alami. Beberapa faktor penting yang terkait dengan keberhasilan restorasi wetland adalah kemampuan untuk mengakses dan membuat kembali hidrologi, serta mengelola dan melindungi wetland baru dalam jangka panjang (Kusler dan Kentula, 1990).

Secara ringkas, faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam restorasi mangrove mencakup stabilitas tanah dan pola penggenangan (Pulver, 1975), pasang surut dan ombak (Lewis, 1992, Field, 1996), elevasi (Hoffman *et al.*, 1985), salinitas dan aliran air tawar permukaan (Jiminez, 1990), ketersediaan propagul (Loyche, 1989, Kairo *et al.*, 2001), predasi propagul (Dahdouh-Guebas *et al.*, 1997, 1998), jarak dan kerapatan (FAO, 1985, Kairo *et al.*, 2001), eradikasi gulma (Saenger dan Siddique, 1993), teknik pembibitan (Siddique *et al.*, 1993), pemantauan (Lewis, 1990b), keikutsertaan masyarakat (Kairo dkk., 2001) dan biaya yang dibutuhkan (Field, 1998a). Di Jawa, kegagalan restorasi mangrove dapat disebabkan oleh kesalahan pemahaman pola hidrologi, perubahan arus laut, tipe tanah, pemilihan spesies, penggembalaan hewan ternah, sampah, kelemahan manajemen, dan ketiadaan partisipasi masyarakat (ADS, 2002-2003, pengamatan pribadi).

Kelemahan manajemen dan tidak adanya peran aktif masyarakat merupakan penyebab utama kegagalan restorasi di beberapa lokasi di Jawa, selain akibat melanggar langkah-langkah penting lain. Kegagalan restorasi mangrove di muara Bogowonto antara lain juga disebabkan kesalahan pemilihan sumber propagul dan pemahaman pola genangan. Penanaman *Sonneratia* spp. dengan bibit dari Segara Anakan Cilacap ke Sungai Bogowonto pada tahun 1997 menunjukkan kegagalan pertumbuhan akibat adanya genangan. Secara alami, setiap tahun di musim kemarau muara Sungai Bogowonto mengalami penggenangan sekitar 4-6 minggu. Hal ini terjadi karena terbentuknya gumuk pasir (*sanddunes*) yang membendung muara sungai. Bendungan ini akan jebol dengan sendirinya ketika volume air yang terbendung melimpah. Bibit *Sonneratia* spp. dapat bertahan hingga tahun 1999, karena pada tahun 1998 tidak terjadi genangan yang cukup berarti akibat curah hujan dan debit air sungai cukup tinggi sepanjang tahun sehingga mampu menembus gumuk pasir di muara sungai. Namun pada musim kemarau

tahun 1999, kembali terjadi genangan selama 6 minggu, sehingga hampir semua populasi *Sonneratia* spp. dari Segara Anakan Cilacap mati terendam, namun populasi lokal tetap bertahan (Tjut S. Djohan, 2001, komunikasi pribadi). Pengamatan isozim oleh penulis menunjukkan adanya perbedaan pola pita isozim populasi *Sonneratia* spp dari kedua lokasi tersebut. Menurut McPhaden (1999), badai El Nino South Oscillation (ENSO) pada tahun 1997-1998 merupakan yang terbesar sepanjang sejarah, hingga mencurahkan cukup banyak air ke kawasan barat Pasifik, setelah sebelumnya menyebabkan kekeringan hebat. Di samping itu kegagalan juga disebabkan perumputan oleh kerbau, sebagaimana terjadi pada populasi *Rhizophora* spp (ADS, 2002-2003, pengamatan pribadi).

Di pantai selatan Jawa, kegagalan restorasi juga terjadi di muara sungai Cakrayasan, Purworejo dan muara sungai Luk Ulo, Kebumen. Pada tahun 2000, dilakukan restorasi ekosistem mangrove di kedua lokasi ini dengan spesies *Rhizophora* spp. Di muara sungai Cakrayasan, kegagalan restorasi kemungkinan besar disebabkan akumulasi sampah dari hulu sungai pada awal musim hujan. Sampah, seperti lembaran plastik, kantong plastik, tali dan lain-lain menutupi area penanaman sehingga anakan mangrove tidak dapat tumbuh sempurna, bahkan sebagian besar seedling yang perakarannya masih lemah ikut terhanyut ke laut. Di pantai utara Jawa, di sepanjang muara-muara sungai di Demak, Jepara, Pati, dan Rembang, kematian seedling akibat "terjerat" sampah domestik merupakan kejadian umum. Secara unik "penjeratan" ini juga dilakukan oleh sejenis algae lembaran, *Ulva* spp. Spesies ini hidup mengapung di tepi pantai dangkal terbuka, yang juga merupakan lokasi yang umum didatangi propagul alami, dan dipilih dalam program penghijauan mangrove. Pada saat air pasang, *Ulva* akan terangkat ke atas, dan ketika air surut akan tersangkut, melekat, dan mati pada seedling mangrove, sehingga menghambat pertumbuhan dan mematikan seedling tersebut. Kondisi ini menyebabkan kerugian yang cukup berarti pada program penghijauan bakau di tepi pantai Pasar Banggi, Rembang. Di Segara Anakan, kegagalan restorasi akibat sampah, kurang teramati mengingat luasnya area mangrove tersebut (ADS, 2002-2003, pengamatan pribadi). Ancaman terbesar ekosistem mangrove di kawasan ini adalah sedimentasi (Winarno dan Setyawan, 2002).

Di muara sungai Luk Ulo, Kebumen selain sampah, pola genangan, dan jenis tanah berpasir yang cenderung kurang cocok bagi *Rhizophora*; tampaknya penggembalaan merupakan penyebab utama kegagalan restorasi. Lokasi mangrove yang direstorasi merupakan area penggembalaan ternak sapi (*Bos sondaicus*), sehingga seedling yang ditanam tidak tersisa akibat perumputan. Hal sama terjadi di muara sungai Bogowonto, dimana area mangrove merupakan kawasan penggembalaan kerbau (*Bos*

bubalis), sehingga seedling alami hanya dapat bertahan di kawasan yang sulit dijangkau ternak, sedangkan penanaman sengaja hanya dapat dilakukan pada area yang dipagari, yang biasanya telah rusak sebelum seedling cukup tinggi, sehingga akan dimakan kerbau (ADS, 2002-2003, pengamatan pribadi).

Di pantai utara Jawa, kegagalan restorasi juga dapat disebabkan perubahan arus laut. Hal ini terjadi pada pantai-pantai terabrasi, dimana penanaman mangrove akan sia-sia, selama penyebab utama abrasi belum diatasi, karena seedling yang ditanam ikut tergerus arus laut. Salah satu contoh keberhasilan penanaman mangrove untuk mencegah abrasi ditemukan di kawasan Bulak-Semat, Jepara. Pada tahun 1980-an pantai di kawasan ini terabrasi akibat kerusakan terumbu karang dan pembabatan hutan mangrove. Pembuatan tanggul pemecah gelombang dan penanaman mangrove terbukti dapat mengurangi efek abrasi. Pada saat ini *Rhizophora* yang ditanam langsung berbatasan dengan bibir laut, dan tanah dibawahnya ditutupi pasir putih, menunjukkan garis pantai berhenti di bawah tegakan komunitas ini (ADS, 2002-2003, pengamatan pribadi).

