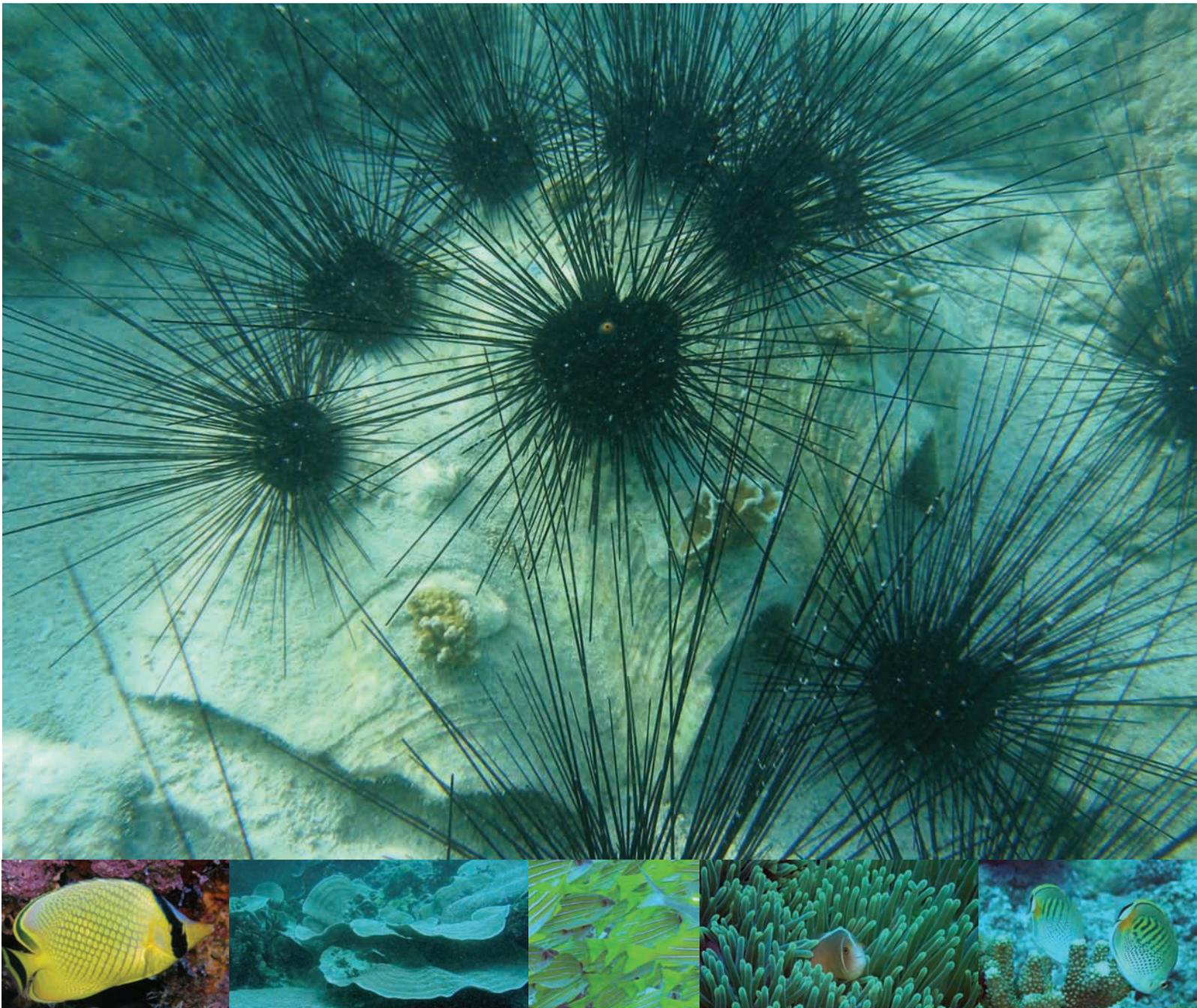




Konsep & Panduan

Restorasi Terumbu:

Membuat pilihan bijak di antara ketidakpastian.



oleh Alasdair Edwards dan Edgardo Gomez

www.gefcoral.org



Alasdair J. Edwards¹ and Edgardo D. Gomez²

¹ Division of Biology, Newcastle University, Newcastle upon Tyne NE1 7RU, United Kingdom

² Marine Science Institute, University of the Philippines, 1101 Quezon City, Philippines

Isi dari buku ini adalah pandangan para penulis tetapi penulis juga ingin berterima kasih kepada anggota Restoration and Remediation Working Group (RRWG) dari proyek Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management, atas ide, informasi, dan masukan dari diskusi tentang konsep, isu, dan teknik restorasi terumbu. Terima kasih juga kami haturkan kepada Richard Dodge, Andrew Heyward, Tadashi Kimura, Chou Loke Ming, Aileen Morse, Makoto Omori, dan Buki Rinkevich atas pandangan yang diberikan. Kami juga berterima kasih kepada Marea Hatzios, Andy Hooten, James Guest dan Chris Muhando atas komentarnya tentang tulisan dalam buku ini. Terakhir, kami juga ingin berterima kasih kepada Coral Reef Initiative for the South Pacific (CRISP), Eric Clua, Sandrine Job, dan Michel Porcher karena menyediakan detail dari kegiatan-kegiatan restorasi dalam bab "Pembelajaran dari kegiatan restorasi".

Data Publikasi:

Edwards, A.J. & Gomez, E.D. 2008. *Konsep dan panduan restorasi terumbu: membuat pilihan bijak di antara ketidakpastian*. Terj. dari *Reef Restoration Concepts and Guidelines: making sensible management choices in the face of uncertainty*. Oleh: Yusri, S., Estradivari, N. S. Wijoyo, & Idris. Yayasan TERANGI, Jakarta: iv + 38 hlm.

Edisi Bahasa Inggris diterbitkan oleh:

The Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Program

Alamat: Project Executing Agency, Centre for Marine Studies
Level 7 Gerhmann Building, The University of Queensland
St Lucia QLD 4072 Australia

Telp: +61 7 3346 9942

Fax: +61 7 3346 9987

E-mail: info@gefcoral.org

Internet: www.gefcoral.org

Edisi Bahasa Indonesia diterjemahkan dan dicetak oleh:

Yayasan Terumbu Karang Indonesia (TERANGI)

Alamat: Kompleks Liga Mas Indah Blok E II no. 11 Pancoran, Jakarta 12760

Telp: +62 21 799 4912

Fax: +62 21 797 3301

E-mail: terangi@cbn.or.id

Internet: www.terangi.or.id

Program Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management (CRTR) adalah sebuah prakarsa riset terumbu karang yang menyediakan pendekatan terkoordinasi untuk menghasilkan pengetahuan tentang perbaikan pengelolaan terumbu karang yang terpercaya, faktual, dan terbukti secara ilmiah.

Program CRTR adalah sebuah kemitraan antara Global Environment Facility (GEF), Bank Dunia, University of Queensland (Australia), United States National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), dan kurang lebih 40 institusi penelitian dan pihak ketiga di seluruh dunia.

ISBN: 978-1-921317-02-6

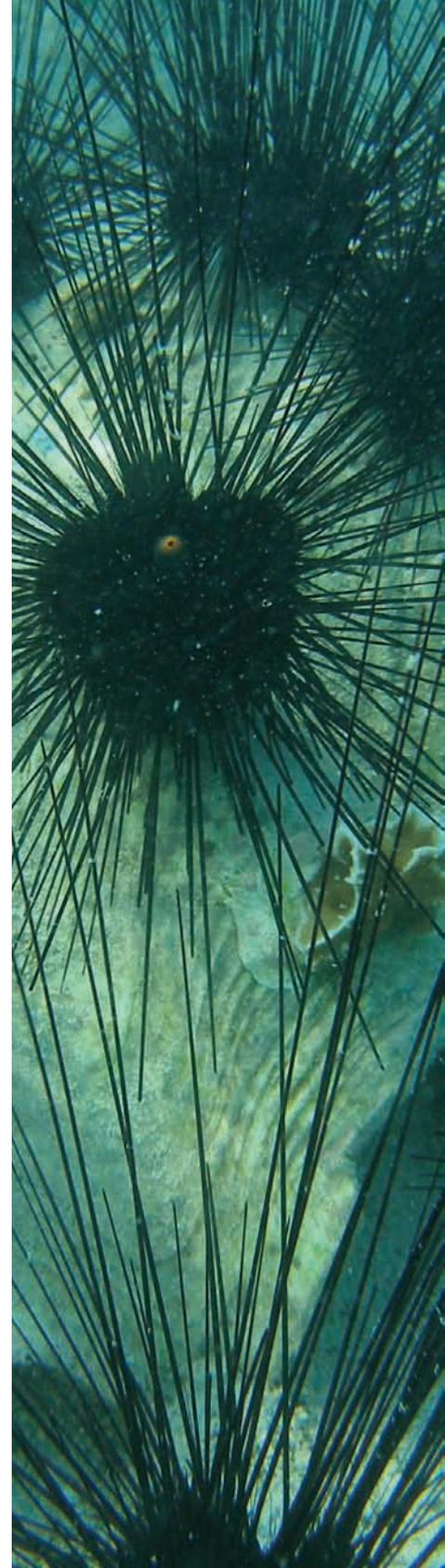
Desain dan tata letak: The Drawing Room, Newcastle upon Tyne, United Kingdom. www.thedrawingroom.net.

© Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Program, 2007.



Daftar Isi

1 Latar belakang	1
1.1 Mengapa terumbu karang itu penting?	1
1.2 Apa saja ancaman terhadap terumbu karang?	1
1.3 Apa tujuan dari restorasi?	3
1.3.1 Menyusun sasaran dan kriteria kesuksesan kegiatan restorasi	4
1.4 Mengapa melakukan restorasi terumbu?	6
1.5 Apa yang intervensi restorasi terumbu karang dapat capai secara realistis?	8
1.6 Apakah restorasi aktif adalah pilihan yang tepat?	9
2 Restorasi fisik	10
2.1 Pertolongan pertama dan perbaikan terumbu rusak	10
2.2 Pembuatan terumbu buatan	12
3 Restorasi biologis	13
3.1 Kenapa terfokus kepada karang?	14
3.2 Sumber bibit karang untuk transplantasi	14
3.3 Budidaya karang	15
3.3.1 Propagasi karang secara aseksual	15
3.3.2 Propagasi karang secara seksual untuk persemaian terumbu	16
3.4 Menempelkan transplan karang	18
3.5 Jenis yang dianjurkan	20
3.6 Ukuran fragmen transplan	21
3.7 Keragaman dan kepadatan transplan	21
3.8 Waktu transplantasi	23
3.9 Pemantauan dan perawatan	24
4 Berapa biaya untuk restorasi terumbu karang?	26
5 Pembelajaran dari kegiatan restorasi	28
Studi kasus	
1: Restorasi terumbu karang akibat kegiatan penambangan pasir dengan pembuatan kebun karang di Polynesia Prancis	29
2: Restorasi terumbu karang pantai akibat angin topan di La Réunion	31
3: Transplantasi karang dari Pelabuhan Longoni, Mayotte	32
4: Restorasi terumbu karang yang rusak akibat pemutihan karang di Fiji	34
5: Transplantasi karang dari Pelabuhan Goro Nickel, New Caledonia	36
6 Daftar pustaka	37



Yang perlu diperhatikan:

“Walaupun restorasi dapat membantu usaha konservasi, restorasi selalu menjadi pilihan kedua dibandingkan perlindungan habitat alami.

Penggunaan restorasi *ex situ* (mitigasi) sebagai pengganti atas kerusakan atau degradasi habitat dan populasi dalam implementasi terbaik biasanya tidak didukung oleh bukti nyata, dan implementasi terburuk malah menyebabkan kerusakan.”

Young, T.P. (2000). *Restoration ecology and conservation biology*. *Biological Conservation*, 92: 73-83.

Cara menggunakan panduan



Panduan ini memuat saran sederhana terkait dengan restorasi terumbu karang untuk para pengelola pesisir, pengambil keputusan, penasihat teknis dan lainnya yang umumnya terlibat dalam upaya perbaikan kondisi terumbu karang berbasis masyarakat. Jika Anda tertarik untuk melakukan restorasi terumbu karang, Anda harus mengetahui bahwa masih banyak ketidakpastian dalam pengetahuan yang berkaitan dengan restorasi, hal tersebut disebabkan oleh kompleksitas ekosistem terumbu karang.

Kebanyakan penelitian ilmiah yang saat ini dilakukan di seluruh dunia berupaya untuk mengisi kekosongan pengetahuan dan meningkatkan pemahaman mengenai apa yang dapat dan tidak dapat dicapai dari intervensi restorasi terumbu karang. Di balik ketidakpastian ini ternyata masih banyak pelajaran-pelajaran berguna yang dapat dipelajari dari pengalaman sebelumnya, baik pengalaman yang berhasil maupun yang tidak.

Panduan ini mencoba untuk meringkas pelajaran-pelajaran tersebut secara padat dan tepat untuk para praktisi sehingga dapat memberikan pandangan yang jelas mengenai apa yang dapat dan yang tidak dapat dicapai dari restorasi terumbu karang; serta dapat menformulasikan tujuan dan harapan yang sesuai.

Kebanyakan bahan bacaan yang tersedia terlalu banyak mendetailkan metode yang dapat atau sudah diaplikasikan di bidang restorasi terumbu karang aktif, tetapi tidak memberikan pertimbangan mengenai kegunaannya dalam konteks pengelolaan ataupun tidak menawarkan nasihat teknis terkait apa dan bagaimana, tingkat kesuksesan, resiko, atau bahkan biaya. Terlihat juga adanya keengganan untuk menyebarluaskan informasi mengenai kegagalan restorasi, analisa penyebab, dan pelajaran yang diambil. Sebetulnya, nasihat mengenai hal-hal yang tidak berjalan hampir sama pentingnya dengan pembelajaran mengenai hal-hal yang berjalan, sehingga dapat mengurangi resiko dalam mengulangi kesalahan yang sama. Meskipun banyak ketidakpastian, kami berupaya untuk menawarkan nasihat secara umum sehingga para pengelola setidaknya dapat mempunyai beberapa gambaran tentang hasil dari kegiatan mereka.

Panduan ini tidak bermaksud untuk menyediakan petunjuk praktis yang mendalam mengenai bagaimana melaksanakan restorasi terumbu karang, namun buku ini bersifat sebagai pelengkap Pedoman Restorasi Terumbu Karang yang memuat aspek-aspek sebagai berikut: membangun dari berbagai pedoman yang telah ada (seperti Clark, 2002; Harriott dan Fisk, 1995; Omori dan Fujiwara, 2004 – lihat daftar pustaka untuk informasi lebih lanjut), dan menyintesa hasil-hasil dari beberapa proyek besar internasional saat ini yang mengadakan penelitian mengenai restorasi terumbu karang.

Sementara itu, untuk informasi yang lebih lengkap, praktisi diharapkan membaca pedoman-pedoman yang disebut di atas dan juga 363 halaman buku Coral Reef Restoration Handbook oleh William F. Precht (ed.) yang dipublikasikan pada tahun 2006 oleh CRC Press (ISBN 0-8493-2073-9). Buku tersebut adalah buku pertama yang dipersembahkan untuk dunia pengetahuan restorasi terumbu karang; ke-20 babnya ditulis oleh banyak koordinator lapangan

berdasarkan ringkasan berbagai kajian ilmiah terbaru yang tersedia. Buku ini dirancang untuk memandu peneliti dan pengelola sumber daya dalam proses pengambilan keputusan dari penilaian awal sampai ke desain konseptual restorasi, implementasi dan pengamatan. Selain itu, buku ini juga merupakan sumber penting untuk Anda yang tertarik mendalami latar belakang keilmuan, hukum, dan sosial-ekonomi restorasi terumbu karang. Sekitar sepertiga bab dalam buku ini sangat berfokus ke perspektif Amerika Serikat, tetapi isu besar internasional lainnya juga dibicarakan.

Untuk gambaran umum mengenai restorasi ekologi, para praktisi dianjurkan untuk membaca The SER International Primer on Ecological Restoration (versi 2: Oktober 2004) yang tersedia dalam website Society for Ecological Restoration International di www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp. Buku tersebut memberikan gambaran yang tepat dan berguna mengenai konsep dasar restorasi yang menekankan berbagai fokus praktis.

Panduan ini sangat berguna bila dipelajari seluruhnya, tetapi Anda dapat membaca topik yang Anda anggap menarik. Bab 1, 2, 3.1 dan 4 berisikan nasihat penting untuk pengelola pesisir dan pengambil keputusan yang akan melaksanakan restorasi terumbu karang, sedangkan bab 3.2 sampai 2.9 dan bab 5 lebih ditujukan ke konsultan teknis (adalah para profesional di bidang biologi laut yang memiliki latar belakang kuat dalam topik tersebut, tetapi mungkin tidak mempunyai spesialisasi dalam bidang restorasi ekologi). Setiap kegiatan restorasi terumbu karang membutuhkan setidaknya satu orang profesional untuk memandu.

Untuk anda yang membutuhkan hanya sekadar gambaran sangat umum, pesan-pesan kunci dalam teks diringkas dalam "Yang Harus Diingat" dan "Panduan Praktik yang Baik".

Pesan-pesan Kunci



Restorasi ekologi adalah proses untuk membantu pemulihan suatu ekosistem yang telah menurun, rusak, atau hancur.



Restorasi terumbu karang adalah disiplin yang masih baru. Kita tidak dapat menciptakan terumbu karang yang berfungsi seutuhnya.



Walaupun restorasi dapat meningkatkan upaya konservasi, namun restorasi selalu menjadi urutan ke dua dibanding dengan preservasi habitat alami.



Terumbu karang yang relatif tidak mendapat tekanan antropogenik, umumnya dapat pulih secara alami dari gangguan tanpa bantuan manusia.



Restorasi terumbu karang aktif yang telah dilaksanakan dengan beberapa kesuksesan hanya dalam skala beberapa hektar saja.



Restorasi mencakup perhitungan pengelolaan pasif atau tidak langsung, yaitu menghilangkan halangan bagi alam untuk pulih dan juga intervensi aktif atau langsung seperti transplantasi.



Restorasi aktif bukan senjata ampuh. Perbaikan pengelolaan daerah terumbu karang adalah kuncinya.



Tujuan restorasi terumbu karang lebih baik berdasarkan batasan ekonomi, hukum, sosial dan politik, serta kondisi ekologis. Bagaimanapun, mengabaikan poin terakhir dapat mengakibatkan resiko kegagalan yang tinggi.



Sasaran kegiatan restorasi harus diformulasikan di awal seteliti mungkin; cara yang paling mungkin untuk mencapai kesuksesan adalah mempertimbangkan konteks perencanaan pengelolaan pesisir yang luas.



Target atau indikator keberhasilan terukur harus disusun sedemikian rupa sehingga kemajuan dapat diukur sesuai dengan waktu dan dapat dikelola secara adaptif.



Pemantauan kemajuan terhadap target harus dilaksanakan secara teratur selama beberapa tahun.



Kesuksesan atau kegagalan, serta pelajaran yang dapat dipetik harus disebarluaskan sehingga orang lain dapat mendapatkan manfaat dari pengalaman Anda.



Sebagian besar kegiatan restorasi fisik hanya dapat dilakukan oleh para ahli. Perlu dicari saran dari ahli teknik sipil juga.



Restorasi fisik terkadang menjadi prasyarat keberhasilan restorasi biologi.



Terdapat sedikitnya 300.000 km² terumbu karang di dunia. Kurangnya substrat keras bukan isu utama. Namun, pengelolaan terumbu alami yang terdegradasi adalah isu kritisnya.



Penggunaan terumbu karang buatan dalam upaya restorasi harus dipertimbangkan dengan baik dan matang terutama dalam kaitannya dengan kebutuhan, pengaruh ekologis, keefektifan biaya dan nilai estetika.



Pertimbangkan bahwa restorasi bukan sebagai kegiatan satu saat saja, tetapi sebagai proses berkala selama kurun waktu tahunan yang mana membutuhkan pengelolaan adaptif.



Restorasi fisik terumbu karang secara besar-besaran membutuhkan biaya US\$ 100.000 – 1.000.000/hektar.



Transplantasi karang meski dengan biaya terbatas tetap menghabiskan dana sebanyak US\$ 2.000 – 13.000/hektar. Sementara untuk sasaran yang lebih besar, nilainya dapat mencapai US\$ 40.000/hektar.



Sebagai perbandingan, nilai tahunan terumbu karang secara kasar dari segi barang dan jasa mencapai US\$ 6.075/hektar.

1. Latar belakang

Tujuan bab ini adalah menyediakan konteks pengelolaan terhadap restorasi terumbu karang. Kami berasumsi bahwa pembaca telah cukup mengenal tentang terumbu karang. Hal yang harus diingat adalah restorasi terumbu karang harus diperlakukan hanya sebagai satu pilihan dalam agenda perencanaan pengelolaan pesisir terpadu. Seringnya, para pendukung restorasi aktif yang antusias, kurang mempertimbangkan konteks yang lebih besar dan faktor-faktor di luar kontrol mereka sehingga dapat membahayakan upaya yang telah dijalankan.