TEKNIK RESTORASI

Kebanyakan restorasi hanya bertumpu pada penanaman pohon mangrove, kurang memperhatikan struktur komunitas dalam jangka panjang atau kaitannya dengan ekosistem di sekitarnya (Kusler dan Kentula, 1990; Simberloff, 1990). Kebanyakan proyek restorasi mangrove hanya bersangkutan dengan introduksi pohon mangrove, dengan harapan hidupan lain seperti kepiting, meiofauna, algae, ikan, dan fauna mangrove lain akan mengikuti dengan sendirinya ketika habitat yang dibuat telah mapan (Kaly dan Jones, 1996). Biasanya restorasi hanya ditekankan pada satu atau beberapa spesies kunci, restorasi ekosistem mangrove yang kompleks secara keseluruhan tergantung pada proses alami berikutnya (IPIECA, 1993).

Teknik restorasi meliputi introduksi biji atau propagul, anakan pohon, atau pohon yang lebih besar. Penanaman biji atau propagul dapat dilakukan secara langsung di area yang direstorasi, atau disemaikan dahulu hingga setinggi 0,3-1,2 m (Thorhaug, 1990). Penyemaian biji atau propagul menjadi anakan pohon dapat meningkatkan keberhasilan penanaman dibandingkan menanamnya secara langsung (Hannan, 1975; Thorhaug, 1990), meskipun demikian suatu eksperimen di kawasan tropis Australia menunjukkan bahwa keberhasilan hidup dan pertumbuhan bibit mangrove tidak ada perbedaan signifikan antara benih hasil semaian, cangkakan, dan benih yang ditanam langsung (Kaly dan Jones, 1996).

Strategi menghilangkan makrofauna pada awal restorasi dapat membantu pertumbuhan mangrove, karena menjadi pemangsa atau parasit propagul dan

tumbuhan muda. Smith (1987a,b,c) menemukan bahwa kepiting merupakan predator bibit mangrove yang signifikan, dan dapat mempengaruhi distribusi spesies di hutan mangrove. Kepiting dapat memusnahkan sama sekali *Avicennia marina* dengan mengkonsumsi 100% propagul. Menurut Tampa dan Tampa (1988), Kumbang parasit *Coccolytoides fallax* (Scolytidae) dapat mengerumuni sampai 95% propagul dan seedling. Menurut Kitamura *et al.* (1997), jenis hama dan penyakit utama seedling mangrove pada kebun bibit di Bali adalah kepiting, kumbang dan tikus.

RESTORASI FISIK HABITAT

Sebelum dilaksanakan penanaman tumbuhan mangrove, perlu dilakukan restorasi fisik habitat sehingga memungkinkan tumbuhan mangrove yang ditanam dapat tumbuh sehat. Secara umum habitat fisik yang perlu diperhatikan mencakup pola hidrologi, kondisi tanah dan adanya bahan pencemar.

Hidrologi. Ekosistem mangrove sudah lama dikenal sebagai pelindung dan pemantap garis pantai (Othman, 1994), sehingga selamat dari angin topan dan gelombang laut, namun mangrove hanya dapat mempengaruhi tingkat pengendapan sedimen atau erosi, tetapi tidak mengendalikannya (Gill, 1971; Hannan, 1975). Oleh karena itu pada pantai yang terabrasi akibat perubahan arus laut, tetap memerlukan tanggul pemecah ombak seperti batu, kuadrapot, tiang pancang, karung goni atau bekas ban (Teas *et al.*, 1975; Hannan, 1975). Struktur tersebut dapat mempercepat kesembuhan ekosistem mangrove (Lin dan Beal, 1995) dan mendorong terbentuknya mangrove baru pada kawasan sekitarnya. Hidrologi yang mempengaruhi keberhasilan restorasi mangrove, meliputi: pola pasang surut (frekuensi dan periode), ketinggian sedimen dan drainase, serta masukan air tawar (Kaly dan Jones, 1996). Kegagalan restorasi seringkali akibat sulitnya memperbaiki pola hidrologi (Kusler dan Kentula, 1990). Pada area dimana terjadi sedimentasi pasir, kemungkinan diperlukan pengerukan untuk mencapai tanah mangrove yang kaya bahan organik. Restorasi hidrologi termasuk menghubungkan kembali area dengan laut terbuka sehingga terjadi arus pasang surut yang normal (Brockmeyer *et al.*, 1997, Turner dan Lewis, 1997), serta pembatasan pengaruh gelombang akibat lalu lintas perahu (Knutson *et al.*, 1981).

Kondisi tanah. Tanah sulfat asam (*acid soil*), yang umum ditemukan pada area mangrove di seluruh dunia tropis serta diakibatkan oleh oksidasi dan asidifikasi sedimen yang mengandung pirit ketika penggalian dan pengeringan, merupakan tantangan potensial dalam restorasi ekosistem mangrove (Brinkman dan Singh, 1982). Tanah ini dapat memiliki pH 2 (Kaly dan Jones, 1996). Brinkman dan Singh (1982) mengurangi kondisi sulfat asam dengan

mengeruk tanah di permukaan tambak yang dikeringkan setebal 15 cm dan ditambahkan kapur untuk mencegah pelepasan asam. Cara lain adalah menggenangi tanah dengan air pasang dan membiarkan waktu untuk mengoksidasi asam sebelum ditanami kembali. Tanah dikembalikan ke kondisi anoksik sebagaimana area lumpur pasang surut alami. Di ekosistem mangrove tropis, bakteri tanah memainkan peranan penting dalam jejaring makanan benthos, seperti memineralisasikan detritus organik dan mendaur ulang nutrien penting (Kaly dan Jones, 1996). Oleh karena itu, proses biogeokimia alami perlu didorong untuk menumbuhkan bakteri (Alongi, 1994).

Polutan. Mangrove merupakan ekoton antara kawasan daratan dan laut, sehingga pencemaran yang terjadi di darat maupun di laut dapat menumpuk di kawasan ini. Salah satu jenis bahan pencemar yang menarik adalah tumpahan minyak bumi. Dalam suatu studi, *Sonneratia caseolaris*, digunakan sebagai tumbuhan pionir dan ditanam pada tanah yang terpolusi minyak di delta Mahakam, sebagian dari lokasi ini juga terpolusi pupuk nitrat dan sisa-sisa dispersan minyak. Dalam hal ini restorasi diarahkan hanya untuk mengembalikan satu spesies mangrove yang paling kuat sebagai starter. Minyak mempengaruhi kematian dan pertumbuhan seedling yang ditanam, tetapi dispersan berpengaruh lebih buruk lagi. Untuk itu area mangrove yang tertumpahi minyak sebaiknya tidak disemprot dispersan dan penanaman ditunda hingga beberapa bulan (Dutrieux *et al.*, 1990).