1.1. Mengapa terumbu karang itu penting?

Selain mencegah erosi pesisir, terumbu karang menyediakan sumber pangan dan mata pencaharian bagi ratusan juta penduduk pesisir di lebih dari 100 negara, baik berupa sumberdaya laut yang melimpah untuk dipanen, maupun melalui wisatawan yang tertarik dengan keindahannya, keanekaragamannya dan pasir putih pantainya yang terjaga. Sedikitnya setengah milyar penduduk di dunia bergantung sebagian atau sepenuhnya terhadap sumberdaya terumbu karang untuk menyokong kehidupannya. Mata pencaharian mereka diantaranya adalah nelayan, pengumpul, pelaku budidaya, pelaku perdagangan biota laut untuk akuarium, serta beragam pekerjaan dan kesempatan komersial yang berhubungan dengan turisme. Terumbu karang juga merupakan sumber yang menjanjikan di bidang farmasi dalam mengobati berbagai penyakit seperti kanker dan AIDS. Dalam kaitannya dengan keanekaragaman hayati, terdapat sekitar 100.000 jenis yang telah diidentifikasi, mewakili 94% Filum yang ada di dunia, terdokumentasikan ada di terumbu karang dan bahkan beberapa peneliti menduga paling tidak ada lima kali atau lebih jenis yang belum teridentifikasi.

Dalam skala global, nilai ekonomi total barang dan jasa yang dihasilkan oleh terumbu karang secara kasar diperkirakan mencapai US\$ 375 milyar per tahun dengan nilai tertinggi berasal dari sektor rekreasi, jasa perlindungan pantai dan produksi makanan. Nilai tersebut sama dengan nilai rerata terumbu karang setiap tahunnya, yaitu sekitar US\$ 6.075 per hektar. Di Filipina, yang memiliki luas terumbu sebesar 27.000 km² (meskipun hanya 5% yang berada dalam kondisi sangat baik), terumbuhnya diperkirakan dapat berkontribusi setidaknya US\$ 1,35 milyar per tahun ke perekonomian nasional, kombinasi dari sektor perikanan, wisata, dan perlindungan pesisir. Penurunan kualitas terumbu berarti hilangnya nilai ekonomi barang dan jasa, serta hilangnya jaminan makanan dan pekerjaan untuk masyarakat pesisir, yang umumnya tinggal di negara berkembang dan sebagian besar hidup dalam kemiskinan.

1.2. Apa saja ancaman terhadap terumbu karang?

Laporan *Status of Coral Reefs of the World: 2004* memperkirakan sekitar 20% terumbu karang dunia telah hancur total dan tidak memperlihatkan peluang pemulihan dalam waktu dekat, 24% terumbu karang dunia berada sangat dekat dengan resiko kehancuran karena tekanan manusia, dan sebanyak 26% terancam dalam jangka panjang.

Sampai 20 tahun lalu, tampaknya ancaman terbesar

terumbu karang adalah gangguan manusia yang kronis seperti peningkatan sedimentasi yang dihasilkan dari perubahan tata guna lahan dan pengelolaan daerah aliran sungai yang lemah, pembuangan limbah, penambahan nutrisi dan eutrofikasi dari kegiatan pertanian, penambangan karang, serta penangkapan berlebih (Gambar 1). Akan tetapi, dalam beberapa tahun belakangan iklim global berubah – di satu sisi, menyebabkan terjadinya peristiwa pemutihan karang secara massal dan kematian karang yang sering terjadi, di sisi lain mengakibatkan pengasaman air laut – kemungkinan menjadi ancaman terbesar terhadap keselamatan terumbu karang. Tidak dipungkiri, kemampuan terumbu karang untuk pulih dari peristiwa-peristiwa pemanasan yang ganjil, badai tropis dan berbagai gangguan akut lainnya amat sangat dipengaruhi oleh tingkat gangguan antropogenik yang terjadi. Terumbu karang yang sehat dan tidak tertekan mampu pulih secara cepat (terkadang memakan waktu minimal 5-10 tahun). Terumbu seperti itu dapat disebut "lenting" karena mampu kembali ke keadaan yang menyerupai semula, sebelum terjadi gangguan. Sementara untuk terumbu yang telah tertekan oleh kegiatan manusia, biasanya memiliki kemampuan yang rendah untuk pulih (tidak memiliki daya lenting). Gangguan alami telah mempengaruhi terumbu karang selama beribu-ribu tahun lebih dulu dari pada gangguan yang disebabkan oleh manusia, dan terumbu karang dapat pulih secara alami dari dampak tersebut. Bahkan saat ini, terumbu karang yang sehat dapat dan mampu pulih dari gangguan besar. Diperkirakan setidaknya 40% dari 16% terumbu karang dunia yang rusak berat akibat pemanasan air laut tidak wajar selama peristiwa *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) tahun 1998 mengalami pemulihan dengan baik, bahkan beberapa telah pulih.

Dalam konteks restorasi, sangatlah penting untuk membedakan antara gangguan akut dan kronis. Intervensi melalui restorasi tidak mungkin berhasil untuk memulihkan terumbu yang tertekan secara kronis. Perhitungan pengelolaan harus dilakukan dahulu untuk memperbaiki atau menghilangkan penyebab tekanan antropogenik kronis tersebut (misalnya sedimentasi, limbah, dan penangkapan berlebih). Di sisi lain, hanya sedikit hal yang dapat dilakukan para pengelola dalam menghadapi penyebab penurunan "alami" dalam skala luas seperti perubahan iklim yang berkaitan dengan pemutihan terumbu secara massal, badai, tsunami, dan ledakan penyakit. Meskipun begitu, faktor-faktor stokastik tersebut tidak boleh diabaikan selama restorasi berlangsung dan bahkan harus turut diperhitungkan pada saat perencanaan kegiatan restorasi sebagai bagian dari upaya mengurangi resiko yang mungkin timbul oleh peristiwa tersebut.

Pertimbangan ekonomis sudah jelas berpihak kepada pengelolaan yang baik. Sebagai contohnya, di Indonesia, diperkirakan keuntungan bersih yang didapat oleh setiap orang akibat penangkapan menggunakan bom adalah US\$ 15.000 per km², dan sebaliknya nilai kerugian yang dapat dihitung ke masyarakat dari aktivitas ini mencapai US\$ 98.000 – 761.000 per km². Contoh-contoh pengalaman penangkapan menggunakan bom dan ancaman lainnya dari Indonesia dapat dilihat di Tabel 1. Berdasarkan angka-angka yang moderat, terlihat bahwa rerata kerugian ke masyarakat mendekati sepuluh kali lipat dibandingkan keuntungan bersih ke individu.

Tabel 1. Total keuntungan bersih dan kerugian yang dapat dihitung akibat berbagai ancaman ke terumbu karang di Indonesia (nilai saat ini; 10% pengurangan; jangka waktu 25 tahun). Diadopsi dari Cesar, 2000.

Ancaman	Total keuntungan bersih ke individu	Total kerugian bersih ke masyarakat
Penangkapan ikan dengan racun	US\$33.000 per km ²	US\$43.000-476.000 per km ²
Penangkapan ikan dengan bom	US\$15.000 per km ²	US\$98.000-761.000 per km ²
Penambangan karang	US\$121.000 per km ²	US\$176.000-903.000 per km ²
Sedimentasi akibat pembalakan	US\$98.000 per km ²	US\$273.000 per km ²
Penangkapan ikan berlebih	US\$39.000 per km ²	US\$109.000 per km ²



Skala dimana berbagai penyebab degradasi terumbu karang berperan, sangat penting dalam hubungannya dengan apa yang ingin dicapai oleh restorasi (lihat sub bab 1.5). Gangguan berskala luas seperti ENSO-yang mempengaruhi kematian massal karang, siklon tropis (topan, angin puyuh), dan ledakan bulu seribu (*Acanthaster planci*) dapat menyebabkan kerusakan dalam skala yang jauh lebih besar daripada yang restorasi dapat perbaiki. Bagaimanapun, daerah yang umumnya rusak akibat tertabrak kapal, pembuangan limbah yang jelas, penyelam atau jangkar kapal, berada di skala yang hampir sama dengan beberapa implementasi restorasi yang sukses.

Ringkasnya, jika terumbu karang tertekan oleh aktivitas manusia (seperti penangkapan berlebih, limpasan sedimen dan nutrisi), maka daerah tersebut besar kemungkinannya tidak mampu pulih kembali dari gangguan berskala besar. Restorasi aktif sangat tidak dianjurkan untuk membantu pemulihan daerah tersebut karena besarnya perbedaan skala yang tidak sebanding, hanya pengelolaan pesisir yang baik (biasa disebut dengan restorasi pasif) yang dapat memberikan kesempatan terbesar. Jika kita ingin mengelola ancaman-ancaman tersebut, maka restorasi dengan skala kecil dapat membantu pengelolaan.

1.3 Apa tujuan dari restorasi?

Sebelum berpikir mengenai tujuan dari kegiatan restorasi terumbu karang tertentu, akan sangat bermanfaat bila mempertimbangkan maksud dari *restorasi ekologi*. *The Society for Ecological Restoration International* menawarkan definisi sebagai berikut:

“Restorasi ekologi adalah proses untuk membantu pemulihan suatu ekosistem yang telah menurun, rusak, atau hancur.”

Kutipan di atas adalah tugas kita dan menegaskan bahwa intervensi restorasi diciptakan untuk membantu proses-proses pemulihan alami. Apabila proses pemulihan alami tersebut tidak berjalan, bentuk pengelolaan lain dibutuhkan sebelum intervensi restorasi berpeluang sukses. “Bantuan” kita dalam pemulihan alami dapat berupa bentuk pasif atau secara tidak langsung, atau dalam bentuk aktif atau intervensi langsung. Yang pertama umumnya melibatkan perbaikan pengelolaan aktivitas antropogenik yang menghalangi proses pemulihan alami; sementara yang terakhir biasanya melibatkan restorasi fisik aktif dan/atau intervensi restorasi biologis (contohnya transplantasi karang dan biota lainnya ke daerah yang terdegradasi).

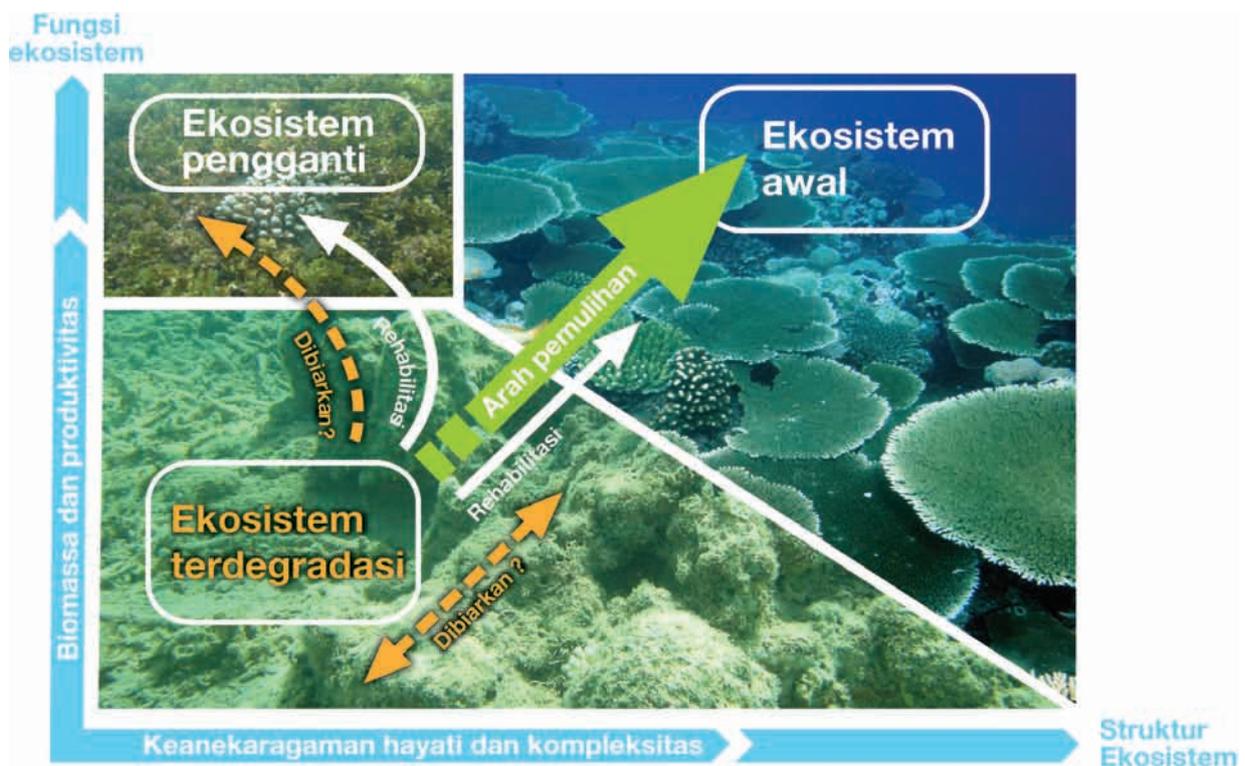
Restorasi terumbu karang adalah disiplin yang baru dan sangat tidak bijak apabila dengan keras menekankan apa yang dapat dicapai dengan restorasi. Bila para pembuat keputusan terbawa dan percaya bahwa terumbu karang yang fungsional dapat diciptakan oleh intervensi restorasi (seperti mentransplantasi organisme terumbu dari lokasi

donor, yang ingin berkembang, ke lokasi di luar zona yang terkena dampak), maka mereka akan bertindak seperti demikian. Kita harus menegaskan kepada para pembuat keputusan bahwa kita masih berada jauh di belakang dalam proses menciptakan kembali ekosistem terumbu karang yang fungsional (dan bahkan kemungkinan tidak akan pernah tercapai!) sehingga keputusan-keputusan yang mengandalkan mitigasi mengganti terumbu akan menyebabkan kerusakan lebih lanjut.

Ada baiknya jika kita mendefinisikan apa yang kita maksud dengan restorasi, rehabilitasi dan remediasi.

- **Restorasi:** tindakan untuk membawa ekosistem yang telah terdegradasi kembali, semirip mungkin, dengan kondisi aslinya.
- **Rehabilitasi:** tindakan untuk menempatkan kembali sebagian atau, terkadang, seluruh struktur atau karakteristik fungsional dari suatu ekosistem yang telah hilang, atau substitusi dari alternatif yang berkualitas atau berkarakteristik lebih baik dengan yang saat ini ada dengan pandangan bahwa mereka memiliki nilai sosial, ekonomi atau ekologi dibandingkan kondisi sebelumnya yang rusak atau terdegradasi.
- **Remediasi:** tindakan atau proses memperbaiki kerusakan di ekosistem.

Terkadang, kita menetapkan suatu tujuan yang sangat tinggi yaitu restorasi terumbu karang, tetapi kita juga harus berlapang dada apabila hanya dapat mencapai beberapa bentuk rehabilitasi saja.



Gambar 2. Kemungkinan cara untuk pemulihan atau perubahan keadaan untuk ekosistem yang terdegradasi dengan atau tanpa intervensi restorasi aktif. Lihat teks di bawah untuk penjelasan lebih lanjut (Diagram berdasarkan Gambar 5.2 di Bradshaw, A. D. (1987). *The reclamation of derelict land and the ecology of ecosystems*. In: Jordan III, W.R., Gilpin, M.E. and Aber, J.D. (eds). *Restoration Ecology: A synthetic Approach to Ecological Research*. Cambridge University Press.)

Tujuan utama restorasi adalah untuk peningkatan kualitas terumbu yang terdegradasi dalam hal struktur dan fungsi ekosistem. Paramater yang menjadi pertimbangan adalah keanekaragaman hayati dan kompleksitas di satu sisi serta biomassa dan produktivitas di sisi lain (Gambar 2). Pada sistem terumbu sehat yang tidak mengalami kerusakan fisik, daerah yang terpengaruh diharapkan dapat pulih secara alami ke kondisi awal seperti sebelum mendapat tekanan melalui jalan suksesi (panah tebal berwarna hijau). Dalam kasus seperti itu, terumbu “dibiarkan” (membiarkan alam yang bekerja) dan bersabar dapat menyukseskan restorasi. Bagaimanapun, jika degradasi cukup parah atau luas, atau sistem terumbu mendapat tekanan tambahan kronis yang disebabkan oleh manusia (contohnya penangkapan berlebih, pembuangan nutrisi, sedimentasi), lalu terumbu “dibiarkan” maka dapat mengakibatkan penurunan yang lebih parah, bahkan kemungkinan dapat berganti ke kondisi stabil alternatif (yang mungkin kurang disukai oleh pengguna sumber daya lokal) seperti contohnya terumbu yang didominasi oleh alga. Bila hal tersebut terjadi, restorasi aktif, jika perlu, ditambah kombinasi dengan aksi pengelolaan untuk menurunkan tekanan antropogenik, akan dibutuhkan agar terumbu memiliki kesempatan pulih ke kondisi yang diinginkan. Meskipun ada kegiatan restorasi aktif, pemulihan dapat berkembang ke kondisi yang berbeda dengan ekosistem aslinya. Secara umum, kondisi ini (seperti didominasi karang dengan jenis dominan yang berbeda-beda) akan menyerupai dengan kasus “rehabilitasi” (perbaikan fungsi dan struktur ekosistem) yang telah berhasil, tetapi tidak dapat dikategorikan sebagai restorasi penuh. Alternatifnya, restorasi aktif dapat mengecewakan dan dapat menjadi laju awal perbaikan ke kondisi ekosistem yang berbeda (sistem “pengganti”), sehingga sangat tergantung dengan sasaran dari intervensi restorasi. Memutuskan perhitungan aktif yang dibutuhkan dan apa yang harus dilakukan, mungkin adalah bagian tersulit untuk dijawab. Kami akan berusaha untuk memberikan pedoman bagaimana cara menjawab masalah tersebut dalam beberapa bab ke depan.

Pada bahasan di atas, kita telah berkonsentrasi pada tujuan biologis dari restorasi terumbu dan hasil-hasil yang mungkin dicapai. Bagaimanapun, di dunia nyata, tujuan restorasi dipengaruhi oleh batasan ekonomi, hukum, sosial dan politik. Batasan ini dapat menyeter tujuan ekologis dari suatu kegiatan dan bahkan parahnya dapat bertentangan dengan petunjuk praktik yang baik secara ekologis. Kegiatan-kegiatan yang mengabaikan kenyataan ekologis sangat beresiko menemui kegagalan, memiliki tingkat keefektifan biaya yang rendah dan bahkan dapat lebih berbahaya ketimbang berguna.

Tidak semua kegiatan restorasi cocok dengan skema di atas. Di sektor wisata, terkadang ada keinginan untuk mempromosikan akses yang mudah untuk mengeksplorasi habitat terumbu karang sehingga siapa pun yang berwisata dapat dengan mudah melihat karang dan ikan yang berwarna-warni untuk kepuasan pribadi, dimana lingkungannya dangkal, aman dan terlindung. Untuk melakukan ini, akses menuju terumbu harus dibuat (kembali) di laguna berpasir, baik di substrat asli maupun buatan. Pada umumnya, transplantasi karang dan teknik “restorasi” lain dilibatkan. Kegiatan-kegiatan tersebut dapat dilaksanakan pula di kawasan taman laut dan sangat baik karena memiliki peran edukasi dan peningkatan kesadaran juga. Kegiatan ini bisa jadi bukan restorasi dalam tatanan sebenarnya, tetapi lebih ke arah substitusi habitat atau penciptaan habitat,

namun memang seringnya kegiatan ini dikategorikan sebagai restorasi dan menjadi dasar batasan ekologis yang sama. Dalam kasus ini, tujuannya sangat sederhana, yaitu untuk menciptakan beberapa habitat terumbu karang, yang mudah diakses, bernilai estetika, (dan semoga dapat bertahan seterusnya), untuk para wisatawan atau pengunjung taman laut yang bukan perenang snorkel atau penyelam.

Tipe kedua dari kegiatan restorasi yang kurang cocok dengan skema adalah area dimana terumbu karangnya telah hancur oleh pembangunan (seperti reklamasi pantai, pembangunan pabrik-pabrik dan pelabuhan), sementara karang hidup dan organisme lainnya – yang akan mati apabila ditinggalkan di area tersebut – ditransplantasikan ke area terumbu yang tidak terkena dampak. Keputusan pengelolaan diambil berdasarkan kemungkinan adanya kehilangan habitat; tujuan dari kegiatan mitigasi adalah untuk menyelamatkan sebanyak mungkin organisme sesil dari daerah yang terkena dampak. Sebagai hasil sampingan, daerah reseptor akan sangat diuntungkan bila kegiatan tersebut direncanakan dengan matang dan dijalankan dengan baik. Sekali lagi, transplantasi dan teknik restorasi terumbu karang lainnya harus dilibatkan; dan kegiatan tersebut dapat dipertimbangkan dalam konteks restorasi meskipun apabila motor penggerak utama berupa mitigasi bukan restorasi.

1.3.1. Menyusun sasaran dan kriteria kesuksesan kegiatan restorasi

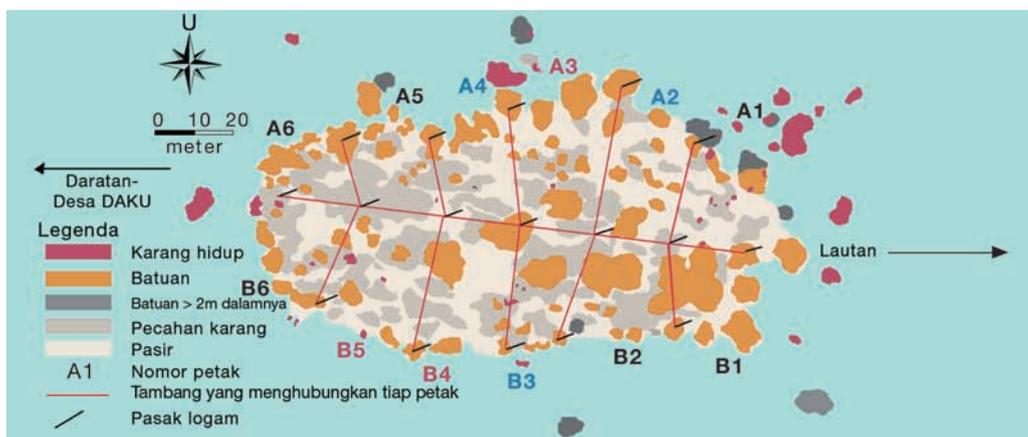
Sebelum kegiatan restorasi dilaksanakan, tujuan kegiatan harus dipertimbangkan dengan baik dan dideskripsikan sedetil mungkin. Sayangnya, hal ini justru jarang dilakukan; atau tujuan sulit didefinisikan atau tidak mungkin dan tidak realistis secara ekologis; sepertinya kegiatan ini sudah mengalami kegagalan di awal. Tanpa sasaran dan tujuan, tidak mungkin kita dapat mengevaluasi keberhasilan dan sangat sulit untuk memetik pelajaran yang berguna. Bila tujuan telah disepakati dan dipahami oleh semua pihak yang terkait, maka rumuskanlah indikator (atau target) spesifik yang diperlukan yang dapat diuji dan diukur sehingga dapat mengevaluasi keberhasilan (atau kegagalan) kegiatan restorasi. Indikator yang dibangun harus sesuai dengan tujuan, sehingga apabila target tercapai maka tujuan akan sukses terlaksana. Target yang dipilih harus realistis dan lebih baik mudah ditemui, serta waktu pelaksanaannya untuk memenuhi tujuan harus dideskripsikan. Waktu pelaksanaan yang eksplisit dengan beberapa deskripsi yang penting dapat digunakan untuk mengamati kemajuan restorasi secara berkala dan untuk melakukan aksi koreksi (pengelolaan adaptif) bila memadai, seperti pada saat indikator tidak tercapai di waktu yang telah ditentukan. Indikator dapat berupa nilai akhir seperti persentase penutupan karang atau bukti restorasi dari proses ekosistem kunci seperti rekrutmen karang dan laju alga dimakan oleh ikan.

Menentukan kriteria yang dapat mendemonstrasikan bahwa restorasi berhasil serta memilih nilai indikator dan target, bukanlah hal yang mudah. Jangka waktu untuk pemulihan bisa jadi tidak jelas dan “kondisi ekosistem referensi” yang dijadikan tujuan mungkin tidak nyata kecuali bila daerah yang terdegradasi kecil dan terumbu pembanding yang dalam keadaan sangat baik berada berdekatan dan dapat berfungsi sebagai “pengukur”. Data historis atau data dari lokasi yang berdekatan yang memiliki aspek serupa, yaitu kedalaman, paparan, dll., harus dicari untuk menyediakan petunjuk bagaimana kondisi yang diinginkan ketika merestorasi suatu terumbu. Dalam kaitannya dengan perubahan iklim, “kondisi

ekosistem referensi” bisa jadi berubah terus menerus, sehingga pendekatan pragmatik harus dipakai. Diantara semua ketidakpastian ini, akan sangat bijak apabila Anda membuat tujuan dan indikator yang akan menunjukkan apakah pemulihan berada di jalan yang benar dalam kaitannya dengan arah perubahan, tetapi tidak terlalu eksplisit mengenai jumlah perubahan yang diinginkan.

Untuk restorasi aktif, menghitung tingkat kesuksesan dapat lebih mudah dilakukan jika Anda menentukan sejumlah daerah “kontrol” dimana tidak ada intervensi aktif yang dilakukan, di daerah yang telah terdegradasi (Gambar 3). Anda lalu dapat membandingkan apa yang terjadi setiap saat di daerah dimana Anda telah membantu proses pemulihan alami secara aktif dengan apa yang terjadi di lokasi yang bersebelahan dimana Anda memberikan kesempatan terjadinya pemulihan alami (jika ada).

Biayanya adalah apa yang telah Anda bayarkan; keuntungannya berupa peningkatan indikator (contohnya persentase penutupan karang, jumlah ikan pemakan alga, laju rekrutmen karang) di daerah yang terestorasi maupun di daerah kontrol. Melihat besarnya degradasi terumbu, tingginya biaya restorasi aktif, dan potensial keuntungan dalam hubungannya dengan mempelajari pengalaman dari kegiatan yang dilakukan, pendekatan yang disebutkan di atas sangat direkomendasikan bila memungkinkan. Jangka waktu berakhir bilamana perubahan telah dievaluasi setidaknya selama beberapa tahun untuk mencocokkan jangka waktu pemulihan yang diinginkan. Penelitian menunjukkan bahwa pemulihan alami membutuhkan sedikitnya 5 – 10 tahun. Restorasi jangka panjang (5 – 10 tahun lebih) adalah sasarannya, bukan bersifat jangka pendek atau berlangsung sebentar saja, serta peningkatan kondisi indikator lain.



Gambar 3. Peta lokasi restorasi di Fiji menunjukkan bagaimana areal terumbu yang terdegradasi dibagi menjadi 12 plot, tiga diantaranya dipilih untuk restorasi (A3, B4 dan B5) dan tiga lainnya dipilih untuk lokasi pengamatan bertindak sebagai kontrol (A2, A4 dan B3). (Dari: Job, S., Bowden-Kerby, A., Fisk, D., Khan, Z dan Nainoca, F. (2006). *Progress report on restoration work and monitoring*. Moturiki Island, Fiji. Technical Report. Coral Reef Initiative for the South Pacific).

Yang Harus Diingat

-  Restorasi ekologi adalah proses untuk membantu pemulihan suatu ekosistem yang telah menurun, rusak, atau hancur.
-  Restorasi juga mencakup tindakan pengelolaan pasif atau tidak langsung untuk menghilangkan halangan dalam pemulihan alami, juga intervensi aktif atau langsung seperti transplantasi.
-  Tujuan restorasi terumbu karang lebih baik berdasarkan batasan ekonomi, hukum, sosial dan politik, serta kenyataan ekologi. Bagaimanapun, mengabaikan poin terakhir dapat mengakibatkan resiko kegagalan yang tinggi.
-  Sasaran kegiatan restorasi harus diformulasikan di awal seteliti mungkin; cara yang paling mungkin untuk mencapai kesuksesan adalah mempertimbangkan konteks perencanaan pengelolaan pesisir yang luas.
-  Target atau indikator yang dapat diukur harus disusun sehingga dapat menghitung secara berkala, baik kemajuan terhadap sasaran maupun pengelolaan adaptif dari kegiatan restorasi.
-  Pengamatan kemajuan/perkembangan terhadap target harus dilaksanakan pada interval waktu yang tetap selama beberapa tahun.
-  Kesuksesan atau kegagalan, serta pelajaran yang dapat dipetik harus disebarluaskan sehingga orang lain dapat mendapatkan keuntungan dari pengalaman Anda. Baru sedikit pengetahuan yang diketahui; sehingga informasi sedikit apapun akan sangat membantu.

1.4 Mengapa melakukan restorasi terumbu?

Sistem terumbu karang telah berevolusi untuk menanggulangi gangguan alami dan memang gangguan-gangguan ini sebenarnya penting dalam strukturisasi komunitas-komunitas terumbu. Secara keseluruhan (jika sehat dan tidak tertekan oleh aktivitas manusia), terumbu mampu pulih dengan baik dari gangguan akut meski pemulihan penuh dari suatu area membutuhkan waktu beberapa abad – waktu yang singkat dalam skala ekologis atau evolusi, tetapi waktu yang sangat lama dalam skala manusia.

Dampak antropogenik seringkali bersifat kronis (jangka panjang) dan bahkan jika akut, seperti tertabrak kapal, dapat menyebabkan kerusakan fisik yang membahayakan proses pemulihan alami. Dimana ada dampak kegiatan manusia yang akut, untuk memberikan kesempatan pemulihan, perhitungan restorasi pasif atau tidak langsung (seperti perlakuan limbah/sampah, pengelolaan air, penegakan perikanan, dll.) dibutuhkan agar proses pemulihan alami dapat berjalan, diikuti oleh intervensi restorasi aktif atau langsung seperti transplantasi karang atau stabilisasi substrat untuk membantu. Apabila pemulihan terhambat oleh kerusakan fisik, maka restorasi fisik aktif dibutuhkan untuk pemulihan. Sehingga, dapat dikatakan bahwa restorasi (pasif atau aktif) dibutuhkan bilamana terumbu rusak karena manusia. Pertimbangan utama sosial-ekonomi untuk merestorasi, adalah untuk membawa kembali arus barang dan jasa yang disediakan oleh terumbu karang yang sehat (lihat bab 1.1).

Sekali lagi, keputusan terkait dengan restorasi terumbu tampaknya masih disetir oleh aspek lokal, yaitu ekonomi, hukum, sosial dan politik. Kebanyakan yang terjadi adalah restorasi terumbu berasosiasi dengan perbaikan kerusakan terumbu karang yang disebabkan oleh tertabrak kapal. Dalam kasus seperti itu, asuransi yang menangani perusahaan kapal (disebut sebagai “pihak penanggung jawab” dalam bahasa hukum) bertanggung jawab dalam menyediakan sumber dana. Di negara seperti Amerika Serikat, terdapat kerangka kerja hukum untuk mendukung kompensasi restorasi untuk mengembalikan sumber daya dan jasa terumbu yang telah hilang. Skala kerusakan (dalam urutan 100 – 1000 m² per kasus) sangat cocok dengan skala apa yang dapat dicapai oleh teknik restorasi saat ini. Pada

akhirnya kegiatan restorasi bekas tertabrak kapal di daerah-daerah seperti Daerah Perlindungan Laut Nasional Florida Keys menelurkan banyak pelajaran yang berguna. Pelajaran yang paling penting dari pengalaman tertabrak kapal menunjukkan meskipun tabrakan berdampak lokal, tetapi komunitas mungkin tidak dapat pulih ke kondisi awal sebelum kerusakan terjadi, bahkan dapat “berbalik” menjadi komunitas yang didominasi alga atau yang berdasar keras yang berbeda dengan kondisi awal.

Perkembangan yang sangat menggembirakan dalam restorasi terumbu adalah peningkatan minat masyarakat lokal dari negara berkembang dalam memperbaiki kualitas dan produktivitas sumberdaya terumbu yang telah terdegradasi oleh pengeboman ikan, praktik penangkapan berlebih dalam jangka panjang, sedimentasi, pelepasan nutrisi, atau dampak lainnya. Dalam situasi seperti itu, masyarakat cenderung menggunakan kombinasi kegiatan pengelolaan (seperti penentuan daerah perlindungan laut atau zona larang ambil) dengan restorasi lokal untuk merestorasi aliran sumberdaya laut (terutama ikan) dimana masyarakat biasa mencari nafkah. Jika demikian, restorasi aktif hanya menjadi salah satu amunisi para pengelola pesisir dan harus dilihat sebagai komponen dari rencana pengelolaan terintegrasi yang lebih besar, bukan sebagai “senjata ampuh”. Aktivitas semacam itu mungkin juga memiliki nilai tambah untuk wisata (lihat Heeger dan Sotto, 2000).

Dua tipe kegiatan yang melibatkan teknik restorasi terumbu dan dapat terjadi di area terumbu yang direstorasi, yaitu pembuatan jalan ke habitat terumbu yang mudah diakses untuk wisata dan pendidikan, dan penyelamatan dengan cara translokasi organisme laut yang terancam kematian akibat pembangunan. Dari kedua kasus tersebut motifnya sudah jelas.

Argumentasi lain terhadap restorasi terkait dengan adanya resiko ekosistem yang didominasi karang akan berbalik ke kondisi stabil alternatif akibat gangguan (lihat Boks 1). Restorasi terumbu sangatlah mahal, melebihi dari restorasi lamun dan mangrove. Usaha untuk merestorasi jalan menuju habitat terumbu yang telah berbalik menjadi kondisi alternatif stabil bahkan akan membuat biaya makin besar dan mungkin menjadi penghalang. Bagaimanapun, kombinasi dari tindakan pengelolaan (untuk menurunkan penyebab tekanan antropogenik kronis) dan restorasi aktif di sistem terumbu yang terdegradasi, dapat meningkatkan kelentingan dan menurunkan resiko ekosistem untuk berubah menjadi kondisi alternatif.

Boks 1: Sejarah Kasus Jamaika

Bahaya yang datang dari kombinasi dampak antropogenik kronis dan gangguan alami ke terumbu ditunjukkan oleh apa yang terjadi di Jamaika selama beberapa abad belakangan. Rangkumannya adalah sebagai berikut. Pada tahun 1970-an terumbu karang Jamaika merupakan ekosistem yang didominasi oleh karang dengan nilai penutupan karang sekitar 45 – 75% tergantung dari kedalaman dan lokasi. Penangkapan intensif sudah terjadi semenjak tahun 1960an dengan bukti-bukti nyata bahwa terjadi penangkapan berlebih. Di terumbu yang lebih mudah diakses, diperkirakan biomassa ikan telah menurun sebanyak 80%. Sehingga predator besar seperti hiu dan kakap besar, cakalang, jebung, dan kerapu terlihat telah habis, diikuti oleh herbivora besar seperti ikan kakatua besar. Sebagaimana tekanan penangkapan terus berlanjut ke bagian bawah jaring makanan, ikan herbivora lainnya ikut berkurang kelimpahan dan ukurannya, namun ekosistem memiliki kelebihan bulu babi pemakan alga (*Diadema antillarum*) sehingga mereka mengambil peran ikan dalam memakan alga.

Penangkapan menurunkan kelimpahan, baik ikan yang memakan bulu babi (seperti jebung) maupun ikan herbivora yang seharusnya berkompetisi dengan bulu babi dalam mendapatkan sumber daya alga. Pada akhirnya, populasi *Diadema* meledak.

Memakan alga adalah aktivitas yang penting karena jika makroalga menjadi dominan, mereka dapat menempati seluruh tempat yang tersedia di lingkungan terumbu sehingga menghambat penempelan karang dan organisme lainnya. Normalnya ada keseimbangan, dengan biomassa alga dikontrol oleh organisme pemakan alga, dimana dengan memakannya secara terus menerus akan menciptakan substrat kecil yang kosong untuk ditempati avertebrata. Bagaimanapun, kurangnya jumlah hewan pemakan alga, makroalga (jika ia tumbuh subur justru tidak dapat dimakan oleh kebanyakan herbivora) dapat mengambil alih dominasi. Jika hal ini terjadi, Anda akan mendapatkan perubahan dramatis menjadi sebuah kondisi pengganti, yaitu kondisi ekosistem yang didominasi oleh alga.

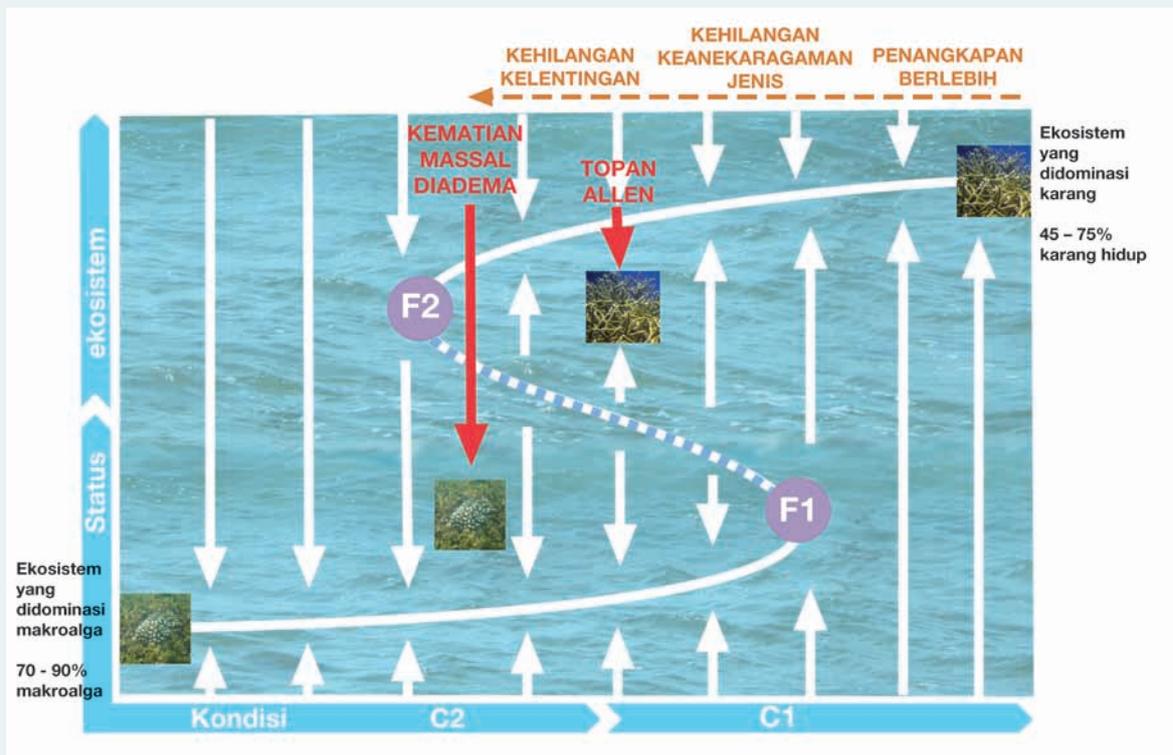
Seiring dengan penangkapan berlebih, terjadi perubahan fungsi lahan, yang mungkin akan dengan mudah meningkatkan kandungan nutrisi dan sedimentasi di beberapa kawasan terumbu dekat pantai, dan juga akan meningkatkan prevalensi penyakit karang. Lalu, di tahun 1980 Topan Allen menghantam. Gangguan utama ini mengakibatkan kerugian yang sangat besar berupa penurunan persentase penutupan karang di perairan dangkal dan ledakan alga berumur pendek. Walaupun begitu, terumbu tetap lenting karena bulu babi *Diadema* mampu mengontrol pertumbuhan alga sehingga banyak terjadi rekrutmen karang dan perlahan penutupan karang mulai kembali. Setelah tiga tahun berselang, di tahun 1983 terjadi kematian massal bulu babi *Diadema* akibat penyakit dimana densitasnya berkurang sampai 99%. Dalam batas ini benteng pertahanan terakhir pengontrol herbivora berhasil diterobos dan dengan cepat makroalga mengambil alih, dimulai dari perairan dangkal dan kemudian ke perairan yang lebih dalam. Di akhir tahun 1980an terumbu telah berubah drastis menjadi kondisi stabil alternatif dengan 70 – 90% tutupan alga.

Dari sudut pandang restorasi, kondisi alternatif ini mungkin berada di urutan yang jauh lebih sulit untuk direstorasi daripada berbagai versi degradasi sistem yang didominasi

karang yang ada sebelum kematian massal *Diadema*. Untuk memperoleh kondisi awal, tidak hanya dibutuhkan perhitungan pengelolaan (restorasi pasif) untuk mengubah kondisi dari C2 ke C1 dalam Gambar 4 (pengelolaan perikanan dan/atau budidaya bulu babi untuk merestorasi herbivora), tetapi juga dibutuhkan beberapa gangguan restorasi aktif yang besar untuk membersihkan makroalga dan menambah jumlah karang sebelum sistem memiliki kesempatan untuk berbalik kembali.