REGENERASI ALAMI

Regenerasi mangrove secara alami menggunakan biji dan propagul alami (*wildlings*) sebagai sumber bibit, sehingga komposisi spesies yang tumbuh tergantung pada populasi mangrove tetangganya. Kemampuan mangrove menyebar dan tumbuh dengan sendirinya tergantung pada kondisi hutan, arus pasang surut, dan stabilitas tanah (Kairo *et al.*, 2001). Pada famili Rhizophoraceae, propagul dilengkapi dengan hipokotil runcing yang akan jatuh dan menanam diri sendiri pada lumpur tidak jauh dari induknya (La Rue dan Muzik, 1954), namun apabila propagul tersebut jatuh pada saat air pasang atau ombak tinggi, kadang-kadang tidak dapat menancap di lumpur, bahkan tersapu dan terbawa arus laut, hingga tumbuh jauh dari induknya (Rabinowitz, 1978; van Speybroeck, 1992).

Penebangan hutan mangrove secara berlebihan dapat menurunkan stabilitas tanah, sehingga propagul dan anak pohon mudah dihanyutkan ombak dan regenerasi alami sulit terbentuk (Kairo *et al.*, 2001). Di Malaysia, direkomendasikan agar disisakan sebanyak 12 pohon induk per ha, sebagai penyuplai biji regenerasi alami (Tang, 1978, FAO, 1994), namun pada lokasi-lokasi dengan tingkat regenerasi rendah jumlah tersebut dapat dinaikkan. Di Thailand,

penggunaan pohon induk diganti lajur-lajur mangrove yang tidak ditebangi untuk menjaga regenerasi (FAO, 1985). Kelebihan dan kekurangan regenerasi alami dan regenerasi buatan tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Kelebihan dan kekurangan regenerasi secara alami (Kairo *et al.*, 2001).

Kelebihan
<ul style="list-style-type: none"> • Lebih murah. • Tidak memerlukan tenaga kerja dan peralatan. • Lebih sedikit disturbansi pada tanah. • Pertumbuhan anakan pohon lebih subur.
Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> • Spesies pengganti kemungkinan berbeda dengan spesies semula. • Ketiadaan pohon induk menyebabkan bibit sedikit atau tidak ada. • Pengkayaan genetika sulit terjadi. • Ombak laut dapat menyebabkan sulit mapan. • Terjadi predasi bibit oleh makrofauna (seperti kepiting dan siput). • Jarak tanam, asal dan komposisi spesies bibit sulit dikontrol.

REGENERASI BUATAN

Regenerasi mangrove secara alami dapat berlangsung lambat, karena perubahan kondisi tanah, pola hidrologi, dan terhambatnya suplai bibit. Regenerasi buatan pertama-tama harus memperbaiki pola hidrologi dan penanaman hanya dilakukan jika rekrutmen alami tidak mencukupi atau kondisi tanah menghalangi pemantapan alami. Penanaman mangrove telah berhasil dilaksanakan di Indonesia, Malaysia, India, Filipina, Thailand, dan Vietnam. Kebanyakan spesies yang ditanam termasuk dalam famili Rhizophoraceae, Avicenniaceae, dan Sonneratiaceae (Kairo *et al.*, 2001). Teknik regenerasi buatan umumnya menggunakan propagul, kadang-kadang anak pohon (tinggi < 1,2 m), tetapi jarang menggunakan pohon kecil (tinggi > 6 m). Metode ini sudah digunakan sejak Watson (1928) hingga kini (Kogo *et al.*, 1987, Qureshi, 1990, Siddique *et al.*, 1993).

Propagul *Rhizophora* sering dipilih karena memiliki hipokotil panjang sehingga dapat ditancapkan langsung di lapangan, namun teknik ini tidak dapat digunakan pada anggota genus mangrove lain. Pada umumnya, propagul ditanam dengan jarak 1 meter (10.000 per ha). Pada mangrove, angka kematian bibit awal relatif rendah, tetapi tingkat daya hidup yang diharapkan biasanya hanya sekitar 50%, sehingga diperoleh kepadatan hutan mangrove dewasa yang ideal, sekitar 1.000 pohon per hektar (1 pohon per 10 m²). Penanaman anak pohon sebaiknya dilakukan pada awal musim hujan, meskipun dapat pula ditanam sepanjang tahun (Kairo *et al.*, 2001).

Pada spesies mangrove tertentu ketersediaan propagul tergantung musim. Propagul mangrove yang telah masak dikoleksi dari pohon induk, dari bawah pohon atau dari pantai. Pada *Rhizophora* dan *Ceriops* warna hipokotil dapat digunakan untuk membedakan propagul muda dari yang masak. Pada *Avicennia*, propagul masak dapat dipetik dengan mudah dari induknya dengan meninggalkan kelopak. Propagul hasil koleksi dapat disimpan dalam kantung plastik lembab selama tiga hari hingga beberapa minggu, di tempat teduh, untuk meningkatkan daya tahan terhadap serangan kepiting (Watson, 1928, Dahdouh-Guebas *et al.*, 1997). Propagul juga dapat dilindungi dengan mengecat hipokotil atau meletakkannya dalam buluh bambu (FAO, 1994). Sepanjang kelembaban dijaga, propagul mangrove dapat disimpan selama enam bulan (Kairo *et al.*, 2001).

Pada saat penanaman anak pohon baik dari kebun pembibitan atau hutan alam perlu dilakukan upaya melindungi akar, baik ketika dicabut atau ditanam. Hal ini biasanya dilakukan dengan menyekop anak pohon dengan diameter tanah separuh tinggi anak pohon. Daya tahan propagul atau anak pohon lebih baik (80-100% dari 70.000 setelah 24 bulan) dibanding pohon kecil (< 5% setelah 12 bulan). Anak pohon dari kebun pembibitan memiliki daya tahan lebih tinggi (80-100% setelah 24 bulan) dibandingkan seedling alami (Kairo *et al.*, 2001).

Bibit mangrove dapat pula diperoleh dengan mencangkok, misalnya pada *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, dan *Laguncularia racemosa* (Calton dan Moffler, 1978). Keberhasilan teknik ini tergantung spesies, terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,001$) keberhasilan pertumbuhan akar antara *Sonneratia alba* (58,8%), *Lumnitzera racemosa* (36,5%), dan *Xylocarpus granatum* (4,4%). Regenerasi buatan memiliki beberapa keuntungan antara lain: distribusi dan komposisi spesies dapat diatur, tumbuhan dapat diperkaya secara genetik, dan serangan hama dapat dikendalikan (Field, 1998a).

SPESES YANG DITANAM

Informasi teknik pembibitan mangrove memusat pada beberapa spesies mangrove mayor. Dari sekitar 60 spesies pohon dan semak mangrove mayor dan minor, serta sekitar 20 spesies tumbuhan asosiasi, hanya 12 spesies yang biasa digunakan untuk restorasi, yaitu *Rhizophora*, *Avicennia*, *Sonneratia*, *Bruguiera*, *Heritiera*, *Lumnitzera*, *Ceriops*, *Excoecaria*, *Xylocarpus*, *Nypa*, *Cassurina*, dan *Hibiscus*. Penentuan spesies yang dipilih tergantung pada tekstur tanah, kadar garam, dan lama penggenangan, serta iklim mikro lainnya (Choudhury, 1996; 2000).