Pelajaran yang dapat diambil adalah dampak antropogenik kronis selama berabad-abad dapat secara kumulatif menggerogoti kelentingan ekosistem walaupun tidak ada tanda-tanda bahwa ekosistem dalam resiko. Setelah topan Allen, ekosistem masih terlihat lenting dan memperlihatkan tanda untuk kembali. Namun, jika ada satu gangguan lebih lanjut, sistem akhirnya runtuh ke kondisi alternatif.

Dengan adanya perubahan iklim, gangguan-gangguan tampak menjadi lebih padat, cepat dan setidaknya kita dapat mengelola terumbu-terumbu yang di bawah tekanan antropogenik tersebut dengan lebih baik. Tampaknya akan jauh lebih baik jika kita melihat terumbu di banyak tempat tumbang seperti domino ke kondisi alternatif.



Gambar 4. Perubahan menuju kondisi alternatif. Kurva garis putih mewakili “penyebab” dua kondisi stabil yang berbeda, satu adalah dominasi karang (kanan atas) dan satunya lagi adalah dominasi makroalga (kiri bawah). Ketika kondisi ekosistem mendekati ke masing-masing penyebab, berbagai proses arus balik kemungkinan akan menjaga kestabilan, menarik kembali ke arah penyebab. Jika kondisi memburuk untuk ekosistem yang didominasi karang dari C1 ke C2, kondisinya bergerak ke arah percabangan F2 dan kelentingannya (sulit karena tergantung dengan gangguan yang dapat memindahkan ke kondisi tidak stabil atau stabil alternatif) menurun. Garis kurva putus-putus putih antara F2 dan F1 adalah “penolak” dimana kondisi ekosistem tidak stabil dan dapat berbalik ke kondisi stabil.

Bilamana kondisi berubah, akan ada sedikit perubahan nyata di kondisi ekosistem, tetapi sistem dapat menjadi berkurang dan tidak mampu menanggapi gangguan yang besar. Dalam kasus Jamaika, terumbu tampaknya pulih dari topan Allen dan bergerak balik ke “penyebab”, tetapi kemudian kematian massal *Diadema* membalikkan sistem ke kondisi stabil alternatif. Untuk merestorasi sistem, tidak hanya dibutuhkan pengelolaan untuk memindahkan kondisi kembali ke C1, tetapi juga dibutuhkan gangguan besar lainnya atau aktif restorasi untuk menanggulangi masalah kelentingan dari penyebab kondisi makroalga.

(Hughes, T.P. 1994. *Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef*. *Science*, 265: 1547 – 1551; Suding, K.N., Gross, K.L. dan Houseman, G.R. 2004. *Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology*. *Trends in Ecology Evolution*, 19 (1): 46 – 53.)

1.5. Apa yang intervensi restorasi terumbu karang dapat capai secara realistis?

Seperti yang telah dijelaskan di bab awal, restorasi terumbu karang masih dalam masa pertumbuhannya. Sistem yang akan kita coba restorasi sangatlah kompleks dan tidak terlalu dipahami oleh kita untuk dapat yakin terhadap keluaran yang dihasilkan oleh restorasi. Kita masih mempelajari apa yang berhasil dan apa yang tidak berhasil secara empiris.

Berarti, potensi terbatas untuk restorasi tidak harus dipakai sebagai dasar kebenaran bagi para pembuat keputusan untuk menyetujui kegiatan-kegiatan yang pada akhirnya akan mendegradasi terumbu yang sehat.

Restorasi terumbu tidak boleh terlalu banyak dijual dan keterbatasannya harus dipahami (Richmond, 2005). Adalah hal yang memalukan dan menyedihkan jika membandingkan skala percobaan restorasi dengan skala dari degradasi terumbu (Gambar 5).

terumbu dapat dicobakan dengan skala dimana dampak utama dapat mendegradasi terumbu. Dalam kasus skala besar, gangguan akut alami (tapi mungkin manusia membuatnya menjadi lebih buruk), hal ini bukan masalah yang penting karena terumbu yang sehat bersifat lenting dan seharusnya dapat pulih dengan sendirinya, bila tidak maka tertekan.

Satu masalah kunci yang perlu diteliti adalah mencari tahu apakah restorasi yang terlokalisasi dalam skala hektar dapat menghasilkan keuntungan untuk areal tetangganya dalam skala puluhan hektar atau kilometer persegi. Lainnya, adalah untuk mengetahui dimana kegiatan kecil restorasi terumbu berbasis masyarakat dapat menghasilkan area terumbu yang berfungsi terus menerus dan sinambung serta apakah ada ukuran minimum yang dibutuhkan untuk berkesinambungan. Hal ini berkaitan dengan isu yang lebih besar mengenai berapa ukuran minimum yang dibutuhkan untuk daerah perlindungan laut agar menjadi efektif.



Gambar 5. Skala degradasi dibanding restorasi. Perbandingan rerata skala degradasi yang dihasilkan dari beragam penyebab dengan skala dimana restorasi terumbu telah dilaksanakan dengan sukses. Luasnya "berbagai macam dampak manusia" mungkin konservatif dan hal ini dapat bersifat kumulatif untuk mencakup area yang luas seperti yang dijumpai di Filipina dan Jamaika.

Restorasi telah berhasil dengan beberapa kesuksesan dalam skala puluhan meter persegi ke beberapa hektar. Meskipun begitu, berbagai macam dampak lokal manusia berperan pada skala beberapa kilometer persegi dan dampak manusia secara kumulatif selama berabad-abad telah mengantarkan kepada kurang lebih ratusan hingga ribuan kilometer persegi degradasi terumbu di negara-negara seperti Jamaika dan Filipina. Di skala yang serupa, sebuah area di Laut Hindia yang terpengaruh oleh kematian massal pasca-pemutihan selama peristiwa El Nino Southern Oscillation tahun 1998. Pada skala menengah, ada peristiwa ledakan bintang laut berduri (*Acanthaster planci*) di Great Barrier Reef, yang apabila berada di tahun yang sangat buruk dapat merusak sekitar ratusan kilometer persegi.

Jelas terlihat bahwa terjadi ketidakcocokan (hingga beberapa urutan besaran) antara skala dimana restorasi

Yang Harus Diingat

- Restorasi terumbu karang adalah disiplin yang masih baru. Kita tidak dapat menciptakan terumbu yang berfungsi seutuhnya.
- Restorasi aktif telah dilaksanakan dengan beberapa kesuksesan dalam skala sampai beberapa hektar saja.
- Gangguan alami dan dampak manusia di terumbu dapat mempengaruhi terumbu dalam skala puluhan hingga ribuan kilometer persegi.
- Restorasi aktif bukanlah senjata ampuh. Perbaikan pengelolaan daerah terumbu adalah kuncinya.



Terumbu yang rusak parah dengan sedikit jumlah karang hidup tersisa. Alga dan sedimen menutupi koloni karang mati.

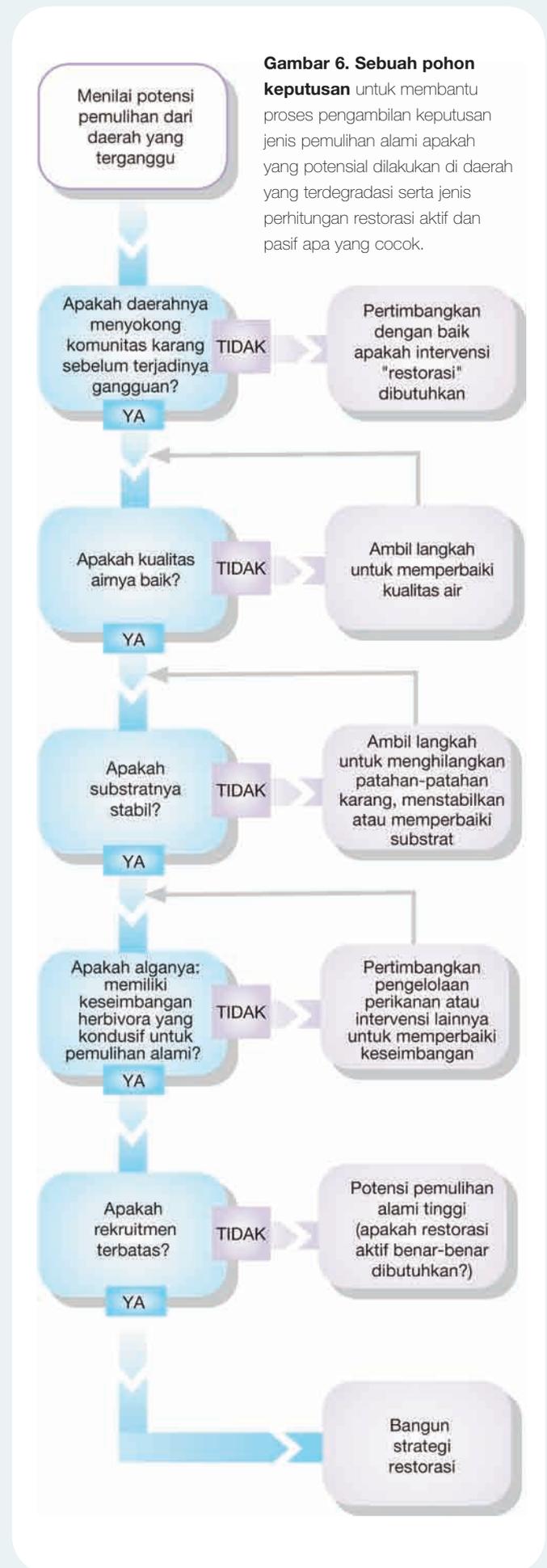
1.6. Apakah restorasi aktif adalah pilihan yang tepat?

Restorasi perlu dipandang sebagai satu pilihan dalam konteks pengelolaan pesisir terpadu yang lebih besar. Faktor kunci dalam menentukan apakah restorasi aktif harus dicobakan adalah keadaan lingkungan lokal itu sendiri. Pada suatu keadaan yang ekstrim, jika kondisi lingkungan bagus, area yang terdegradasi kecil, dan tidak ada halangan fisik untuk pulih (seperti patahan karang yang lepas), area yang terdegradasi dapat pulih secara alami dalam jangka waktu 5 – 10 tahun. Dalam kasus tersebut, restorasi aktif akan memiliki keuntungan minim. Pada keadaan ekstrim lainnya, jika kondisi lingkungan sangat buruk (banyak masukan nutrisi, sedimentasi, penangkapan berlebih, dll.), kesempatan untuk membentuk populasi karang yang lestari mungkin tidak berarti. Dalam kasus tersebut, inisiatif pengelolaan utama (restorasi pasif atau tidak langsung) sangatlah dibutuhkan sebelum restorasi aktif apapun dilakukan. Kita harus bijaksana dalam menentukan pada titik apa kita berada di antara dua kondisi ekstrim tersebut, dimana restorasi aktif akan efektif dan apa aksi pengelolaan lainnya yang harusnya diambil sebelum melaksanakan restorasi.

Untuk membantu proses ini, sebuah jalur keputusan, untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan kunci, diperlihatkan di Gambar 6. Kita akan melihat pertanyaan-pertanyaannya dengan lebih rinci di bawah.

Untuk melakukan kegiatan restorasi, pertanyaan pertama ("Apakah areanya mendukung pertumbuhan komunitas karang sebelum terjadinya gangguan") seharusnya tidak perlu dipertanyakan lagi, namun untuk beberapa perkembangan wisata, dimana ada keinginan untuk menciptakan bidang-bidang kecil karang di daerah laguna yang aman dan terlindung, maka pertanyaan ini dapat menjadi penting. Jenis-jenis karang apa saja yang mampu bertahan, yang diinginkan oleh pemilik peristirahatan. Pada akhirnya, desakan ekologis yang akan menjawab pertanyaan ini; bukan aspek keuangan ataupun aspek keinginan manusia.

Walaupun suatu daerah dapat menyokong komunitas terumbu karang yang sehat di masa lalu, bisa saja kualitas air menurun saat ini, sehingga hanya mampu menyokong sedikit jenis yang toleran. Apabila Anda menginginkan merestorasi dapat menghasilkan lingkungan yang lebih beragam dari sebelumnya, maka Anda perlu meningkatkan



kualitas air dahulu melalui perhitungan pengelolaan. Jika tidak, maka upaya restorasi aktif akan sia-sia.

Selanjutnya, pertanyaan yang muncul yang berhubungan adalah apakah restorasi fisik memang dibutuhkan di awal. Jika ya, maka kegiatan akan menjadi sangat mahal. Apabila dana tidak mencukupi meski restorasi fisik dibutuhkan, maka restorasi aktif yang akan dilaksanakan kemungkinan besar akan gagal juga. Dalam situasi tersebut, dengan dana yang ada, mungkin lebih baik merestorasi bagian kecil daerah yang rusak saja.

Pertanyaan berikutnya, yang mungkin paling sulit dijawab, adalah keberlanjutan dari karang yang ditransplantasikan ke daerah yang rusak. Tujuan utama restorasi adalah memperbaiki komunitas yang mampu menopang diri sendiri. Jika suatu tempat kekurangan hewan pemakan alga akibat penangkapan berlebih dan/atau hilangnya avertebrata pemakan alga karena suatu penyakit, maka makro alga mendominasi, kondisi ini akan memberikan kesempatan yang sangat kecil untuk juwana karang untuk menempel dan tumbuh untuk generasi berikutnya. Transplan mungkin akan bertahan, namun jika proses-proses ekologis yang berkaitan dengan reproduksi tetap membahayakan, maka pada akhirnya populasi tidak akan lestari. Tanpa adanya perhitungan pengelolaan untuk memperbaiki fungsi ekologis, upaya restorasi aktif akan sia-sia. Saat ini kita tidak mengetahui setinggi apa level hewan herbivora yang dibutuhkan, tetapi melalui pengamatan dapat mengungkapkan berapa banyak hewan herbivora (seperti ikan kakatua, botana, baronang, dan bulu babi), persentase penutupan makro alga, dan kehadiran fragmen kecil karang

(sekitar < 5 cm). Sebagai contoh, jika herbivora sedikit, makroalga merajalela dan tidak ada tanda kehadirannya juwana karang, maka upaya transplantasi karang hanya akan membuahkan sedikit hasil dalam jangka panjang. Beberapa perhitungan pengelolaan (contohnya peraturan-peraturan perikanan, penurunan masukan nutrisi) penting dilakukan dahulu.

Terakhir, pertanyaannya adalah apakah daerah tersebut mempunyai "keterbatasan rekrutmen karang", atau, apakah daerah tersebut kekurangan persediaan larva karang. Meski terumbu sehat, beberapa area mungkin hanya menerima sedikit larva karang dan avertebrata lainnya dari arus yang melewatinya, sehingga umumnya akan lebih lambat pulih ketimbang dari daerah dengan persediaan larva yang banyak. Dalam kasus tersebut, penggunaan transplan untuk menciptakan populasi karang lokal dapat mempercepat pemulihan. Bagaimanapun, di terumbu sehat yang memiliki banyak persediaan larva (umumnya di Indo-Pasifik), tampaknya restorasi aktif tidak terlalu dibutuhkan secara ekologis. Selain itu, mungkin masih banyak penyebab-penyebab lainnya yang menekan restorasi aktif, seperti pemenuhan mitigasi, kebutuhan politis untuk upaya restorasi (seperti keinginan publik, perhatian, atau desakan untuk perbaikan ketidakadilan lingkungan), atau hanya sebatas ketidaksabaran manusia dengan laju pemulihan alami. Pada kasus-kasus demikian, dana yang tersedia sangat besar, daripada menghabiskan dana untuk melakukan restorasi aktif, lebih baik dihabiskan untuk mencegah dampak manusia terhadap terumbu atau melakukan perhitungan restorasi pasif (seperti pengelolaan pesisir yang lebih baik).

2. Restorasi fisik

Terkadang berguna untuk membedakan antara "restorasi fisik", yang mengutamakan perbaikan terumbu dengan fokus pendekatan teknik, dan "restorasi biologis" yang terfokus untuk mengembalikan biota berikut proses ekologis ke keadaan semula. Kegiatan yang pertama lebih mahal dibanding yang kedua sesuai skalanya. Karang, kima, dan spons berukuran besar dapat menyediakan komponen biotik dan struktural, sehingga perbedaan menjadi kabur. Untuk menangani kerusakan, terkadang hanya dibutuhkan restorasi biologis, baik secara aktif maupun pasif; pada kasus lain, kombinasi restorasi fisik dan biologis secara aktif ternyata diperlukan. Kondisi tersebut dapat kita sebut "restorasi ganda". Untuk merencanakan restorasi ekologis, kita haruslah tetap mempertimbangkan kedua komponen tersebut.

Beberapa kegiatan yang merusak seperti kandasnya perahu, penambangan karang, dan pengeboman ikan dapat menyebabkan kerusakan fisik yang besar pada struktur terumbu atau menyebabkan terbentuknya kawasan dengan pecahan karang yang tidak stabil serta dasaran berpasir yang luas. Kawasan tersebut tidak akan pulih walaupun setelah bertahun-tahun, kecuali dilakukan restorasi fisik. Kegiatan restorasi fisik sangat mahal (biaya yang dibutuhkan berkisar antara

US\$100.000 hingga 1.000.000 per hektar) dan membutuhkan bantuan tenaga ahli. Karena alasan tersebut, buku panduan ini akan lebih banyak membahas tentang restorasi biologis. Walaupun begitu, perbaikan-perbaikan kecil dan pertolongan pertama masih memungkinkan untuk kegiatan berbasis masyarakat.

2.1. Pertolongan pertama dan perbaikan terumbu rusak

Ketika kerusakan serius seperti retaknya tunggul karang, terbaliknya karang masif, patahnya koloni karang atau organisme sesil lainnya, atau terkumpulnya benda asing pada terumbu, pertolongan pertama dapat membantu



Penyelam dari Thailand memperbaiki koloni karang Porites yang terbalik setelah terkena tsunami tahun 2004.

pemulihan terumbu secara drastis. Kegiatan yang dikerjakan dapat meliputi memberi semen atau perekat epoxy di retakan besar pada struktur karang; membenarkan dan menempelkan karang, spons, organisme karang lainnya; atau paling tidak menaruh organisme yang terlepas di tempat yang aman hingga dapat ditempelkan kembali. Prioritas untuk menentukan komponen terumbu mana yang mendapat pertolongan pertama dipilih berdasarkan kriteria ukuran, umur, kesulitan dalam penggantian dan kontribusi pada keanekaragaman topografi. Benda-benda asing yang mengancam keutuhan terumbu di sekitarnya (seperti batang pohon) atau mengundang pencemar (contoh mobil, atau sampah yang terkumpul di terumbu akibat tsunami tahun 2004) harus dipindahkan dari terumbu.

Setelah sebuah perahu kandas, kesatuan struktural terumbu menjadi terancam - dengan lubang menganga dan retakan pada rangka kapur terumbu, dan pastinya akan membesar di saat badai. Restorasi fisik dibutuhkan untuk mengatasi keadaan tersebut, dan pendampingan dari tim ahli sangat dibutuhkan. Jika terjadi pengurangan kompleksitas topografi secara signifikan, resiko ancaman selalu tinggi kecuali kompleksitas dipulihkan dan kawasan dapat pulih ke kondisi yang memungkinkan. Untuk mengembalikan kompleksitas topografi, banyak dibutuhkan kegiatan restorasi fisik dan harus didampingi oleh tim ahli.

Kawasan yang dipenuhi pecahan karang yang tidak stabil tidak akan pulih walaupun sudah bertahun-tahun, anakan karang yang menempel akan terbalik, terkikis, tercekik, atau terkubur. Kemungkinan hidup sangat kecil dan kawasan yang dipenuhi pecahan karang merupakan "area pembunuhan" karang. Selain itu, pecahan karang dan gumpalan sedimen akibat gelombang dapat tersebar ke seluruh terumbu saat badai sehingga merusak kawasan lain yang sebelumnya tidak terpengaruh. Pecahan karang dapat dipindahkan atau distabilkan. Stabilisasi kawasan dengan pecahan karang di lingkungan dengan gelombang dan arus yang kuat sangat mahal dan sulit. Keberhasilan pernah dicapai dengan menggunakan lapisan beton yang fleksibel, atau dengan menuangkan semen di atas pecahan karang, akan tetapi, dibayar dengan biaya yang tinggi dan resiko kegagalan saat terjadi badai di masa depan. Kegiatan tersebut harus diperhitungkan sebagai kegiatan restorasi fisik besar-besaran dan pendampingan dari tim ahli harus didapatkan.