Di kebanyakan negara, pada mulanya penanaman mangrove dilakukan dengan propagul atau seedling yang dikumpulkan dari lantai hutan. Sekarang material yang digunakan adalah seedling alami, biji atau propagul, dan seedling pembibitan. Hutan

Tabel 2. Teknik penanaman beberapa spesies mangrove yang utama di Bali (Kitamura dkk., 1997).

	<i>Rhizophora mucronata</i>	<i>Rhizophora apiculata</i>	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	<i>Sonneratia alba</i>	<i>Avicennia marina</i>	<i>Ceriops tagal</i>	<i>Xylocarpus granatum</i>
Musim buah	September-Desember	Desember-Pebruari	Mei-Desember	April-Juni dan September-Oktober	Desember-Pebruari	Agustus-Desember	September-Desember
Kriteria buah	Kotiledon hijau muda atau kuning, panjang > 50 cm, dipilih propagul yang bebas penyakit.	Kotiledon merah, panjang > 20 cm, diameter > 1,4 cm, dipilih propagul yang bebas penyakit	Kotiledon hijau tua hingga merah, panjang > 20 cm.	Buah jatuh dari pohon, biji mengapung di air tawar.	Berat buah tanpa kelopak 1,5 g, panjang > 1,8 cm. Sebelum ditanam direndam air semalam untuk membuang kulitnya.	Kotiledon kuning, panjang > 20 cm, dipilih propagul yang bebas penyakit.	Buah kuning hingga cokelat, permukaan biji cokelat kekuningan dengan bintik-bintik kelabu, tali ari tampak.
Media tanam	Tanah tepi tambak.	Tanah tepi tambak.	Tanah tepi tambak.	Tanah yang dicampur 30% pupuk kandang.	Tanah tepi tambak.	Tanah tepi tambak.	Tanah tepi tambak.
Pembibitan	Propagul ditancapkan sedalam 10 cm.	Propagul ditancapkan sedalam 5 cm.	Propagul ditancapkan sedalam 5 cm.	Biji dipendam sedalam separuh panjangnya, dua biji per pot.	Biji dipendam sedalam 1/3 panjangnya, diletakkan bebas dari pasang surut hingga berakar.	Biji dipendam sedalam 5 cm.	Biji diletakkan di atas tanah dengan posisi radikula di bawah.
Naungan Pengairan	50% Mengikuti arus pasang-surut.	50%. Mengikuti arus pasang-surut.	30%. Mengikuti arus pasang-surut.	30%. Mengikuti arus pasang-surut dan pengairan buatan setiap hari.	30%. Disiram dua kali sehari pada saat tidak ada pasang, dan sekali ketika ada pasang, saat air surut.	50%. Mengikuti arus pasang surut, dan disiram pada saat air surut.	30%. Mengikuti arus pasang surut, dan disiram pada saat air surut.
Hama dan penyakit	Kepiting, ulat, dan kumbang.	Tidak ada yang cukup berarti.	Tidak ada yang cukup berarti.	Tikus, kepiting, dan ulat.	Tikus, kepiting, dan ulat.	Tidak ada yang cukup berarti.	Tidak ada yang cukup berarti.
Cara mengatasi	Kepiting memakan propagul baru, diatasi dengan meletakkan pangkal bibit setinggi 20 cm di atas dasar. Ulat dan kumbang memakan ujung propagul, diatasi secara manual.			Tikus memakan biji, daun muda dan tunas muda, diatasi dengan memasang jaring keliling kebun. Kepiting memakan tunas muda dan daun, diatasi dengan memasang lembaran plastik keliling kebun. Ulat diatasi dengan memasang jaring halus keliling kebun.	Tikus memakan biji, diatasi dengan memasang jaring keliling kebun. Kepiting memakan tunas muda dan daun, diatasi dengan memasang lembaran plastik keliling kebun. Ulat diatasi dengan memasang jaring halus keliling kebun.		
Lama pembibitan	4-5 bulan, tinggi seedling > 55 cm, jumlah daun 2 pasang.	4-5 bulan, tinggi seedling > 30 cm, jumlah daun 2 pasang.	3-4 bulan, tinggi seedling > 35 cm, jumlah daun > 3 pasang.	5-6 bulan, tinggi seedling > 15 cm, jumlah daun > 3 pasang.	3-4 bulan, tinggi seedling > 30 cm, jumlah daun > 3 pasang.	6-7 bulan, tinggi seedling > 20 cm, jumlah daun > 2 pasang.	3-4 bulan, tinggi seedling > 20 cm, jumlah daun > 2 pasang.
Penanaman	Polibag dibuang dan 1/3 bagian propagul ditanamkan.	Polibag dibuang dan 1/3 bagian propagul ditanamkan.	Polibag dibuang dan 1/3 bagian propagul ditanamkan, pada penanaman langsung kelopak tidak dibuang.	Polibag dibuang.	Polibag dibuang.	Polibag dibuang dan 1/3 bagian propagul ditanamkan.	Polibag dibuang.

mangrove alami biasanya memiliki sejumlah besar seedling alami. Mereka sering kali sama tingginya umurnya bervariasi mulai dari 1-6 tahun. Seedling alami yang bangsor, halus, dan sehat memiliki kemampuan tumbuh lebih baik (Choudhury, 1996).

Penggunaan biji dan propagul di penghutanan mangrove biasa dilakukan, khususnya propagul vivipar. Beberapa spesies tumbuhan mangrove memerlukan kebun pembibitan. Di Bali, pembibitan dilakukan terhadap *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Sonneratia alba*, *Avicennia marina*, *Ceriops tagal*, dan *Xylocarpus granatum* (Kitamura dkk., 1997). Di Jawa, pembibitan umumnya dilakukan terhadap *Rhizophora* spp. seperti dilakukan kelompok tani di pesisir Rembang, Probolinggo, dan Perhutani di Indramayu. Para petani membibitkan *Rhizophora* untuk memenuhi kebutuhan proyek-proyek restorasi mangrove. Proyek-proyek ini sering kali identik dengan penanaman bakau yang memiliki bentuk perakaran khas. Masyarakat di pantai utara Jawa juga biasa menggunakan seedling alami *Rhizophora*, *Avicennia* dan *Sonneratia* untuk menguatkan tanggul-tanggul tambak, terutama yang berbatasan langsung dengan sungai atau laut (ADS, 2002-2003, pengamatan pribadi).

TEKNIK PEMBIBITAN DAN PENANAMAN

Di Bali, pembibitan dilakukan di kebun persemaian yang letaknya di lokasi mangrove, sehingga bibit dapat beradaptasi dengan kondisi lingkungan di area penanaman. Seedling ditanam dalam polibag yang diisi tanah, dimana penyiraman umumnya mengikuti arus pasang laut. Penanaman langsung propagul *Rhizophora* dimungkinkan pada lokasi yang dangkal (Kitamura dkk., 1997). Di Rembang, pembibitan tidak dilakukan pada area khusus, tetapi di bawah tegakan mangrove yang agak terbuka atau di tepian area mangrove, pada batas dengan daratan. Propagul ditanam pada polibag yang cukup tinggi untuk mengurangi pemangsa oleh kepiting (ADS, 2002-2003, pengamatan pribadi). Cara pembibitan berbagai spesies mangrove antara lain dipublikasikan oleh Choudhury (1994, 1996, 2000) berdasarkan penelitian di Banglades, namun dalam tulisan ini hanya dikemukakan cara pembibitan mangrove tujuh spesies di Bali oleh Kitamura *et al.* (1997), mengingat kedekatan ekosistemnya dengan Jawa (Tabel 2.).