Pada kawasan yang lebih terlindung, keberhasilan masih memungkinkan dengan menutupi pecahan karang dengan bongkahan besar batu kapur. Bongkahan tersebut harus memiliki ukuran yang cukup sehingga tetap stabil dalam berbagai kondisi, bahkan di saat badai. Sedimen halus yang terangkat dan menutupi permukaan terumbu akan menghambat penempelan larva karang dan menghambat pertumbuhannya. Oleh sebab itu, sedimen harus dihilangkan jika tidak dapat dihilangkan secara alami. Jika akibat gangguan, pasir mengubur karang atau biota lain, maka pasir tersebut harus segera dihilangkan agar biota yang terkubur dapat bertahan hidup. Kawasan pecahan karang yang lebih terlindung seperti laguna atau perairan dalam, dapat cukup stabil untuk ditumbuhi karang atau biota sesil lainnya. Pecahan karang dalam kawasan tersebut juga akan melekat kembali akibat pengaruh spons, alga berkapur, atau biota lainnya yang mampu.

Satu hal yang perlu diingat adalah bahwa terumbu karang adalah kumpulan habitat yang dapat terdiri dari kawasan berpasir dan pecahan karang, terumbu dari alga berkapur, kawasan yang ditumbuhi makroalga, kipas laut, berikut dengan tutupan karang yang tinggi. Jika ada kawasan berpasir dan pecahan karang yang tidak mengganggu kesehatan karang di terumbu terdekat dan pendanaan juga tidak memadai, maka memilih tempat lain yang lebih membutuhkan akan jauh lebih efektif.

Sebelum restorasi biologis dilakukan, harus dipertimbangkan pula kebutuhan restorasi fisik (lihat subbab 1.6). Jika restorasi fisik besar-besaran ternyata diperlukan tapi dana tak tersedia, maka upaya restorasi biologis akan gagal.



Tunggul pohon tersapu hingga menutupi terumbu di Thailand sebagai akibat tsunami tahun 2004.



Koloni Acropora rusak akibat sampah dan puing yang tersapu tsunami tahun 2004 di Thailand.

Yang Harus Diingat

-  Restorasi fisik terumbu membutuhkan dana antara US\$ 100.000-1.000.000 per hektar.
-  Restorasi fisik besar-besaran hanya dapat dilakukan oleh tim ahli. Silahkan cari masukan dari ahli teknik sipil.
-  Terkadang restorasi fisik dibutuhkan agar restorasi biologis dapat berhasil.
-  Pertolongan pertama pada kerusakan terumbu segera setelah terkena gangguan dapat mengefektifkan pendanaan dan dapat dilakukan oleh penyelam pada umumnya yang telah mendapatkan bimbingan terlebih dahulu.
-  Bongkahan besar batu kapur dapat mengembalikan stabilitas dan kompleksitas topografi pada kawasan dengan pecahan karang yang terlindung dengan biaya yang relatif murah.

2.2. Pembuatan terumbu buatan

Kegiatan restorasi fisik sangat tergantung dengan penggunaan terumbu buatan, yang dapat meliputi bongkahan batu kapur, beton yang didesain secara khusus (seperti Reefballs™) atau keramik (seperti Ecoreefs™), hingga rangkaian kabel (seperti Biorock™) yang menarik mineral (brusit dan aragonit). Penggunaan terumbu buatan harus dipertimbangkan dengan sangat hati-hati. Terdapat bahaya penggunaan substrat buatan menjadi kegiatan penggantian substrat alami, padahal kegiatan restorasi bertujuan untuk mengelola terumbu alami. Contoh seperti ini dapat dilihat pada beberapa negara yang menggunakan terumbu buatan sebagai rumpun untuk membantu perikanan, setelah perikanan terumbu karang gagal dikelola. Selain itu, yang harus dipertanyakan juga adalah relativitas skala. Di seluruh dunia telah dipasang lebih dari 500.000 bola beton berbagai ukuran sebagai terumbu buatan. Dana yang dibutuhkan mencapai puluhan juta dollar Amerika, tapi hanya akan menghasilkan 2 km² terumbu buatan. Padahal, terdapat sekitar 300.000 km² terumbu karang di dunia, yang dapat menjadi sumber substrat. Masalah utamanya adalah sebagian besar terumbu tersebut tidak dikelola dengan baik atau telah rusak.

Walaupun memiliki banyak kekurangan, terumbu buatan akan sangat membantu kegiatan restorasi pada keadaan tertentu. Penggunaan terumbu buatan dapat menghasilkan (1) peningkatan kompleksitas topografi secara cepat, (2) substrat yang stabil bagi karang dan avertebrata lainnya, (3) struktur keras yang membuat perikanan dengan jaring yang merusak terumbu menjadi sulit (seperti pukat dan payang), (4) tempat selam alternatif untuk mengalihkan tekanan dari terumbu alami, dan (5) menarik ikan. Hal tersebut mensyaratkan terumbu buatan dirangkai dan dipasang dengan baik sehingga struktur tetap stabil walau terjadi badai. Untuk kegiatan restorasi, terumbu buatan harus dipertimbangkan kealamian dari segi estetika dan penampilannya ketika ditumbuhi karang atau biota terumbu lainnya. Beberapa merek dagang yang telah disebutkan di atas menyatakan bahwa produknya terlihat alami dan estetik, diharapkan para pengelola terumbu buatan dapat menilai dengan mengunjungi situs-situs produsen. Di sisi lain,

penggunaan ban atau sampah lainnya sebagai terumbu buatan tidak direkomendasikan karena alasan struktural dan estetis.

Peranan utama terumbu buatan dalam kegiatan restorasi terumbu karang adalah sebagai berikut:

1. Stabilisasi dan mengembalikan kompleksitas area yang dipenuhi patahan karang seperti yang diakibatkan oleh bom ikan, dan menarik kembali ikan dan karang di kawasan dengan kemungkinan pulih yang rendah.
2. Mendukung kegiatan wisata atau pendidikan dan penyadaran masyarakat yang membutuhkan akses yang mudah dan aman ke terumbu. Beberapa tempat peristirahatan di seluruh dunia telah menggunakan terumbu buatan sebagai panggung untuk transplantasi karang.
3. Mengurangi tekanan akibat penyelam pada terumbu alami di kawasan yang padat pengunjung. Beberapa tempat peristirahatan telah membuat terumbu buatan yang menarik untuk penyelam perdana dengan kemampuan pengendalian daya apung yang rendah, sehingga mengurangi tekanan terhadap terumbu alami (kemungkinan mencapai 10% jika tiap penyelam mengunjungi lokasi tersebut paling tidak seminggu sekali).

Modul terumbu buatan yang dibuat khusus untuk perlindungan pantai, dapat sangat berguna jika perlindungan alami dari terumbu karang sudah hilang. Kebutuhan dana untuk kegiatan tersebut berkisar antara US\$ 1--10 juta per kilometer tergantung pada garis pantainya.

Ahli biologi juga menggunakan permukaan modul terumbu buatan yang standar dan biasa digunakan sebagai salah satu cara standardisasi percobaan. Hal ini tidak menunjukkan bahwa mereka menyarankan untuk menggunakan terumbu buatan dalam kegiatan restorasi di lapangan. Satu hal yang harus diingat adalah, walaupun di beberapa tempat, substrat buatan apapun (beton, PVC, ban, atau bangkai kapal) akan segera ditumbuhi karang, sedangkan di tempat lain substrat tetap kosong melompong sehingga tidak berguna.

Yang Harus Diingat



Di dunia, paling tidak terdapat 300.000 km² terumbu karang. Kekurangan substrat keras bukanlah suatu masalah yang penting. Pengelolaan terumbu alami yang telah rusak justru menjadi masalah yang utama.



Penggunaan terumbu buatan dalam kegiatan restorasi harus dipertimbangkan masak-masak terutama masalah kebutuhan, efektivitas biaya, dan estetika.



Terumbu buatan jika didesain dan dibangun dengan baik dapat menghasilkan (1) peningkatan kompleksitas topografis secara cepat, (2) substrat yang stabil bagi karang untuk menempel atau ditransplantasi, (3) menarik ikan, (4) jasa perlindungan pantai, (5) struktur keras yang membuat perikanan dengan jaring yang merusak terumbu menjadi sulit (seperti pukat dan payang), (6) tempat selam alternatif untuk mengurangi tekanan pada terumbu alami.

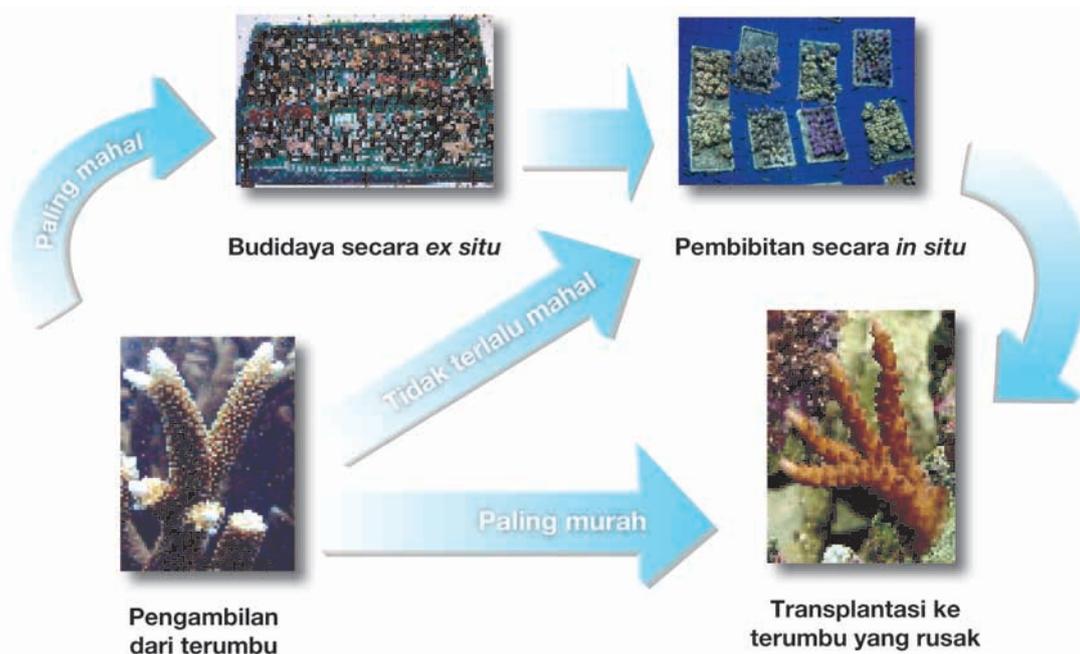
3. Restorasi biologis

Restorasi biologis harus selalu dipertimbangkan terutama dalam hal pengembalian kondisi lingkungan secara keseluruhan baik aspek fisik, biotik, manusia, hingga pengelolaan. Seperti yang sudah tertulis di dalam subbab 1.3, "Restorasi ekologis adalah proses membantu pemulihan alami sebuah ekosistem yang kondisinya telah menurun, rusak, atau hancur". Bantuan tersebut dapat dilakukan secara tidak langsung dengan pengelolaan terumbu karang sehingga dapat menghilangkan hal-hal yang menghalangi pemulihan alami, atau secara langsung dengan melakukan restorasi biologis secara aktif seperti transplantasi karang atau biota lainnya. Contoh untuk yang pertama dapat berupa pengelolaan untuk mengurangi tekanan akibat perikanan, limpasan sedimen, atau masuknya limbah. Dengan demikian restorasi biologis secara pasif dapat dilakukan melalui berbagai kegiatan pengelolaan pesisir yang dapat mengurangi tekanan antropogenik terhadap ekosistem terumbu karang.

Kegiatan restorasi biologis secara aktif yang paling sering dilakukan adalah transplantasi karang atau biota

lain pada kawasan yang sudah rusak. Yang harus diingat adalah minimalisasi kerusakan terhadap kawasan yang lebih baik yang menjadi donor transplantasi, dan memaksimalkan kemungkinan hidup transplan pada terumbu yang akan dipulihkan. Akhirnya kegiatan restorasi hanya dapat berhasil dalam jangka panjang jika komunitas di terumbu karang telah mandiri dan berfungsi dengan baik.

Pada subbab ini, akan dibahas restorasi biologis secara aktif dan masalah-masalah utama yang akan dihadapi. Karena banyaknya kegiatan transplantasi karang dalam restorasi, maka pembahasan akan difokuskan kepada kegiatan tersebut. Saat ini sudah tersedia banyak pilihan yang menjanjikan hasil yang baik sehingga para praktisi dapat mengurangi efek samping mulai dari pemilihan sumber transplantasi hingga memaksimalkan efektivitas dari karang yang digunakan. Pilihan yang tersedia mulai dari bagaimana memilih sumber transplantasi, baik dengan propagasi seksual atau aseksual secara *in situ* (di laut) atau *ex situ* (di akuarium) (Gambar 7). Pilihan-pilihan tersebut dijelaskan secara terperinci seperti di bawah ini.



Gambar 7. Propagasi karang secara langsung dan tidak langsung. Jalur yang paling murah adalah mengumpulkan karang langsung dari terumbu dan ditransplantasi ke kawasan yang rusak. Akan tetapi, untuk mendapatkan jumlah sintasan yang baik, setiap transplan harus berukuran cukup besar (sekitar >5-10 cm). Fragmen yang kecil (sekitar 2-3 cm) dapat secara sukses dibudidayakan di tengah laut atau di dasaran hingga cukup besar untuk bertahan hidup. Walaupun lebih mahal, tetapi karang yang tersedia lebih berguna. Fragmen yang kecil tidak akan bertahan dengan baik di lokasi budi daya *in situ*, tapi akan tumbuh di lokasi *ex situ*. Tingginya biaya untuk budidaya dua tahap diimbangi dengan potensi membuat puluhan ribu koloni dari fragmen kecil (sekitar 10 mm). Semakin lama waktu budidaya, semakin mahal biaya produksi transplan. Budidaya *ex situ* membutuhkan biaya awal lebih besar dibanding *in situ*. Larva karang yang planktonik juga dapat dibudidaya, ditempelkan ke substrat, dan ditumbuhkan di sangkar di tengah laut selama 6-12 bulan hingga cukup besar untuk sintas di terumbu.

3.1 Kenapa terfokus kepada karang?

Kritik yang banyak mencuat dalam kegiatan restorasi terumbu ditujukan kepada fokus utama ke karang. Kritik tersebut memiliki argumen bahwa hanya dengan melakukan transplantasi karang tanpa memikirkan keanekaragaman biota lain tidak akan memulihkan ekosistem terumbu karang yang kompleks. Walaupun begitu, seperti yang telah didiskusikan di subbab 1.3, para praktisi restorasi tidak berniat untuk membangun sebuah ekosistem sedikit demi sedikit, akan tetapi membantu proses pemulihan secara alami. Hingga saat ini, struktur, aturan penyusunan, dan fungsi dari ekosistem terumbu karang masih kurang dimengerti sehingga kegiatan restorasi tidak dapat membuat target lebih ambisius.

Karang adalah adalah jenis kunci dari ekosistem terumbu karang sama seperti pepohonan di hutan. Karang sangat penting bagi restorasi terumbu karang seperti pentingnya pohon untuk penghutan kembali. Karang juga berada di bawah ancaman beragam faktor (subbab 1.2), sebagian besar karena simbiosisnya dengan zooxanthellae yang membuat mereka sensitif terhadap kenaikan suhu permukaan laut di atas rata-rata tahunan.

- Karang menyediakan bahan dasar dan struktural untuk perlindungan pantai yang menjadi fungsi utama terumbu.
- Karang menyediakan kompleksitas struktural (yang biasanya berhubungan langsung dengan keanekaragaman) dan perlindungan bagi ikan dan avertebrata.
- Karang menyediakan perlindungan bagi herbivora sehingga membantu mengendalikan pertumbuhan alga.
- Turis sangat tertarik dengan karang hidup dan menganggap mereka adalah perwujudan dari terumbu yang sehat.

Ketika karang hilang, dilanjutkan dengan penurunan keanekaragaman dan kelimpahan ikan, berikut keuntungan dari wisata menyelam dan memancing. Jika populasi karang yang berkelanjutan dan kompleksitas struktural dapat dicapai, maka berbagai komponen ekosistem akan pulih secara alami, berikut dengan fungsi dan umpan baliknya. Kebanyakan penelitian transplantasi terfokus ke karang keras dengan alga simbiotik yang merupakan pembangun terumbu utama (*Scleractinia* dengan zooxanthellae), akan tetapi, ada karang keras lain seperti karang biru *Heliopora*, karang merah *Tubipora* (anggota subkelas Octocorallia, berkerabat dengan karang lunak), dan karang api (kelas Hydrozoa) dapat menjadi penting di habitat-habitat tertentu dan dapat ditransplantasi.

Komponen lain ekosistem tetap harus diperhatikan dalam kegiatan restorasi. Karang lunak, spons, kima, lola (*Trochus*), dan bulu babi merupakan beberapa kelompok yang memiliki peran penting di kegiatan budidaya dan transplantasi. Karang lunak, spons, dan kima dapat menyediakan kompleksitas topografi, dan setiap individu atau koloni dapat berumur puluhan tahun. Dalam kegiatan restorasi sebagai tanggapan

dari kegiatan tertentu seperti tertabrak kapal, mereka harus diselamatkan dan ditempelkan kembali jika perlu. Perumput seperti bulu babi (*Diadema*) atau lola (*Trochus*) dapat memiliki peran penting dalam membantu pemulihan dari proses herbivori di kawasan dimana ikan herbivor langka akibat penangkapan berlebihan.



Sebuah terumbu yang indah dengan topografi yang beragam di Kepulauan Similan, Thailand dengan koloni Porites yang besar yang menyediakan perlindungan bagi ikan dan avertebrata.

3.2. Sumber bibit karang untuk transplantasi

Sumber bibit karang untuk transplantasi didapatkan dari karang yang masih hidup di terumbu, sehingga selalu ada efek samping yang timbul. Kerusakan akibat efek tersebut dapat dikurangi melalui berbagai cara. Peraturan pertama adalah mengoptimalkan penggunaan karang hidup yang tersedia. Pada beberapa lokasi, diperlukan izin khusus untuk mendapatkan bibit atau melakukan transplantasi.

Pada beberapa kasus, dimana kerusakan diperbaiki secepatnya setelah kejadian, seperti kapal yang karam, ada kemungkinan ditemukannya koloni karang yang patah. Kesintasan karang tersebut dapat ditingkatkan dengan menempelkan kembali sehingga menjadi koloni yang utuh. Kegiatan tersebut lebih ditujukan sebagai restorasi fisik dibandingkan biologis karena tidak ada material hidup yang diintroduksi. Dalam kasus tertentu, dimana terumbu terancam oleh reklamasi atau pengembangan industri berdampak besar (seperti pembangkit listrik), seluruh kawasan terumbu dapat ditransplantasi dan koloni karang utuh dipindahkan ke tempat yang aman. Meskipun begitu, penggunaan koloni karang utuh cenderung menjadi pengecualian karena ada kemungkinan seluruh koloni mati. Walaupun koloni utuh lebih tahan terhadap tekanan akibat transplantasi dibanding fragmen, pada beberapa jenis yang sensitif, 50% koloni mati dalam dua tahun. Oleh sebab itu, bahkan dalam kasus seperti di atas, penggunaan fragmen dari koloni yang dipindahkan dapat digunakan untuk mengimbangi kemungkinan kematian. Bahkan dalam satu jenis, perubahan genotipe dapat mengakibatkan perbedaan ketahanan terhadap tekanan transplantasi.

Pada umumnya, bibit transplan berasal dari fragmen. Fragmen kecil akan dibesarkan sampai beberapa waktu di pembibitan (lihat subbab 3.3) untuk tumbuh menjadi koloni kecil, baru kemudian ditransplantasi. Meskipun begitu, fragmen harus diambil dari lokasi lain.

Pada kebanyakan terumbu, fragmen mudah sekali ditemukan (biasanya dari cabang yang patah). Walaupun ada beberapa jenis karang yang bereproduksi melalui fragmentasi, fragmen karang cenderung mudah sekali mati kecuali ditempelkan kembali. Sering sekali ditemukan beberapa bagian dari fragmen yang telah mati atau sekarat. Fragmen karang itu disebut "karang kesempatan" dan dapat menjadi bibit transplantasi yang tidak kontroversial. Logika yang digunakan adalah jika tidak digunakan fragmen tersebut akan mati juga (kecuali jenis-jenis yang bereproduksi melalui fragmentasi). Bahkan fragmen dengan sebagian cabang yang mati dapat menjadi bibit yang sehat jika bagian yang sudah mati dipotong. Karang bercabang menjadi sumber utama "karang kesempatan", dengan jenis-jenis yang lebih rapuh menghasilkan fragmen lebih banyak, dan jenis yang lebih kuat menghasilkan fragmen sedikit. Walaupun begitu "karang kesempatan" ini tidak dapat menjadi sumber seluruh jenis-jenis yang umum sehingga berbagai sumber lain juga dibutuhkan.