Penanaman seedling umumnya dilakukan pada bulan Desember s.d. Januari, pada awal musim hujan. Waktu penanaman juga memperhatikan kalender hijriah, dimana penanaman dilakukan seminggu setelah tanggal 14 atau 15 saat pasang sedang rendah. Bibit yang digunakan biasanya berketinggian sekitar 60 cm, bibit yang lebih tinggi dapat ditanam pada area dengan tingkat penggenangan lebih dalam, tetapi bibit dengan ketinggian lebih dari 1,5 m sebaiknya tidak digunakan. Di Indonesia dan

Malaysia biasanya dipilih propagul dalam praktek penanaman, sehingga spesies yang ditanam umumnya *Rhizophora* (Choudhury, 2000).

Penanaman mangrove memerlukan masa perawatan intensif sekitar 75 hari setelah tanam, dimana diperlukan penggantian bibit yang tersapu ombak, tererosi, dimakan kepiting, bibit yang tidak sehat dan mati serta menjaga drainase, membuang sampah, dan menjaga dari erosi. Semak-semak mangrove yang tebal dapat terbentuk setelah 5 tahun. Adapun pohon mangrove dewasa dengan tinggi lebih dari 5 m, akar penyangga kuat, rangkaian akar nafas luas, dan kanopi rapat dapat terbentuk dalam waktu 15 tahun (Choudhury, 1996). Perbedaan signifikan komposisi dan keanekaragaman fauna mulai teramati 5 tahun setelah penanaman. Kepadatan makrofauna tanah pada ekosistem yang direstorasi lebih tinggi daripada ekosistem yang dibiarkan terbuka, serta sama dengan ekosistem alami (Kairo *et al.*, 2001).

PEMANTAUAN AREA RESTORASI

Area restorasi mangrove perlu dipantau (Tabel 3).

Tabel 3. Aktivitas pemantauan setelah penanaman mangrove (Field, 1998b).

Aktivitas	Tindakan di lapangan
Memantau perkembangan spesies	Mengecek kebenaran asal usul propagul dan biji
Memantau laju pertumbuhan sejalan dengan umur	Mengamati kerapatan sapling dan pohon, diameter batang, tinggi dan volume pohon. Mengukur pertambahan tahunan.
Memantau pertumbuhan sifat-sifat khusus	Mengamati struktur batang, nodus, fenologi, pembuahan, serta resistensi terhadap hama dan penyakit.
Mencatat tingkat kegagalan anak pohon	Menyiapkan penjelasan ilmiah mengenai kegagalan ini.
Mencatat tingkat akumulasi sampah	Mencatat asal sampah dan langkah yang diambil untuk mengatasinya.
Mengatur kerapatan seedling dan anak pohon pada tingkat optimum	Mencatat tingkat kelebatan, regenerasi buatan atau alami. Mencatat pertumbuhan pohon.
Memperkirakan total biaya akhir proyek restorasi	Mencatat semua pengeluaran, meliputi persiapan lokasi, koleksi propagul, pembibitan di kebun, penanaman di lapangan dan lain-lain.
Memantau dampak penebangan hutan mangrove di sekitarnya	Hal ini merupakan catatan restorasi jangka panjang
Memantau sifat-sifat ekosistem mangrove yang direstorasi	Mengukur secara terinci mengenai fauna, flora dan parameter lingkungan dari ekosistem hasil restorasi dan membandingkannya dengan ekosistem mangrove alami.

Pemantauan tumbuhan mangrove yang telah ditanam sangat diperlukan untuk menjamin keberhasilan program restorasi. Parameter yang perlu diperhatikan dalam proyek restorasi disajikan pada Tabel 3. Aktivitas ini serupa dengan aktivitas yang dilakukan pada proyek kehutanan pada umumnya (Field, 1998b).

PENUTUP

Mangrove merupakan ekosistem yang menghubungkan hidupan laut dan daratan, serta menjadi daerah penyangga dan ekoton antar kedua hidupan tersebut. Semua aktivitas yang dilakukan di darat dan di laut dapat mempengaruhi eksistensi ekosistem ini. Nilai penting ekosistem mangrove telah diketahui secara luas, namun hingga kini penurunan luasan mangrove di seluruh dunia yang terus berlanjut. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan antara teori yang menyatakan perlunya pemanfaatan ekosistem mangrove secara lestari dan praktek yang menunjukkan dilaksanakannya pemanfaatan secara tidak lestari. Mangrove merupakan ekosistem yang sangat viabel. Ekosistem mangrove yang rusak dapat memulihkan diri sepanjang faktor-faktor lingkungan seperti pola hidrologi, kondisi tanah, dan ketersediaan propagul mendukung, namun pada kondisi daya lenting terpatahkan perlu dilakukan campur tangan dengan melakukan regenerasi secara buatan. Teknik manajemen mangrove yang ada saat ini sering kali gagal untuk mempertahankan kelestarian sumber daya ini. Untuk itu perlu dilakukan pendekatan yang lebih luas dengan mengintegrasikan manajemen kawasan pesisir, dengan memasukkan unsur-unsur penting seperti ekologi, sosial ekonomi, dan sosial budaya sehingga dapat memenuhi hajat hidup orang banyak, sekaligus memelihara biodiversitas secara luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksornkoe, S. 1996. Reforestation in mangrove forests in Thailand, A case study in Pattani Province. In Field, C.D. (ed.) *Restoration of Mangrove Ecosystems*. Okinawa: International Society for Mangrove Ecosystems.
- Alongi, D.M. 1994. The role of bacteria in nutrient recycling in tropical mangrove and other coastal benthic ecosystems. *Hydrobiologia* 285: 19-32.
- Anonim. 1991. *Application social forestry strategy by using silvofishery system for supporting national food production*. Bandung: Perum Perhutani Unit III West Java.
- Anonim. 1997. Empang parit di Desa Randusanga Kulon, Kecamatan Brebes, Kabupaten Brebes. *Kehutanan Indonesia* 6: 31-34.
- Anonim. 2001. *Mangroves, Multi-Species Recovery Plan for South Florida*. southeast.fws.gov/vbpdfs/commun/mn.pdf.
- Anonim. 2003. *Strategi Nasional Pengelolaan Mangrove di Indonesia*. Jakarta: Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Bacon, P.R. 1987. Use of wetlands for tourism in the insular Caribbean. *Annals of Tourism Research* 14: 104-117.
- Ball, M. C. 1980. Patterns of secondary succession in a mangrove forest in south Florida. *Oecologia* (Berl.) 44: 226-235.
- Baowen, L. 1997. The present situation and prospects of mangrove afforestation in China. *World Forestry Congress 1997*.
- Brinkman, R., and V.P. Singh, 1982. Rapid reclamation of fishponds on acid sulphate soils. In Dost, H. & N. van Breemen (ed.). *Proceedings of the Bangkok Symposium on Acid Sulphate Soils*. ILRI. Wageningen, Netherlands, Publication 31: 318-330.
- Brockmeyer, R.E. Jr., J.R. Rey, R.W. Virstein, R.G. Gilmore, and L. Ernest. 1997. Rehabilitation of impounded estuarine wetlands by hydrologic reconnection to the Indian River Lagoon, Florida (USA). *Wetlands Ecology and Management* 4 (2): 93-109.
- Cairns, J. 1988. Restoration ecology: the new frontier. In *Restoration of Damaged Ecosystems*, Volume 1. Boca Raton, Flo.: CRC Press.
- Calton, J.M. and M.D. Moffler. 1978. Propagation of mangroves by air-layering. *Environmental Conservation* 5: 147-150
- Chapman, V.J. 1976. *Mangrove Vegetation*. Liechtenstein: J.Cramer Verlag.
- Choudhury, J.K. 1994. Mangrove re-afforestation in Bangladesh. *Proceedings on the Workshop on ITTO Project Development and Dissemination of Re-afforestation Techniques on Mangrove Forests*: 18-20 April 1994. Bangkok Thailand.
- Choudhury, J.K. 1996. Mangrove forest management. *Mangrove Rehabilitation and Management Project in Sulawesi*. Jakarta: Asia Development Bank.
- Choudhury, J.K. 2000. Sustainable management of coastal mangrove forest development and social needs. *Mangroves and Other Coastal Forests*. www.fao.org/montes/foda/wforcong/PUBLI/PDF/V6E_T386.PDF.
- Chowdhury, R.A., and I. Ahmed. 1994. History of forest management. In Hussain Z. and G. Acharya (ed.). *Mangroves of the Sundarbans, Vol. 2: Bangladesh*. Gland, Switzerland: IUCN Wetlands Program.
- Cintron-Molero, G. 1992. Restoring mangrove systems. In Thayer, G.W. (ed.). *Restoring the Nation's Marine Environment*. Maryland: Maryland Seagrass Program, College Park.
- Crewz, D.W. and R.R. Lewis. 1991. An evaluation of historical attempts to establish emergent vegetation in marine wetlands in Florida. *Florida Sea Grant Technical Publication No. 60*, Gainesville, Flo.:Florida Sea Grant College.
- Dahdouh-Guebas, F., M. Verneirt, J.F. Tack, and N. Koedam. 1997. Food preferences of *Neosarmatium meinerti* de Man (Decapoda: Sesarinae) and its possible effect on the regeneration of mangroves. *Hydrobiologia* 347: 83-89
- Dahdouh-Guebas, F., M. Verneirt, J.F. Tack, D. Van Speybroeck, and N. Koedam. 1998. Propagule predators in Kenyan mangroves and their possible effect on regeneration. *Marine and Freshwater Research* 49: 345-350
- Detweiler, T.E., F.M. Dunstan, R.R. Lewis, and W.K. Fehring. 1976. Patterns of secondary succession in a mangrove community. *Proceedings of the Second Annual Conference on Restoration of Coastal Plant Communities in Florida*. Tampa, FL: Hillsborough Community College.
- Duke, N. 1996. Mangrove reforestation in Panama: an evaluation of planting areas deforested by a large oil spill. In: Field C. (ed.) *Restoration of Mangrove Ecosystems*. Okinawa: International Tropical Timber Organization and International Society for Mangrove Ecosystems.
- Dutrieux, E., F.Martin, and A. Debry. 1990. Growth and mortality of *Sonneratia caseolaris* planted on an experimentally oil-polluted soil. *Marine Pollution Bulletin* 21: 62-68.
- FAO. 1985. *Mangrove Management in Thailand, Malaysia and Indonesia*. Rome: FAO Environment Paper.
- FAO. 1994. *Mangrove Forest Management Guidelines*. Rome: FAO Forestry Paper.
- Field, C. 1996. *Restoration of mangrove Ecosystems*. Okinawa: International Tropical Timber Organization and International Society for Mangrove Ecosystems.
- Field, C. 1998a. Rationales and practices of mangrove afforestation. *Marine and Freshwater Research* 49: 353-358
- Field, C. 1998b. Rehabilitation of mangrove ecosystems: an overview. *Marine Pollution Bulletin* 37: 383-392
- Fitzgerald, B. 2002. Case study 5: integrated mangrove forest and aquaculture systems (silvofisheries) in Indonesia. In Macintosh D.J., M.J. Phillips, R.R. Lewis, and B. Clough. *Annexes to the*