Jika sebuah koloni donor yang utuh digunakan sebagai sumber fragmen untuk transplantasi secara langsung maupun melalui pembibitan yang dilanjutkan dengan transplantasi, maka hanya sebagian kecil koloni (kurang dari 10%) dapat digunakan agar meminimalkan stres. Hingga saat ini penelitian tentang akibat dari pemangkasan karang masih terbatas, oleh sebab itu prinsip kehati-hatian harus diutamakan. Untuk koloni karang masif, fragmen dapat diambil dari tepi koloni.

Panduan Praktik Yang Baik

- ✓ Cek apakah kebijakan setempat mensyaratkan izin untuk mengambil bibit transplantasi atau menempatkan transplan di kawasan yang rusak.
- ✓ Bibit transplantasi diambil dari kawasan dengan kondisi semirip mungkin (kedalaman, paparan, sedimentasi, salinitas, substrat, hingga suhu yang sama).
- ✓ Pertimbangkan secara hati-hati bagaimana menggunakan transplan karang yang tersedia sebaik mungkin.
- ✓ Coba gunakan "karang kesempatan", yaitu fragmen yang terbentuk secara alami dan memiliki kemungkinan hidup yang rendah kecuali ditempelkan kembali.
- ✓ Jika koloni karang donor yang utuh digunakan sebagai sumber transplan, hanya gunakan kurang dari 10% untuk meminimalkan stres.
- ✓ Jangan ambil fragmen dari tengah koloni karang masif, tapi ambillah dari tepi koloni.

3.3. Budidaya karang

Metode untuk propagasi karang secara massal, baik seksual maupun aseksual telah banyak yang berhasil. Pada diskusi di bawah ini akan terlihat bahwa sebagian besar yang belum diketahui secara ilmiah adalah apakah karang hasil budidaya dapat ditempatkan pada terumbu yang rusak dan dapat bertahan hidup. Pilihan yang paling murah adalah transplantasi secara langsung; budidaya mungkin dapat lebih berguna, tetapi ada biaya yang harus disediakan. Semakin canggih cara budidaya, semakin lama waktu budidaya, biaya akan semakin tinggi (Gambar 7). Restorasi terumbu karang sendiri sudah mahal jika dibandingkan dengan restorasi mangrove atau padang lamun. Oleh sebab itu, tantangan utama adalah mendorong penggunaan metode yang murah, memaksimalkan efisiensi, dan efektivitas biaya. Budidaya *ex situ* dalam akuarium biasanya lebih mahal daripada *in situ* di laut baik di kolom air maupun di dasaran. Walaupun begitu, kesintasan dari transplan saat berukuran kecil (diameter <5-10 mm) hanya berhasil di akuarium. Oleh sebab itu, ada beberapa pertukaran antara kesintasan, bentuk budidaya, dan biaya, yang hingga saat ini belum dapat dihitung dengan baik.

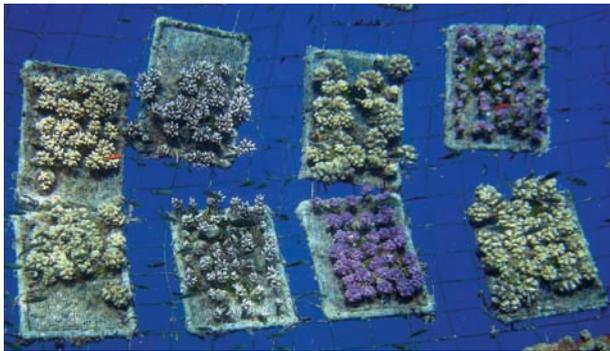
3.3.1. Propagasi karang secara aseksual

Karang dapat ditumbuhkan secara aseksual dari fragmen (disebut *ramet* jika diambil dari koloni yang sama (klon), jika ukuran sangat kecil, sering disebut *nubbin*) dan metode ini adalah yang paling umum. Secara eksperimen, sebuah polip bahkan dapat menghasilkan sebuah koloni melalui budidaya *ex situ*. Walaupun begitu, kebanyakan kegiatan restorasi menggunakan fragmen yang besar (ukuran 3-10 cm) karena dapat dibudidayakan secara *in situ* di kolom air atau dasaran dengan biaya yang terjangkau. Teknologi yang dibutuhkan juga dapat dilakukan dalam kegiatan berbasis masyarakat skala kecil dengan pengawasan dari tim ahli yang berpengalaman. Tujuan dari budidaya aseksual adalah: 1) untuk memaksimalkan manfaat dari sejumlah bahan dasar dan meminimalkan kerusakan kawasan donor, 2) untuk menumbuhkan fragmen menjadi koloni kecil dengan kesintasan yang lebih tinggi jika dibandingkan fragmen kecil yang ditransplantasi langsung ke terumbu, dan 3) untuk menyediakan stok karang-karang kecil yang siap ditransplantasi jika terjadi kerusakan mendadak seperti dampak tertabrak kapal.



Nubbin *Acropora muricata* hasil budidaya *in situ* di pembibitan perairan dangkal di Filipina.

Keuntungan utama dari pembibitan adalah dapat terbentuk ratusan koloni kecil dari satu fragmen. Pengorbanan waktu dan tenaga kerja dibutuhkan menyiapkan kawasan pembibitan, mengumpulkan fragmen untuk membiayai persiapan kawasan pembibitan, pengumpulan fragmen, menempelkan fragmen pada substrat, dan menjaga kelangsungan hidupnya hingga siap ditransplantasi. Kegiatan pembibitan ini akan banyak menyita waktu karena meliputi berbagai kegiatan seperti membersihkan *nubbin* dari alga, biota pengotor lainnya, atau pemangsa karang seperti keong *Drupella*. Semakin kecil fragmen yang digunakan maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk budidaya sebelum dilakukan transplantasi dan kondisi di tempat pembibitan harus sangat sesuai sehingga kesintasan dapat tinggi. *Nubbin* untuk jenis-jenis yang berukuran 3 cm dapat membutuhkan waktu 9 -12 bulan untuk membentuk koloni seukuran kepalan tangan. Akan tetapi, saat ini belum diketahui perbandingan antara ukuran dan kesintasan untuk mengetahui berapa lama waktu budidaya yang sesuai. Kemungkinan, hal tersebut bergantung kepada jenis yang digunakan dan kondisi lokasi kawasan yang telah rusak.



Rak yang berisi nubbin karang hasil budidaya di pembibitan di tengah laut.

Kawasan donor harus mirip dengan kawasan yang akan ditransplantasi, terutama kondisi lingkungannya, sehingga kondisi kawasan pembibitan juga harus sesuai. Pengalaman menunjukkan jika kondisi kawasan pembibitan berbeda dari kondisi kawasan donor, kesintasan akan rendah, kecuali kondisi lebih baik (sedimentasi lebih rendah, kecerahan lebih tinggi, dll.) dari kawasan donor, maka karang dapat hidup lebih baik. Akan tetapi, masih tidak jelas apa yang terjadi jika koloni hasil budidaya dikembalikan ke lingkungan yang lebih keras yang ada di terumbu yang rusak. Kawasan pembibitan membutuhkan perlindungan dari arus dan gelombang yang kuat, yang merupakan kondisi umum kawasan terumbu karang, sehingga kawasan pembibitan sering berada di luar terumbu karang, tetapi masih memiliki kondisi yang mendukung kesintasan dan pertumbuhan karang.

Membuat ratusan koloni klon dari sebuah koloni dapat berguna untuk pekerjaan eksperimental, tetapi untuk kegiatan restorasi yang sesungguhnya keanekaragaman genetik harus dipertimbangkan. Pengambilan fragmen dari "karang kesempatan" (fragmen karang yang lepas dan bertebaran di terumbu) atau mengambil 10% atau kurang

dari berbagai koloni donor adalah salah satu cara untuk mempertahankan variasi genetik pada bibit transplantasi. Bahkan jika kondisi memungkinkan untuk mengidentifikasi genotipe yang tahan terhadap pemutihan atau tekanan lainnya, maka budidaya secara aseksual dapat menghasilkan banyak stok untuk strain tersebut.



Nubbin Acropora yang telah tumbuh menjadi koloni kecil di pembibitan di tengah laut.

Hingga saat ini telah tersedia beberapa contoh pembibitan yang dapat menghasilkan ribuan koloni dengan kesintasan yang baik (sering melebihi 90% dalam 6 bulan) baik di tengah laut atau di dasar laut. Oleh sebab itu, budidaya karang secara aseksual dianggap memiliki potensi yang besar seperti silvikultur pada pembibitan untuk mendukung penghutan kembali. Akan tetapi, langkah selanjutnya, yaitu kesuksesan transplantasi koloni hasil pembibitan ke terumbu yang rusak dan kesintasanya dalam jangka panjang, belum terbukti dalam skala besar (0,1-1 Ha) dan masih dalam penelitian.

Perkiraan jumlah bibit yang dapat dihasilkan dari pembibitan *in situ* di tengah laut dan dasar laut sekitar 5-10 transplan per dollar AS. Jika diberi jarak 0,5 m, sebuah kawasan yang rusak akan menelan biaya berkisar antara US\$4.000-8000 per hektar (untuk 40.000 transplan/ha yang dibutuhkan).

3.3.2. Propagasi karang secara seksual untuk persemaian terumbu

Karang bereproduksi secara seksual dengan pemijahan massal atau pembuahan secara internal larva planula dan diikuti "planulasi" (pelepasan planula ke laut sekitarnya). Karang menghasilkan banyak telur dan larva, namun sebagian besar akan mati. Untuk menghindari hal tersebut, larva dapat dikumpulkan dan dibesarkan untuk menurunkan tingkat kematian. Larva tersebut merupakan sumber karang yang berharga untuk kegiatan restorasi. Propagasi karang secara seksual memiliki dua keunggulan dibandingkan aseksual. Keuntungan pertama adalah minimnya fragmen



Mengumpulkan lendir yang berisi telur dan larva karang dengan serok.



Membesarkan telur dan larva karang di keramba apung.

yang dibutuhkan sehingga mengurangi efek samping ke terumbu donor; kedua keragaman genetik lebih terjamin karena bukan klon. Metode dapat hanya menggunakan beberapa koloni atau fragmen besar yang diambil dari terumbu dan dibawa ke akuarium untuk memijah. Walaupun koloni dapat digantikan setelah pemijahan, stres karena pemindahan dan transplantasi dapat menyebabkan koloni mati.

Larva yang diproduksi melalui planulasi atau pemijahan massal dapat dikumpulkan dan dibesarkan dengan waktu yang bervariasi sebelum ditempelkan langsung ke terumbu atau ditempelkan pada substrat di akuarium. Setelah menempel di akuarium, juwana karang akan tumbuh hingga berukuran cukup besar agar dapat bertahan ketika ditransplantasi di terumbu. Metode ini masih dalam tahap percobaan dan teknologi yang digunakannya membutuhkan keahlian lebih dibanding transplantasi secara aseksual.

Walaupun beberapa jenis karang dapat menghasilkan larva planula secara bulanan, banyak karang yang memijah secara massal hanya melepaskan telur dan sperma sekali atau dua kali setahun. Pemijahan massal biasanya serentak,



Koloni Montastrea dalam proses memijah di Filipina.



Bak terapung yang sederhana dan murah dapat menjadi sarana budidaya terkontrol dari larva karang di kawasan yang jauh.

dimana koloni dewasa melepaskan gamet pada malam-malam yang sama. Pemijahan massal menghasilkan lapisan lendir yang berisi larva karang. Pemijahan massal adalah mode reproduksi yang paling umum yang dilakukan karang dan penentuan waktu pemijahan biasanya dapat diperkirakan sesuai dengan lokasi. Hal tersebut berarti dibutuhkannya pengetahuan tentang pola pemijahan karang secara lokal dan kebanyakan jenis karang hanya menghasilkan larva beberapa minggu dalam setahun.

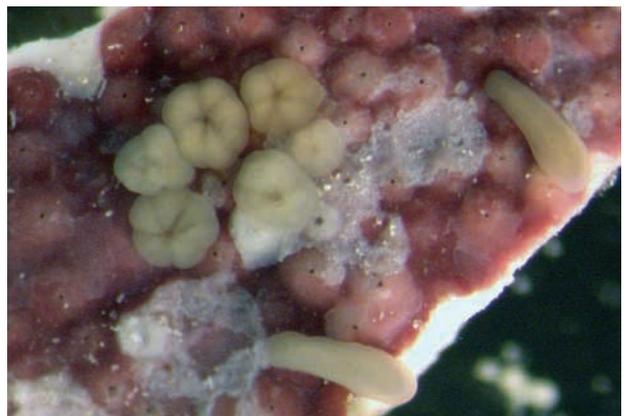
Terdapat dua pendekatan untuk mendapatkan larva, yaitu koloni dewasa yang akan memijah dikumpulkan dan dipelihara dalam akuarium hingga melepaskan planula atau gamet, atau saat pemijahan massal lendir yang berisi larva dikumpulkan dari permukaan laut setiap satu atau dua kali setahun. Lendir tersebut dapat disimpan secara *in situ* atau dipindahkan ke akuarium *ex situ*.

Jika menggunakan cara pertama, lendir dapat disimpan di bak penampungan terapung di laut (bahkan bak plastik juga mencukupi) selama seminggu dimana sebagian besar larva telah siap dan dapat menempel di terumbu (kondisi ini disebut "kompeten"). Pada saat ini, mereka dapat dipompa dan disalurkan melalui pipa jaring halus ke terumbu yang rusak sehingga dapat menempel dengan kepadatan tinggi.

Jaring halus berguna untuk mencegah larva tersapu arus. Dengan menggunakan teknik tersebut, kepadatan penempelan larva dapat mencapai 100 kali lipat dari penempelan alami. Walaupun begitu, masih dipertanyakan apakah kepadatan berpengaruh dalam jangka panjang karena rendahnya kesintasan karang hingga mencapai koloni yang siap bereproduksi, selain itu tingkat kematian dapat terhubung dengan kepadatan.

Dengan memindahkan larva ke akuarium *ex situ*, karang yang baru menempel dapat dibesarkan dan dijauhi dari bahaya lingkungan terumbu dan ditransplantasi jika kesintasanya (dapat) tinggi. Kesintasan di terumbu akan meningkat drastis sesuai dengan ukuran/umur. Misalnya, sebuah penelitian dengan karang *Pocillopora damicornis* yang berplanulasi menunjukkan kesintasan karang yang baru menempel di akuarium setelah lebih dari satu minggu mencapai delapan kali lipat (69%) dibandingkan terumbu alami (9%) bahkan setelah tiga minggu hampir tidak ada karang yang hidup. Penelitian lebih lanjut juga menunjukkan bahwa karang yang dibudidayakan selama 6 bulan hingga diameter >10 mm, kemungkinan kesintasan hingga 5 bulan berkisar antara 25--30 kali di terumbu alami jika dibandingkan dengan diameter <3 mm (sekitar umur satu bulan).

Dengan menggunakan lendir dari pemijahan massal, ribuan polop karang dapat menempel pada tegel-tegel (telah dikondisikan dalam air laut selama dua bulan) di akuarium *ex situ*. Penempelan tersebut dapat dibantu dengan menggunakan senyawa yang dapat menarik larva. Senyawa tersebut dapat diambil dari jenis-jenis alga merah berkapur tertentu (terkadang disebut sebagai kertas penangkap larva) yang merangsang penempelan dan metamorfosis larva karang menjadi juwana karang.



Planula *Acropora tenuis* dan juwana karang yang baru menempel dan bermetamorfosis di atas alga berkapur yang mengerak.



Juwana keong herbivora seperti *Trochus* yang berukuran 5 -7,5 mm dapat digunakan untuk membersihkan alga yang dapat menutupi juwana karang.

Setelah beberapa minggu, tegel dan juwana karang dapat dibudidayakan bersama di kandang di tengah laut dengan beberapa keong herbivora kecil (seperti *Trochus* dengan ukuran 5-7,5 mm) yang berguna untuk membersihkan alga agar tidak menutupi karang muda. Dengan menggunakan metode tersebut ribuan koloni *Acropora* berdiameter 4 cm dapat ditumbuhkan dari lendir karang dalam waktu 12 bulan. Sayangnya, tingkat kesuksesan dan pertumbuhan transplan di terumbu yang rusak masih belum jelas. Karena budidaya membutuhkan biaya, harus dipertimbangkan antara dampak waktu budidaya (biaya) dengan peningkatan kesintasan setelah transplantasi sebagai keuntungannya. Hingga saat ini, penelitian masih diperlukan untuk menjawabnya.



Telur dan embrio Acropora pada tahap pertama perkembangan, dua jam setelah karang memijah.



Pemantauan pertumbuhan dan kesintasan karang berikut dengan pembersihan alga dan biota pengotor lainnya di kandang di tengah laut tempat pembesaran Acropora di Palau.



*Acropora berumur sembilan bulan (diameter 3-4 cm) menempel pada tegel di bak penampungan, kemudian dibesarkan dalam kandang di tengah laut, sembari dibudidayakan bersama dengan keong *Trochus* yang memakan alga.*

Yang Harus Diingat

-  Karang dapat dibudidayakan secara aseksual dengan menggunakan fragmen atau secara seksual dengan larva.
-  Tujuan utama membudidayakan fragmen secara aseksual adalah untuk memaksimalkan bahan yang tersedia dan meminimalkan kerusakan di kawasan donor. Fragmen dari budidaya dapat menghasilkan ratusan transplan.
-  Keanekaragaman genetik transplan hasil budidaya harus dipertimbangkan hati-hati.
-  Budidaya dengan menggunakan larva telah dikerjakan secara eksperimental walaupun membutuhkan keahlian teknis lebih dibanding budidaya aseksual. Pada kebanyakan jenis karang, pemijahan berlangsung sesuai musim sehingga membatasi waktu ketersediaan larva. Akan tetapi, propagasi seksual dalam budidaya memiliki potensi untuk menghasilkan karang muda dengan jumlah besar.
-  Hal tentang budidaya yang masih merupakan tanda tanya adalah apakah karang hasil budidaya dapat bertahan hidup saat ditransplantasi di terumbu yang rusak.

3.4. Menempelkan transplan karang

Transplan harus ditempelkan dengan baik di terumbu kecuali di tempat yang terlindungi sehingga fragmen tetap stabil. Penempelan dapat dilakukan dengan semen, berbagai perekat *epoxy*, paku, kabel baja antikarat, kabel, dan kabel pengikat. Paku atau bahan dasar lain yang panjang dipaku ke terumbu sebagai tempat penempelan bagi kabel pengikat atau kabel di tempat yang sulit ditempelkan. *Nubbin* kecil dapat dengan sukses ditempelkan ke pin plastik (di pembibitan di tengah laut) dan substrat lain (misalnya cangkang kima) dengan perekat *cianoacrylate* (*Superglue™*). Jenis yang bereproduksi secara alami dengan fragmentasi biasanya dapat menempelkan diri dalam beberapa minggu jika dalam kondisi stabil. Pada

terumbu yang terpapar, pelepasan transplan dapat menjadi penyebab utama kematian dan menipiskan populasi transplan.

Metode yang paling efektif akan tergantung pada: (1) ukuran dan bentuk pertumbuhan transplan, (2) paparan habitat dari arus dan gelombang, dan (3) bentuk serta kondisi substrat tersebut. Beberapa kegiatan restorasi telah berhasil meminimalkan kehilangan (lepasnya fragmen) dengan menggunakan perekat *epoxy*, semen, dan kabel. Beberapa metode penempelan yang memungkinkan pergerakan fragmen tidak disarankan karena dapat mengakibatkan abrasi dan kehilangan jaringan. Hal tersebut biasanya terjadi saat fragmen hanya diikat ke terumbu dibanding disemen.

Fragmen karang terkadang dapat tumbuh menutupi kabel atau kabel pengikatnya dalam beberapa bulan. Akan tetapi, disarankan untuk meminimalkan penggunaan material buatan di lingkungan terumbu. Ketika jaringan karang melakukan kontak dengan permukaan substrat yang bersih (misalnya tidak ditumbuhi oleh alga atau ditutupi sedimen tebal) biasanya karang akan menempel sendiri dan tumbuh di permukaan. Ketika fragmen karang telah menutupi substrat, maka resiko lepasnya fragmen berkurang drastis. Proses penempelan sendiri tersebut dapat terjadi setelah beberapa minggu hingga beberapa bulan dan metode untuk mempercepat proses sangat disarankan.

Salah satu metode murah yang telah sukses digunakan untuk transplantasi fragmen ke batu karang adalah mencari lubang alami dengan diameter yang sama dengan fragmen, atau melubangi terumbu dengan pahat atau obeng sesuai ukuran. Area di sekitar lubang dikikis hingga bersih kemudian fragmen dimasukkan dan distabilkan dengan perekat epoxy di satu sisi dan di sisi lainnya jaringan karang



Sebuah koloni Acropora berukuran satu bulan setelah transplantasi yang menunjukkan penempelan ke substrat di sekitar dasar (warna kebiru-biruan) yang cepat.

ditekan hingga menyentuh substrat. Proses ini mempercepat penempelan sendiri pada sisi tersebut, dan metode ini sepertinya bekerja dengan baik.