- Thematic Review on Coastal Wetland Habitats and Shrimp Aquaculture. Case studies 1-6.* Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. Work in Progress for Public Discussion. Published by the Consortium.
- Fitzgerald, B. and L.A. Savitri. 2002. Case study 6: integration of silvofisheries into coastal management and mangrove rehabilitation in Java, Indonesia. In Macintosh D.J., M.J. Phillips, R.R. Lewis, and B. Clough. *Annexes to the Thematic Review on Coastal Wetland Habitats and Shrimp Aquaculture. Case studies 1-6.* Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. Work in Progress for Public Discussion. Published by the Consortium.
- Fitzgerald, W.J. 1997. Silvofisheries-an environmentally sensitive integrated mangrove forest and aquaculture system. *Aquaculture Asia* 2 (3): 9-17.
- Gill, A. M. 1971. Mangroves-is the tide of public opinion turning? *Fairchild Tropical Garden Bulletin* 26: 5-9.
- Hamilton, L.S. and S.C. Snedaker. 1984. *Handbook for Mangrove Area Management.* Honolulu: Environment and Policy Institute, East-West Center.
- Hannan, J. 1975. Aspects of red mangrove reforestation in Florida. *Proceedings of the Second Annual Conference on the Restoration of Coastal Vegetation in Florida.*
- Hardjosuwarno, S. 1989. The impact of oil refinery on the mangrove vegetation. *BIOTROP Special Publications* 37: 187-192.
- Hartina, 1996. *Evaluasi Usaha Tumpang Sari Empang Parit di RPH Cemara, BKPH Indramayu, KPH Indramayu.* [Tesis]. Yogyakarta: Program Pascasarjana UGM.
- Hassan, H.H.A. 1981. *A Working Plan for the Second 30-year Rotation of the Matang Mangrove Forest Reserve Perak 1980-89.* Perak, Malaysia: State Forestry Department Publication.
- Hoffman, W.E., M.J. Durako, and R.R. Lewis. 1985. Habitat restoration in Tampa bay. In: Simon, S.A.F., R.R. Lewis, and R.R. Whiman. (eds.) *Treat, Proc. Tampa Bay Area Scientific Inf. Symp.* Tampa: Florida Sea Grant College & Bellwether Press.
- IPIECA. 1993. *Biological Impact of Oil Pollution: Mangroves.* IPIECA Report No. 4. London: International Petroleum Industry Environmental Conservation Association.
- Jimenez, J.A. 1990. The structure and function of dry weather mangroves on the Pacific coast of Central America, with emphasis on *Avicennia bicolor* forests. *Estuaries* 13: 182-192
- Kairo, J.G., F Dahdouh-Guebas, J. Bosire, and N. Koedam. 2001. Restoration and management of mangrove systems — a lesson for and from the East African region. *South African Journal of Botany* 67: 383-389.
- Kaly, U.L. and G.P. Jones. 1996. *Mangrove Restoration: a Potential Tool for Ecosystem Management of Coastal Fisheries.* Queensland: Department of Marine Biology, James Cook University, Queensland, Australia.
- Khoo, G.W. and O.J. Eong. 1995. The use of demographic studies in mangrove silviculture. *Hydrobiologia* 295: 255-261.
- Kitamura, S., C. Anwar, A. Chaniago, and S. Baba. 1997. *Handbook of Mangroves in Indonesia; Bal & Lombok.* Denpasar: The Development of Sustainable Mangrove Management Project, Ministry of Forest Indonesia and Japan International Cooperation Agency.
- Knutson, P.L., J.C. Ford, M.R. Inskeep, and J. Oyler. 1981. National survey of planted salt marshes (vegetative stabilization and wave stress), *Journal of the Society of Wetland Scientists* 1, 129-156.
- Kogo, M., D. Kamimura, and T. Miyagi. 1987. Research for rehabilitation/reforestation of mangroves in Truk Island. In: *Mangroves of Asia and the Pacific: Status and Management. Technical Report of the UNDP/UNESCO Research and Training Pilot Programme on Mangrove Ecosystems in Asia and the Pacific (RAS/79/002).* Quezon City, Philippines: UNESCO.
- Kompas, 06/08/2002. *29 Hektar Pantai Muara Reja Terkena Abrasi*
- Kompas, 06/10/2003. *Reklamasi Pantai Jakarta Memperparah Abrasi*
- Kompas, 10/11/2002. *Pantai Dadap Direklamasi Untuk Tempat Wisata*
- Kompas, 15/08/2002. *Parah Abrasi di Pantura*
- Kusler, J.A. and M.E. Kentula. 1990. *Wetland Creation and Restoration: The Status of the Science.* Washington: Island Press.
- La Rue, C.D. and T.J. Muzik. 1954. Does mangrove really plant its seedling. *Nature* 114: 661-662
- Lewis, R.R. 1982. Low marshes, peninsular Florida. In Lewis, R.R. (ed.). *Creation and restoration of coastal plant communities* Boca Raton, FL.: CRC Press.
- Lewis, R.R. 1990a Creation and restoration of coastal wetlands in Puerto Rico and the US Virgin Islands. In Kusler, J.A. and M.E. Kentula (ed.) *Wetland Creation and Restoration: The Status of Science.* Washington: Island Press.
- Lewis, R.R. 1990b. Wetlands restoration/creation/enhancement terminology: suggestions for standardization. In J.A. Kusler and M.E. Kentula (eds.) *Wetland Creation and Restoration: The Status of the Science.* Island Press, Washington, D.C., USA.
- Lewis, R.R. 1992. Coastal habitat restoration as a fishery management tool. In Stroud, R.H. (ed.) *Stemming the Tide of Coastal Fish Habitat Loss: Proceedings of a Symposium on Conservation of Coastal Fish Habitat,* Baltimore, MD, USA, March 7-9 1991. National Coalition for Marine Conservation, Inc., Savannah, Georgia, USA.
- Lewis, R.R. and M.J. Marshall. 1997. Principles of successful restoration of shrimp aquaculture ponds back to mangrove forests. *Programa/resumes de Marcuba '97,* September 15/20, Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba.
- Lewis, R.R., and B. Streever. 2000. Restoration of mangrove habitat. *WRP Technical Notes Collection* (ERDC TN-WRP-VN-RS-3.2). Vicksburg, MS.: U.S. Army Engineer Research and Development Center. www.wes.army.mil/el/wrp.
- Lewis, R.R., J.A. Kusler, and K.L. Erwin. 1995. Lessons learned from five decades of wetland restoration and creation in North America. pp. 107-122 In Montes, C., G. Oliver, F. Molina, and J. Cobos (eds.) *Bases Ecologicas para la Restauracion de Humedales en la Cuenca Mediterranea.* Proceedings of a meeting held at the University of La Rabida, Spain. 7-11 June 1993. Junta de Andaluca, Spain.
- Lin, J. And J.L. Beal. 1995. Effects of mangrove marsh management on fish and decapod communities. *Bulletin of Marine Sciences* 57: 193-201.
- Loyche M. 1989. Mangrove of West Africa — the forest within the sea. *Mangroves and Fish.* IDAF Newsletter 9: 18-31
- McKee, K.L., and P.L. Faulkner. 2000. Restoration of biogeochemical function in mangrove forests. *Restoration Ecology* 8: 274-259
- McPhaden, M.J. 1999. Genesis and evolution of the 1997-1998 El-Nino. *Science* 283: 950-954.
- Media Indonesia, 03/10/2003. *Abrasi Pantura Tangerang Makin Mengkhawatirkan*
- Media Indonesia, 08/04/2003. *20 Km Pantura Cirebon dan Indramayu Mengalami Abrasi*
- Media Indonesia, 15/09/2003. *Nelayan Keluhkan Pengerukan Pasir Laut*
- Media Indonesia, 17/06/2002. *124 Pantai di Indonesia Mengalami Kerusakan*
- Media Indonesia, 19/08/2002. *Desa-desa di Pesisir Tangerang Makin Terancam Abrasi*
- Media Indonesia, 28/07/2003. *Ribuan Hektare Tambak di Brebes, Cirebon, dan Indramayu Lenyap Terkena Abrasi*
- Media Indonesia, 31/05/2002. *Pantai Slamaran di Pekalongan Alami Abrasi*
- Mish, F.C. (ed.). 1989. *Webster's ninth new collegiate dictionary.* Springfield, MS.: Merriam-Webster Inc.
- Morrison, D. 1990. Landscape restoration in response to previous disturbance. In: Turner, M.G. (ed.) *Landscape Heterogeneity and Disturbance.* New York: Springer-Verlag.
- Noakes, D.S.P. 1951. Notes on the silviculture of the mangrove forest of Matang, Perak. *Malaysian Forester* 14: 183-196.
- Othman, M.A. 1994. Value of mangroves in coastal protection. *Hydrobiologia* 285: 277-282.
- Phillips, R.C. and C.P. McRoy (eds.). 1980. *Handbook of Seagrass Biology and Ecosystem Perspective.* New York: Garland STPM Press.
- Pikiran Rakyat, 04/04/2002. *Pantai Pakisjaya Dikeruk Warga Khawatirkan Abrasi.*

- Pikiran Rakyat, 14/03/2003. *Ribuan Hektare Pantai Habis Digerus Abrasi*.
- Pikiran Rakyat, 27/12/2002. *20 Kilometer Pantai Rusak Karena Abrasi*.
- Pratt, J.R. 1994. Artificial habitats and ecosystem restoration: Managing for the future. *Bulletin of Marine Sciences* 55: 268-275.
- Primavera, J.H. 1995. Mangroves and brackish water pond culture in the Philippines. *Hydrobiologia* 295: 303-309.
- Primavera, J.H. and R.F. Agbayani. 1996. Comparative strategies in community based mangrove rehabilitation programs in the Philippines. *Proceedings of the ECOTONE V Regional Seminar: Community Participation In Conservation, Sustainable Use and Rehabilitation of Mangroves In Southeast Asia*. Ho Chi Minh City, Vietnam, 8-12 January, 1996. Mangrove Ecosystem Research Centre (MERC), and Vietnam National University.
- Pulver, T.R. 1975. Suggested mangrove transplanting techniques. *Proceedings of the Second Annual Conference on the Restoration of Coastal Vegetation in Florida*.
- Qureshi MT. 1990. Experimental plantation for rehabilitation of mangrove forests in Pakistan. *Mangrove Ecosystem Occasional Papers* 4. UNESCO, COMAR, UNDP
- Rabinowitz, D. 1978. Early growth of mangrove seedlings in Panama, and hypothesis concerning the relationship of dispersal and zonation. *Journal of Biogeography* 5: 113-133.
- Republika Online, 15/07/2002. *Kawasan Pantai Sidoarjo Akan Ditanami 20.000 Pohon Mangrove*.
- Republika Online, 15/07/2003. *Sejumlah Tambak Terkena Dampak Abrasi*.
- Republika Online, 17/04/2002. *Abrasi Laut Ancam Permukiman Ratusan Warga Indramayu*.
- Saenger, P. and N.A. Siddique. 1993. Land from the sea: the mangrove afforestation programme of Bangladesh. *Ocean and Coastal Management* 20: 23-29.
- Sanyal, P. 1998. Rehabilitation of degraded mangrove forests of the Sunderbans of India. *Program of the International Workshop on the Rehabilitation of Degraded Coastal Systems*. Phuket Marine Biological Center, Phuket, Thailand. 19-24 January 1998.
- Setyawan, A.D., K. Winarno, P.C. Purnama: 2003. REVIEW: Ekosistem Mangrove di Jawa: 1. Kondisi Terkini. *Biodiversitas* 4 (2): 133-145.
- Siddique, N.A., M.R. Islam, M.A.S. Khan, and M. Shahidullah. 1993. Mangrove nurseries in Bangladesh. *International Society for Mangrove Ecosystems Occasional Papers No.1*. Okinawa: International Society for Mangrove Ecosystems.
- Simberloff, D. 1990. Reconstructing the ambiguous: Can island ecosystems be restored? In Towns, D.R., C.H. Daugherty, and I.A.E. Atkinson. *Ecological Restoration of New Zealand Islands; Conservation Sciences Publication No. 2*. Wellington: Department of Conservation, New Zealand.
- Smith, T.J. 1987a. Seed predation in relation to tree dominance and distribution in mangrove forests. *Ecology* 68: 266-273.
- Smith, T.J. 1987b. Effects of seed predators and light level on the distribution of *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. in tropical, tidal forests. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 25: 43-51.
- Smith, T.J. 1987c. The influence of seed predators on structure and succession in tropical tidal forests. *Proceedings Ecological Society Australia* 15: 203-211.
- Soemodihardjo, S., P. Wiroatmodjo, F. Mulia, and M.K. Harahap. 1996. Mangroves in Indonesia, a case study of Tembilahan, Sumatra. In Fields, C. (ed.) *Restoration of Mangrove Ecosystems*. Okinawa: International Society for Mangrove Ecosystems.
- Stevenson, N.J., R.R. Lewis, and P.R. Burbridge. 1999. Disused shrimp ponds and mangrove rehabilitation. In Streever, W. (ed.). *An International Perspective on Wetland Rehabilitation*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Streever, W. (ed.). 1999. *An International Perspective on Wetland Rehabilitation*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Suara Merdeka, 09/04/2003. *Kampanye Tanam Bakau di Telukawur*.
- Suara Merdeka, 26/01/2003. *Abrasi Pantai di Kendal dan Demak*.
- Suara Pembaruan, 03/03/2002. *Pengelolaan Pesisir Harus Libatkan Warga Lokal*
- Suara Pembaruan, 07/07/2002. *Abrasi Mengancam Desa Limbangan*
- Suara Pembaruan, 11/12/2002. *Pendangkalan dan Abrasi di Jawa Mengkhawatirkan*
- Suara Pembaruan, 19/04/2003. *25.000 Batang Mangrove Ditanam di Segara Anakan*
- Suara Pembaruan, 30/06/2002. *Dilema Lingkungan Akibat Tambak Udang*
- Tampa, S. and P. Tampa. 1988. Establishment and growth of mangrove seedlings in mangrove forests of southern Thailand. *Ecological Research* 3: 227-238.
- Tang, H.T. 1978. Regeneration stocking adequacy standards. *Malaysian Forester* 41: 176-182
- Teas, H.J. 1977. Ecology and restoration of mangrove shorelines in Florida. *Environmental Conservation* 4: 51-58
- Teas, H.J. 1980. Saline silviculture. *2nd International Workshop on Biosaline Research*, La Paz, Baja, California sur, Mexico.
- Teas, H.J., W. Jurgens, and M.C. Kimball. 1975. Planting of red mangroves (*Rhizophora mangle* L.). In: Lewis RR (ed.) *Proceedings of the 2nd Annual Conference on the Restoration of Coastal Vegetation*, Florida; May 17, 1975, Hillsborough Community College, Tampa, Florida.
- Tessar, B. dan K.I. Insan. 1993. Melacak gubug akhir hutan bakau. *Warta Konservasi Lahan Basah* 2 (2): 8-9.
- Thorhaug, A. 1990. Restoration of mangroves and seagrasses-economic benefits for fisheries and mariculture. In Berger, J.J. (ed.) *Environmental Restoration: Science and strategies for restoring the earth* ed. Washington, D.C.: Island Press.
- Turner, R.E. and R.R. Lewis. 1997. Hydrologic restoration of coastal wetlands. *Wetlands Ecology and Management* 4 (2): 65-72.
- van Speybroeck, D. 1992. Regeneration strategy of mangroves along the Kenyan coast: A first approach. *Hydrobiologia* 247: 243-251
- Watson, J.G. 1928. *Mangrove forests of the Malay Peninsula*. Kulala Lumpur: Malaysian Forest Records No. 6
- Whitten, T., R.E. Soeriaatmadja, and S.A. Afiff. 2000. *The Ecology of Java and Bali*. Singapore: Periplus.
- Widiarti, A. and R. Effendi. 1989. Socio-economic aspects of brackishwater pond forest in mangrove forest complex. Symposium Mangrove Management in Indonesia. *Biotrop Special Publication* No. 37: 275-279.
- Winarno, K. dan A.D. Setyawan. 2003. REVIEW: Penyudutan Sungai Citanduy, buah simalakama konservasi ekosistem mangrove Segara Anakan. *Biodiversitas* 4 (1): 63-72.