Fragmen karang hasil budidaya biasanya telah menempel di substrat sendiri. Bentuknya beragam, mulai pin plastik yang digunakan di pembibitan di tengah laut hingga batu kapur berukuran 20 cm x 5 cm yang digunakan di pembibitan di darasan. Fragmen atau koloni kecil dari pembibitan biasanya telah menempel sendiri di substrat tempat budidayanya. Pin plastik dapat dimasukkan ke dalam lubang buatan dan distabilkan dengan epoxy jika perlu. Area di sekitar lubang juga harus dikikis hingga bersih dan dasar fragmen yang sedang tumbuh harus dirangsang untuk berkembang di substrat terumbu. Fragmen yang ditumbuhkan di bongkahan batu kapur dapat diselipkan di antara cabang-cabang karang mati dan dirangsang untuk menempel sendiri dengan cabang fragmen ditekan ke beberapa tempat penempelan tambahan di atas substrat.



Bor yang digunakan untuk melubangi batu karang yang lunak dan perekat epoxy untuk menstabilkan transplan di lubangnya.



Transplan dimasukkan ke dalam lubang di batu karang dengan salah satu sisi tertempel kuat dengan epoxy dan sisi yang lain menempel dengan substrat.

Panduan Praktik Yang Baik

- ✓ Transplan harus menempel dengan kuat pada terumbu di lokasi yang akan direstorasi.
- ✓ Berbagai jenis perekat epoxy, semen, kabel, dan kabel pengikat dapat digunakan untuk menempelan transplan di terumbu yang rusak.
- ✓ Metode yang paling efektif dalam menempelan fragmen akan tergantung pada: (1) ukuran dan bentuk pertumbuhan transplan, (2) paparan habitat dari arus dan gelombang, dan (3) bentuk dan kondisi substrat tersebut.
- ✓ Jika mungkin, coba untuk menghindari material buatan seperti paku dan staples ke lingkungan terumbu.
- ✓ Cobalah untuk merangsang penempelan sendiri transplan dengan mendekatkan jaringan karang hidup ke substrat dasar. Ketika koloni telah menempel sendiri kemungkinan untuk lepas berkurang secara dramatis.

3.5. Jenis yang dianjurkan

Saat ini sangat sedikit informasi berkaitan dengan jenis karang yang sesuai untuk transplantasi. Untuk beberapa jenis, hasil penelitian dari beberapa peneliti tampaknya kontradiktif. Hal itu dapat disebabkan oleh kesalahan identifikasi, perbedaan penanganan, atau perbedaan lokasi. Kekurangan dari penelitian yang terkontrol memberikan beberapa saran untuk digunakan. Walaupun begitu, secara umum kami dapat memberikan petunjuk.

Pertama yang perlu kita lakukan adalah menentukan jenis karang yang dapat hidup di lokasi yang akan direstorasi. Pengamatan di lokasi yang akan direstorasi atau di sekitarnya, lokasi serupa, lokasi yang masih baik (lokasi acuan), atau data beberapa tahun sebelumnya dari lokasi tersebut akan dapat memberikan gambaran jenis karang yang sesuai. Sebagai contoh, bila hanya jenis-jenis karang yang toleran terhadap sedimen yang dapat berkembang pada lokasi restorasi, maka bila menggunakan jenis-jenis yang tidak toleran terhadap sedimen, sumber sedimentasi harus dikurangi atau ditiadakan, baru dapat sukses. Jenis karang yang akan ditransplantasikan sebaiknya berasal dari lokasi yang belum atau sedikit terdegradasi yang dekat dengan lokasi restorasi. Mereka dapat ditransplantasikan bila penyebab antropogenik sudah dapat dikelola. Bila tidak maka transplantasi akan gagal.

Jenis karang bercabang, seperti karang dari suku Acroporidae dan Pocilloporidae, merupakan jenis yang cepat tumbuh dan mudah untuk difragmentasi (atau menemukan patahan alaminya). Oleh sebab itu, jenis-jenis tersebut banyak digunakan karena dapat meningkatkan persen penutupan karang hidup secara cepat. Tetapi: 1) jenis bercabang lebih sensitif untuk ditransplantasi dibandingkan jenis yang lambat tumbuh seperti submasif atau masif, sehingga kesintasanya rendah; 2) lebih sensitif terhadap fenomena El-Nino dan merupakan jenis yang mudah mengalami pemutihan sehingga akan ada pemutihan dan kematian massal (jika pemanasan berlanjut); 3) lebih mudah terserang penyakit dibandingkan jenis karang dari suku yang lain. Oleh sebab itu, kegiatan restorasi yang bergantung pada jenis-jenis tersebut akan beresiko. Di kawasan Indo-Pasifik dimana suku-suku

tersebut mudah menyebar, ia juga yang pertama kali tumbuh dan mendominasi rekrutmen alami. Di lokasi dengan rekrutmen tak terbatas, populasi jenis-jenis tersebut dapat pulih dengan cepat. Sebagai contoh, di Maladewa dalam waktu 7 tahun kita dapat berharap sebuah karang meja dapat tumbuh hingga diameter 1,3 meter dari larva karang yang melekat secara alami.

Bentuk pertumbuhan lain (masif, submasif, lembaran) dan jenis bercabang dari suku lain seperti Poritidae dan Merulinidae, cenderung tumbuh lebih lambat, dan kurang diteliti sebagai jenis potensial untuk restorasi. Walaupun terdapat variasi antar marga dan jenis dalam suku tersebut, ternyata jenis yang jarang digunakan (*Porites lutea*, *P. lobata* dan beberapa jenis *Pavona*) adalah jenis yang tidak sensitif, baik terhadap tekanan transplantasi maupun anomali iklim, dan jenis-jenis itu dapat bertahan dalam waktu lama walau pertumbuhannya lambat. Kekurangan dari penggunaan jenis yang lambat tumbuh adalah kompleksitas topografi yang diinginkan (menyediakan perlindungan, dan menarik ikan dan biota lain) dicapai dalam waktu lama.

Sebuah kompromi yang realistis adalah dengan mentransplantasikan beragam jenis, tidak hanya berfokus pada suku Acroporidae dan Pocilloporidae yang beresiko. Pada sebuah lokasi yang didominasi oleh kedua suku tersebut ada satu pertanyaan yang muncul, apakah rekrutmen di lokasi tersebut terbatas. Bila tidak, maka ada kemungkinan usaha restorasi akan tidak efektif. Bila iya, maka usaha restorasi merupakan langkah yang terbaik.

Saat ini sedang dilakukan penelitian mengenai indeks kerentanan relatif terhadap pemutihan untuk jenis-jenis karang yang umum, sehingga dapat dijadikan panduan untuk memilih jenis yang akan ditransplantasikan. Di antara jenis-jenis karang itu, koloni dengan alga zooxanthellae tertentu ada yang lebih tahan terhadap pemutihan dibandingkan jenis karang dengan alga zooxanthellae lain. Hingga saat ini apakah koloni karang yang resisten tersebut dapat diidentifikasi di lapangan dan langsung digunakan untuk transplantasi atau dibudidayakan secara aseksual di pembibitan (lihat subbab 3.3.1) masih menarik untuk diteliti.



Pemandangan lokasi transplantasi di Fiji dengan Acropora yang baru ditransplan.



Penyelam menempatkan transplan di kawasan yang rusak di Fiji.

Panduan Praktik Yang Baik

- ✓ Transplantasikan hanya jenis yang sesuai dengan lingkungan terumbu karang yang direstorasi. Yaitu, jenis yang bertahan hidup di lokasi terdekat dengan kondisi lingkungan yang serupa atau mirip (lokasi dengan ekosistem acuan).
- ✓ Bila ingin mengembalikan kondisi terumbu karang ke kondisi semula, pastikan bahwa gangguan kronis akibat manusia yang mengakibatkan kerusakan dikurangi atau dihilangkan.
- ✓ Usahakan untuk mentransplantasi campuran jenis-jenis umum berdasarkan pengamatan di lokasi acuan.
- ✓ Pertimbangkan walaupun karang bercabang dapat merubah persen penutupan dan kompleksitas topografi secara cepat, mereka juga sangat rentan terhadap pemutihan karang, tekanan transplantasi, dan penyakit.
- ✓ Pertimbangkan walaupun jenis yang lambat tumbuh merubah persen penutupan dan keragaman topografi lambat, tetapi mereka lebih tahan terhadap pemutihan karang, tekanan transplantasi dan penyakit.

3.6. Ukuran fragmen transplan

Telah terbukti bahwa ukuran fragmen berpengaruh, dengan kesintasan lebih tinggi pada ukuran yang besar. Keuntungan kesintasan dapat berlaku pada ukuran berkisar antara 1 mm hingga 10 cm. Untuk fragmen ukuran kecil disarankan berdiameter di atas 10 mm (1 cm), beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa ukuran fragmen di atas 10 cm mempunyai tingkat keberhasilan yang lebih baik. Ukuran kritis bervariasi berdasarkan jenis dan lokasi, bergantung pada jumlah dan tipe alga (atau biota lain) yang berkompetisi untuk ruang, serta kelimpahan dan ukuran dari pemakan alga seperti ikan kakatua. Ukuran fragmen diusahakan lebih besar dari ukuran mulut ikan pemakan alga. Karena jika hanya sebesar mulut, maka sekali gigit ia akan mati, sedangkan bila cukup besar ia dapat bertahan.

Bila terdapat banyak makroalga maka fragmen berukuran kecil akan mudah tertutupi oleh alga, maka ukuran besar lebih dapat bertahan.

Saat ini belum diketahui mengapa ukuran dan tingkat keberhasilan bervariasi antar jenis, serta hubungan di antara keduanya, atau adakah ukuran kritis dimana tingkat keberhasilan dapat meningkat, atau keberlangsungan keberhasilan berdasarkan ukuran. Walaupun begitu, ukuran fragmen yang cukup baik, minimal 5-10 cm, akan meningkatkan keberhasilan dan keragaman topografi. Jika waktu dan tenaga dihitung, maka akan lebih efektif jika berfokus pada transplan ukuran besar dan tidak rentan hingga informasi lebih lanjut tersedia.

Panduan Praktik Yang Baik

- ✓ Fragmen karang lebih besar memiliki ketahanan hidup lebih baik.
- ✓ Pertimbangkan fragmen karang berukuran minimal 5 – 10 cm untuk meningkatkan ketahanan hidup untuk restorasi secara aseksual.
- ✓ Bila membibitkan karang secara seksual, sebaiknya dipelihara hingga minimal berukuran 1 cm sebelum ditempatkan di terumbu. Walaupun untung-ruginya bila berukuran lebih besar masih belum jelas.

3.7. Keragaman dan kepadatan transplan

Tujuan dari restorasi adalah untuk mengembalikan kondisi ke keadaan semula sebelum terganggu, maka "ekosistem acuan" harus menyediakan indikator keragaman dan kelimpahan jenis utama dalam sebuah ekosistem yang sehat dengan kondisi lingkungan yang serupa. Informasi mengenai kelimpahan relatif dan kepadatan jenis utama

dapat didapatkan dengan menggunakan metode transek garis atau kuadrat (lihat English *dkk.*, 1997) di kawasan sumber yang potensial (dimana kondisi lingkungan serupa dengan lokasi yang direstorasi). Informasi tersebut dapat digunakan sebagai panduan atau paling tidak target jangka panjang.

Hal tersebut akan menjadi penekanan pentingnya tujuan perbaikan dan mendefinisikan kondisi akhir ekosistem. Kesulitan dalam mendefinisikan kondisi akhir tersebut akibat dari perubahan iklim global dan kerusakan ekosistem terumbu karang yang luas akibat ulah manusia telah dijelaskan sebelumnya. Bagaimanapun, sebuah usaha restorasi tanpa sasaran dan kondisi terumbu karang yang ingin dicapai, akan memperkecil tingkat keberhasilan. Tanpa lokasi acuan, akan sulit untuk dapat memperkirakan jenis karang apa yang akan ditransplantasi atau berapa jumlahnya atau komunitas ikan, karang, alga dan avertebrata apa saja yang akan terbentuk. Dengan memperkirakan kondisi akhir yang kita inginkan, kita dapat menghindari kesalahan-kesalahan yang mungkin terjadi. Kesalahan-kesalahan seperti melakukan transplan karang yang hidup di daerah tubir ke daerah laguna dan melihat karang tersebut mati.



Percobaan transplantasi yang disusun pada sebuah bukit karang yang rusak di Filipina.

Ketika kepadatan meningkat, biaya akan meroket. Melakukan transplantasi dengan jarak satu meter, maka akan memerlukan 10.000 fragmen karang per hektar. Bila kepadatan satu fragmen setiap 0,5 meter maka setiap hektar akan memerlukan sebanyak 40.000 fragmen karang. Banyak laporan dari usaha perbaikan karang memberikan saran, bila persen penutupan karang 20% maka diperlukan 2 fragmen karang/m². Bila kondisinya sudah rusak parah maka disarankan kepadatan fragmen karang mencapai 25 fragmen karang/m². Bila target kepadatan disesuaikan dengan kepadatan karang di lokasi acuan maka perhitungan menunjukkan biaya mencapai lebih dari US\$400.000 per hektar. Dilihat dari segi biaya, kepadatan 10% dari kepadatan lokasi acuan lebih memungkinkan. Pilihan yang lain adalah meningkatkan penutupan karang secara bertahap, sebagai contoh dimulai dengan 10% kepadatan acuan, dilanjutkan dengan 20% setelah melakukan transplantasi awal. Memang sulit untuk menentukan kepadatan karang transplan, tetapi kembali ke tujuan awal yaitu untuk membantu pemulihan

secara alami bukan membangun ekosistem terumbu karang. Hal yang terpenting adalah membantu terumbu ke arah pemulihan yang positif (lihat Gambar 2) yang menuju peningkatan fungsi ekosistem. Oleh sebab itu, kepadatan karang di lokasi acuan hanya sebagai pemandu untuk tujuan jangka panjang, bukan tujuan transplantasi karang. Bila sumberdaya terbatas akan lebih baik memperbaiki area yang sempit dengan hasil baik dibandingkan area yang luas tetapi hasilnya buruk.

Kepadatan karang dengan menggunakan lokasi acuan sebagai panduan masih merupakan acuan yang kasar. Beberapa karang mungkin berukuran 1 cm, sedang yang lainnya dapat mencapai 1 meter. Bila data distribusi frekuensi ukuran tersedia dari pengamatan di lokasi acuan dapat dijadikan panduan yang lebih akurat sebagai tujuan jangka pendek dari transplantasi, atau restorasi alami menjadi tujuan jangka panjang yang awalnya dibantu oleh transplantasi. Maka kepadatan karang transplantasi yang dicobakan akan berbeda. Pendekatan alternatif dapat dengan membangun tujuan restorasi hingga 75% (atau lebih) dari persen penutupan di lokasi acuan, untuk waktu antara 5 – 10 tahun. Mengetahui persen penutupan karang, ukuran transplan dan pertumbuhan rata-rata karang, kita akan dapat memperkirakan jumlah fragmen transplan untuk mencapai tujuan. Ini menunjukkan perlunya sebuah pemodelan. Menariknya, sebuah studi pemodelan baru-baru ini dengan asumsi sederhana, menyarankan untuk menyusun fragmen transplan secara teratur dapat memberikan keuntungan terbesar. Bagaimanapun tetap dibutuhkan studi pemodelan lebih lanjut dengan parameter yang lebih kompleks.

Ada batasan yang perlu juga dipertimbangkan. Tujuannya adalah populasi karang yang mandiri. Koloni karang dari jenis yang sama perlu ditempatkan berdekatan untuk menjamin suksesnya reproduksi. Pengelompokkan akan lebih baik dibandingkan menyebarkan fragmen transplan di seluruh lokasi yang rusak. Bila dipandang dari sudut kompleksitas topografi, pengelompokkan akan sangat menguntungkan dan menarik ikan lebih banyak dibandingkan transplan-transplan kecil yang tersebar. Beberapa jenis karang ada yang bersifat agresif dan dapat membunuh karang jenis lain. Jenis karang yang bertentangan sebaiknya tidak ditempatkan berdekatan. Seperti aspek lain dalam restorasi, masih banyak pula pertanyaan yang belum terjawab.

Panduan Praktik Yang Baik

- ✓ Gunakan hasil pengamatan di lokasi acuan (sehat atau lebih sedikit terdegradasi dengan kondisi lingkungan serupa) sebagai informasi untuk pemilihan jenis dan perkiraan kepadatan koloni.
- ✓ Ingat bahwa kegiatan ini bukan bertujuan membuat terumbu karang “instan”, tetapi untuk membantu perbaikan tersebut.
- ✓ Lebih baik memperbaiki area kecil dengan hasil baik daripada area yang luas, tetapi buruk hasilnya, jika dana terbatas.

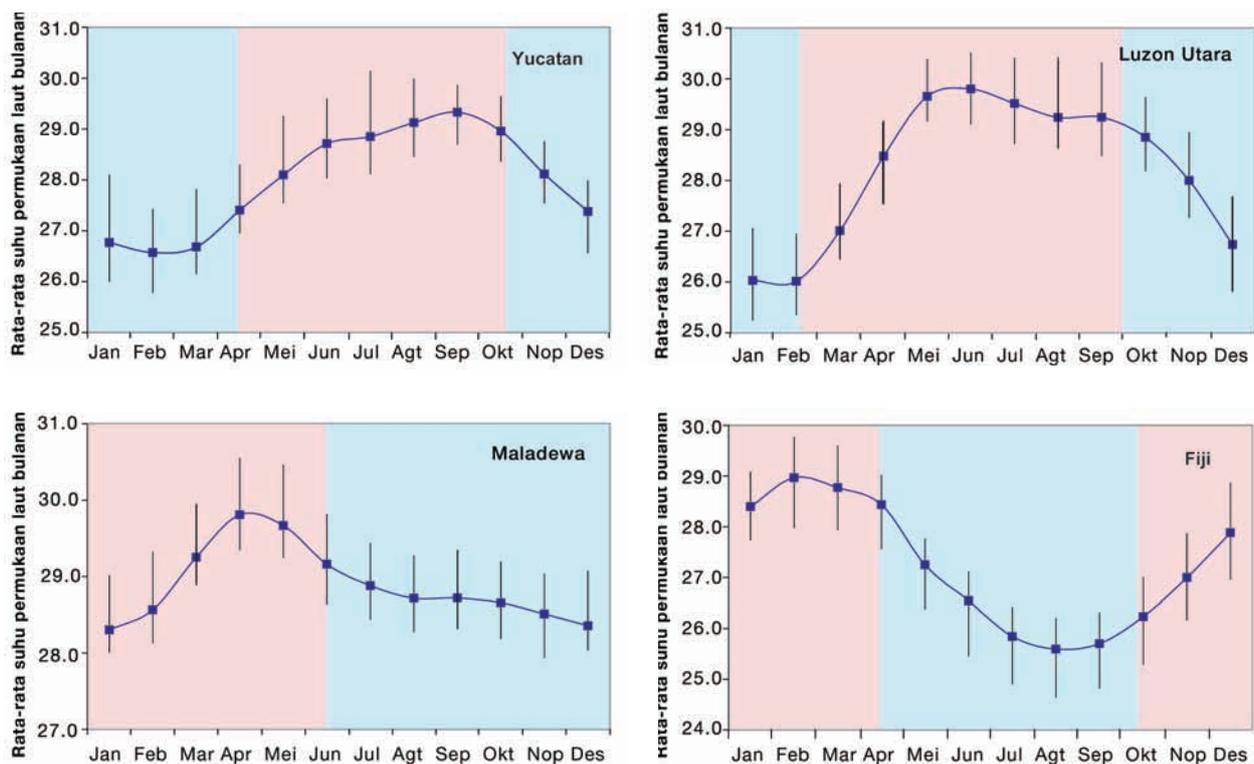
3.8. Waktu transplantasi

Transplantasi menyebabkan stres pada karang. Terkadang fragmen transplan akan memutih selama satu hingga dua bulan sebelum kembali ke warna asal. Hal tersebut juga dapat terjadi pada koloni karang yang menjadi donor fragmen. Kunci sukses dari transplantasi adalah mengurangi tingkat stres karang dan karang ditempatkan pada suhu sesuai suhu air laut, tempatkan di bawah naungan, jangan banyak disentuh tangan dan pindahkan secepatnya. Hindari melakukan transplantasi di tengah hari yang panas, walaupun beberapa jenis karang ditemukan lebih tahan terhadap stres. Tanda-tanda karang yang stres adalah keluarnya banyak lendir.

Tujuan utama dari bagian ini adalah untuk menekankan bahwa pada beberapa waktu dalam satu tahun karang secara normal berada dalam tekanan yang tinggi. Sebaiknya hindari untuk melakukan transplantasi pada

waktu-waktu tersebut. Secara umum biasanya terjadi pada waktu bulan-bulan terpanas, dimana pemutihan terjadi.

Pada bulan-bulan ini juga biasanya karang-karang terjangkit penyakit. Bila tetap melakukan transplatansi, maka tingkat kematian karang akan tinggi. Amati data suhu permukaan air laut tahunan, lakukan transplantasi beberapa bulan sebelum atau sesudah suhu permukaan air laut tertinggi. Cuaca buruk dan masa reproduksi karang juga harus menjadi pertimbangan. Karang mengeluarkan banyak energi ketika memproduksi telur dan ketika akan memijah sangat rentan terhadap stres. Transplantasi hanya akan menambah tingkat stres karang. Sebaiknya dilakukan ketika masa karang sedang tidak memijah atau diantara waktu memijah. Untuk jenis yang memijah secara musiman, akan sangat baik bila tidak melakukan transplantasi ketika sedang musim memijah.



Gambar 8. Perbandingan suhu permukaan air laut rata-rata bulanan di Pantai timur Yucatan Belize dan Meksiko, Luzon Utara (Filipina), Maladewa dan Fiji berdasarkan kantor meteorologi Hadley Centre's UK Global Sea Ice dan SST (HadISST 1.1) data tahun 1980 – 2005. Garis tegak lurus menggambarkan selang suhu yang terjadi. Waktu yang tidak baik untuk transplantasi ditandai dengan latar belakang merah muda. Fiji, bagian bumi sebelah selatan berkebalikan dengan Utara Luzon di bagian bumi sebelah utara, di Maladewa perbedaan antar musim sangat kecil dibanding lokasi lainnya.

Di beberapa bagian dunia dekat dengan batas paling utara dan selatan, karang dapat tumbuh atau di daerah yang terdapat arus dingin akibat *upwelling*, karang dapat juga stres karena arus dingin. Akan tetapi, masih belum ada data yang jelas kapan bulan-bulan terdingin yang harus dihindari.

Panduan Praktik Yang Baik

- ✓ Lakukan transplantasi di waktu karang tidak mengalami stres (beberapa bulan sebelum atau sesudah bulan terpanas; dan tidak di sekitar waktu pemijahan, terutama untuk karang yang memijah musiman).
- ✓ Minimalkan waktu karang terpapar udara, sinar matahari dan panas.
- ✓ Bila fragmen karang ditempatkan di wadah tertutup untuk waktu lama (1 jam atau lebih) lakukan pergantian air paling tidak setiap jam.
- ✓ Minimalkan sentuhan tangan (gunakan sarung tangan).
- ✓ Hati-hati ketika karang mulai banyak berlendir, ini adalah tanda-tanda karang stres.

3.9. Pemantauan dan perawatan

Sayangnya, akibat kurangnya pemantauan secara sistematis, kita sulit untuk mengetahui kesuksesan atau kegagalan sebuah upaya restorasi terumbu karang. Sulit juga untuk mengetahui penyebab dari sebuah kegagalan, apakah karena penyebab dari luar atau memang ada kekurangan dalam metode restorasi? Kita mengetahui banyak usaha restorasi dilakukan, tetapi kurang informasi mengenai kesuksesan atau kegagalannya. Tanpa sebuah pemantauan yang baik, kita hanya sedikit belajar dari kelebihan atau kekurangan metode yang digunakan. Restorasi jangan dianggap sebagai sebuah kegiatan sesaat, tetapi sebuah proses yang berkelanjutan yang akan bermanfaat bagi pengelolaan selama beberapa tahun.



Pemantauan lokasi transplantasi di Mayotte. Perhatikan pita kuning yang menandakan tiap koloni hasil transplantasi.

Jika kita ingin belajar tentang pengaruh restorasi, kita harus membandingkan apa yang dapat kita capai dan apa yang pasti terjadi secara alami tanpa campur tangan kita. Hal ini berarti kita harus mendiamkan sebagian lokasi dengan luas yang sama dengan yang akan kita restorasi, kemudian kita pantau apa yang terjadi di kedua tempat tersebut. Metode ini mungkin tidak sesuai untuk kerusakan-kerusakan kecil, seperti yang disebabkan oleh tertabrak kapal. Akan tetapi, untuk restorasi berbasis masyarakat, dimana lokasi yang rusak jauh lebih luas dibanding lokasi yang dapat direstorasi, metode perbandingan tersebut perlu dipertimbangkan. Sebaiknya lokasi pembandingan tersebut terletak di tempat yang cukup jauh dari lokasi restorasi. Dalam setiap kegiatan

yang cukup jauh dari lokasi restorasi. Dalam setiap kegiatan restorasi perlu dilakukan beberapa eksperimen, dari setiap eksperimen tersebut akan menjadi bahan pembelajaran untuk kegiatan restorasi berikutnya. Pemantauan akan memberikan informasi-informasi yang diperlukan untuk menyelesaikan kegiatan restorasi. Metode pemantauan sangat tergantung dari tujuan kegiatan restorasi, tetapi kami menawarkan beberapa saran di bawah ini.

Makin banyak informasi yang didapatkan dari pemantauan, makin banyak pembelajaran didapat dan proses kegiatan restorasi akan berjalan lebih baik. Penelitian ilmiah membutuhkan personil yang terlatih dan anggaran yang cukup besar. Kegiatan restorasi berbasis masyarakat biasanya memiliki sedikit sumberdaya. Maka akan lebih baik sedikit mengumpulkan data secara akurat dibandingkan mengumpulkan banyak data, tetapi tidak akurat. Pemantauan biasanya berfokus pada ketahanan hidup dan pertumbuhan karang dan biota lain yang ditransplantasikan. Pada penelitian ilmiah, pertumbuhan dan ketahanan hidup setiap koloni karang transplan diamati secara rutin, tetapi ini sangat menghabiskan waktu dan sangat sulit untuk dicapai. Lebih memungkinkan apabila kita melakukan pemantauan untuk melihat perubahan persen penutupan karang hidup. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan metode transek garis (LIT) dan kuadrat (English *dkk.*, 1997).

Pemantauan perubahan keanekaragaman hayati juga perlu dilakukan. Karang, ikan dan biota lain yang berperan secara ekologi dan ekonomi, serta mudah diidentifikasi perlu dipantau. Bila identifikasi hingga level jenis sulit dilakukan (terutama untuk karang), dapat dilakukan hingga level marga, bentuk pertumbuhan atau kelompok fungsi ekologis. Makin baik level identifikasi makin berguna data yang terkumpul, tetapi hal ini terkadang mengalami kesalahan identifikasi dan perdebatan. Akan lebih baik memiliki data hingga level marga atau suku secara akurat dibandingkan hingga level jenis, tetapi tidak akurat. Kelimpahan dari kelompok biota-biota yang dipilih dipantau secara rutin. Tujuan dari pemantauan tersebut untuk melihat perubahan yang terjadi dan apakah tujuan dari restorasi sudah tercapai.

Seperti pemantauan sistematis yang didiskusikan di atas, pemantauan sederhana yang dilakukan dengan cara snorkling dan menyelam beberapa minggu sekali akan sangat berguna. Selama selang waktu 3, 6 atau 12 bulan antara pemantauan sistematis, segala macam gangguan yang menyebabkan kematian massal dapat terjadi, seperti badai, pelindian dari daratan, pemangsaan dan beberapa kejadian yang menyebabkan pemutihan karang. Pemantauan secara cepat dan sederhana setiap 2 – 4 minggu akan dapat menandai setiap kejadian tersebut. Dari situ kita dapat mengetahui hal-hal yang menyebabkan kematian karang dan melakukan tindakan preventif.

Perawatan - Berdasarkan besarnya biaya dan tenaga untuk melakukan restorasi terumbu karang, sangat wajar bila kita melakukan perawatan rutin terhadap karang transplan. Pemantauan sistematis dilakukan setiap beberapa bulan sekali, tetapi akan menguntungkan bila memeriksa transplan lebih sering dari gangguan pemangsaan, pertumbuhan alga yang cepat atau alga yang menempel di karang. Sehingga dapat melakukan langkah pencegahan atau pembersihan, bila diperlukan. Beberapa

ekhinodermata (seperti bulu seribu, *Acanthaster planci*), moluska (seperti *Coralliophila*, *Drupella*, dan *Phestilla*), dan beberapa jenis ikan pemangsa polip karang dan ada yang menyatakan bahwa karang transplan (karena stres) menarik para pemangsa (seperti bantal raja, *Culcita*). Tidak banyak yang dapat dilakukan untuk mengatasi ikan-ikan pemakan alga yang aktif (ikan-ikan ini memegang peran kunci dalam mengurangi alga kompetitor dan menciptakan ruang bagi pertumbuhan biota avertebrata lain), tetapi banyak hal dapat dengan mudah dilakukan untuk biota lamban, seperti bintang laut dan gastropoda. Kedua biota tersebut dapat dipindahkan ke tempat lain jauh dari lokasi transplantasi, tetapi jangan dipindahkan ke area pembanding. Perawatan rutin ini juga dapat berupa pembersihan area sekitar karang transplan dari alga (contoh menggunakan sikat kawat). Alga-alga tersebut bila dibiarkan tumbuh akan mengganggu pertumbuhan karang transplan dan proses pelekatan karang transplan ke substrat. Bila terdapat pertumbuhan alga yang sangat cepat atau ledakan populasi bulu seribu maka diperlukan tindakan pemantauan kondisi lingkungan yang lebih rinci.



Bintang bulu seribu memangsa karang Acropora.



Pemangsaan karang Porites rus oleh kelinci laut Phestillia. Catatan, rangkaian telur yang ditinggalkan oleh kelinci laut.



Keong pemangsa Coralliophila memangsa koloni karang Porites rus.



Luka bekas pemangsaan yang ditinggalkan oleh Coralliophila.



Bantal raja Culcita diketahui juga memangsa polip karang.



Mulut dari Culcita.

Panduan Praktik Yang Baik

- ✓ Pertimbangkan bahwa restorasi bukan kegiatan sesaat, tetapi sebuah proses tahunan yang membutuhkan pengelolaan adaptif.
- ✓ Memantau proses restorasi baik dilakukan bila kita ingin belajar dari proses restorasi tersebut. Tanpa itu, kita tidak dapat menilai tingkat keberhasilan atau efektivitas biaya, atau menjalankan pengelolaan adaptif bila diperlukan.
- ✓ Disarankan untuk menyiapkan dan memantau lokasi pembanding dimana kegiatan restorasi tidak dilakukan. Ini akan menyediakan data yang baik sehingga kita dapat mengevaluasi efektivitas dari anggaran biaya.
- ✓ Pertimbangkan berapa kali pemantauan akan dilakukan. Lebih baik sedikit melakukan pemantauan tetapi rutin, dibandingkan melakukan banyak pemantauan tetapi buruk dan tidak rutin.
- ✓ Perawatan rutin terhadap lokasi restorasi sangat dianjurkan. Hal ini dapat mencegah pemangsa karang oleh biota lain dan merupakan langkah yang akan meningkatkan efektivitas dana.

4. Berapa biaya untuk restorasi terumbu karang?

Sangat sulit untuk memperoleh informasi mengenai biaya restorasi terumbu karang secara akurat. Informasi detail mengenai anggaran restorasi yang ada biasanya hanya mencakup biaya penyelesaian kegiatan restorasi tersebut, bukan biaya untuk mencapai tujuan dari restorasi. Melakukan restorasi secara aktif, seperti melakukan transplantasi karang dengan jumlah tertentu tidak sama dengan secara sukses kita merestorasi kondisi ekosistem terumbu karang. Sering keluaran dari sebuah kegiatan restorasi tidak jelas, hal tersebut terjadi karena tidak melakukan kegiatan pemantauan secara rutin. Mengetahui biaya beragam pendekatan dalam kegiatan restorasi terumbu karang sangat bermanfaat, tetapi sangat sulit untuk membandingkan diantaranya. Lebih lanjut, biaya restorasi dievaluasi dengan membandingkan keuntungan yang dihasilkan. Untuk restorasi biologis secara aktif, keuntungan dapat dihitung dengan melihat peningkatan pada indikator target yang melebihi restorasi alami tanpa intervensi. Oleh karena itu, kami menyarankan untuk membuat lokasi pembanding.

Setiap kegiatan restorasi yang paling banyak dilakukan adalah mentransplantasikan karang pada terumbu karang yang telah rusak. Keefektifan biaya antar kegiatan dan metode yang digunakan dapat dibandingkan dengan melihat

biaya setiap koloni karang yang hidup hingga dewasa. Mendetilkkan sebuah anggaran biaya restorasi sangat sulit. Anggaran biaya tersebut termasuk pembelian barang, peralatan dan tenaga, serta beberapa biaya sesaat, sementara yang lain merupakan biaya operasional. Dalam teori semua biaya tersebut dapat dikonversikan ke nilai tukar dollar Amerika, dan disesuaikan dengan kemampuan belanja dari masing-masing negara. Bila kita ingin mempromosikan metode restorasi yang murah, membangun sebuah standar penilaian keefektifan biaya restorasi harus menjadi prioritas utama.

Walaupun seperti itu, kami mencoba memberikan beberapa panduan untuk biaya kegiatan restorasi. Klasifikasi biaya dibagi berdasarkan kegiatan restorasi yang melibatkan perubahan fisik dan restorasi biologis murni. Informasi dari kegiatan restorasi akibat tertabrak kapal di Karibia, yang melibatkan perubahan fisik, memerlukan biaya antara US\$ 2 – 6,5 juta per hektar. Informasi dari kegiatan restorasi biologis di Tanzania, Fiji dan Filipina, memerlukan biaya antara US\$ 2.000 – 13.000 per hektar. Sebuah penelitian di Australia memberikan informasi bahwa untuk melakukan restorasi dengan kepadatan karang 10% dari target memerlukan biaya paling sedikit US\$ 40.000 per hektar.

Dua kegiatan restorasi dengan biaya terendah merupakan kegiatan restorasi berbasis masyarakat. Kegiatan yang pertama melakukan transplantasi 2 karang per m² di terumbu karang dengan persen penutupan 20% (US\$ 2.000/ha), sedangkan yang kedua meningkatkan persen penutupan karang keras dari 10% menjadi 20% (US\$ 4.590/ha). Ini merupakan panduan awal yang berguna, tetapi masih merupakan perkiraan yang terlalu optimis. Biaya kegiatan restorasi lainnya dimulai pada US\$ 13.000/ha. Perkiraan ini dapat dibandingkan dengan rata-rata global nilai terumbu karang untuk barang dan jasa sebesar US\$ 6.075/ha/tahun. Dan potensi keuntungan ekonomi berkelanjutan untuk terumbu karang Filipina sebesar US\$ 320 – 1.130/ha/tahun.

Untuk kegiatan restorasi kecil berbasis masyarakat, pemasukan yang didapat dari terumbu setelah direstorasi masih dibutuhkan hingga beberapa tahun untuk menutupi biaya restorasi. Pengembangan dari efektivitas biaya restorasi akan meningkatkan keuntungan ekonomi dari kegiatan restorasi, baik restorasi biologis maupun fisik.

Perbandingan dengan biaya kegiatan restorasi jenis ekosistem lain, seperti padang lamun, hutan mangrove, rawa payau, gumpul pasir, dan laguna, tidak berbeda jauh. Biaya restorasi terumbu karang kelihatannya begitu tinggi di bagian kegiatan berbiaya rendah, tetapi tidak nyata perbedaannya. Hanya bila tertabrak kapal dan membutuhkan perubahan fisik, maka dapat kita lihat perbedaan yang besar dibandingkan ekosistem pesisir lainnya.

Kegiatan restorasi terumbu karang saat ini hanya mencakup area yang sangat kecil, dan lebih berfokus untuk penelitian. Belum ada sebuah upaya untuk membuat sebuah konsep restorasi dalam skala yang luas (dalam km²). Apakah kita harus berharap bahwa merestorasi terumbu karang dalam skala kecil menyebabkan ekosistem terumbu karang dapat pulih kembali. Bila suatu area kecil kita restorasi, apakah akan mempengaruhi wilayah sekitarnya. Saat ini kita masih sulit untuk menjawab pertanyaan tersebut. Untuk memenuhi kesenjangan antara skala restorasi dan degradasi terumbu karang, perlu sebuah penelitian kombinasi antara proses ekologi, keterhubungan dalam skala luas dan proses oseanografi, dan pemodelan akan menawarkan sebuah harapan.



Terumbu yang cantik di Kepulauan Similan, Thailand.

Yang Harus Diingat

- Restorasi akibat tertabrak kapal membutuhkan perubahan fisik cukup besar membutuhkan biaya antara US\$ 2 – 6,5 juta per hektar.
- Transplantasi berbiaya rendah berkisar antara US\$ 2.000 – 13.000 per hektar, sedangkan biaya meningkat dengan target yang lebih besar hingga US\$ 40.000 per hektar.
- Perkiraan kasar nilai tahunan terumbu karang untuk barang dan jasa adalah US\$ 6.075 per hektar.
- Manfaat ekonomi berkelanjutan tahunan dari terumbu karang Filipina berkisar antara US\$ 320 – 1.130 per hektar.
- Perbandingan ekonomi antara manfaat dan biaya untuk restorasi terumbu karang dengan menggunakan metode saat ini nilainya belum jelas. Meningkatkan efektivitas biaya sangat dibutuhkan untuk melakukan restorasi terumbu karang dalam skala luas.

5: Pembelajaran dari kegiatan restorasi: Studi Kasus

Dalam bab ini, terdapat lima studi kasus oleh Sandrine Job dari Coral Reef Initiative for the South Pacific (CRISP) program restorasi terumbu. Lokasi proyek berkisar dari bagian barat Samudra Hindia hingga Polynesia Prancis dan mengilustrasikan beragam isu yang didiskusikan pada bab terdahulu. Dua kegiatan dari proyek tersebut memasukkan transplantasi sebagai sarana mitigasi dari pembangunan yang dapat merusak terumbu, dua kegiatan lainnya bertujuan untuk meningkatkan habitat terumbu karang yang tidak dapat pulih akibat tekanan alami (angin puyuh dan pemutihan massal berturut-turut) kemungkinan ditambah dengan dampak antropogenik, dan satu kegiatan bertujuan untuk mengurangi erosi dan mengembalikan kondisi sebuah kawasan penambangan pasir yang dekat dari sebuah tempat wisata. Untuk setiap studi kasus, lokasi, tujuan dan metode yang digunakan dijelaskan dengan singkat dan pelajaran yang didapat dijelaskan, sesuai dengan yang disampaikan oleh pihak terkait proyek tersebut. Tambahan informasi tentang sumber daya (staf, perlengkapan, dll.) yang dibutuhkan oleh setiap proyek diringkas dan ditampilkan dengan informasi anggaran yang tersedia. Biaya sumber daya manusia sangat bervariasi sesuai lokasi, oleh sebab itu, jumlah personel dan kerja lapangan dijelaskan hingga nilai biaya orang per hari dapat dihitung bagi mereka yang tertarik. Berdasarkan informasi dan bimbingan pada bab sebelumnya, Anda diharapkan untuk menganalisa cara-cara mengoptimalkan kegiatan proyek. Beberapa komentar dalam tanda kurung telah ditambah untuk menghubungkan pembelajaran dari bab-bab dalam buku ini.

Sebuah keistimewaan dari proyek-proyek tersebut adalah diadopsinya kebutuhan untuk pemantauan (berkisar dari 6 bulan hingga 5 tahun setelah pemantauan transplantasi dalam jadwal tiap proyek). Tanpa pemantauan, tidak ada pelajaran yang didapatkan. Bahkan dalam kebanyakan studi kasus, kesintasan transplan tinggi, tetapi beberapa mengalami kematian setelah satu tahun, oleh sebab itu, pemantauan jelas dibutuhkan paling tidak selama setahun bahkan hingga kemungkinan pemulihan terjadi (misalnya 5 tahun). Pada kebanyakan studi kasus, terdapat seleksi lokasi transplantasi yang semirip mungkin dalam hal kondisi lingkungan dengan lokasi sumber. Jika langkah ini tidak diikuti dengan baik, tingkat kematian transplan akan tinggi. Hal yang penting untuk pertimbangan lebih lanjut adalah 1) seluruh kegiatan proyek merupakan bagian dari kegiatan pengelolaan pesisir terpadu, 2) pemantauan transplan difokuskan pada kesintasan dan pertumbuhan, 3) dibutuhkan target restorasi yang jelas dan detil, dan 4) dibutuhkan kriteria sukses yang jelas dibandingkan dengan kemajuan pemulihan sehingga bisa dievaluasi secara obyektif [lihat subbab 1.3.1.].

Untuk informasi lebih lanjut tentang studi kasus silahkan hubungi:

*Sandrine Job. c/o CRISP Coordinating Unit.
Secretariat of the Pacific Community, BP D5.
98848 Noumea cedex, New Caledonia
Tel: +687 265471, Fax: +687 263818*



Pemandangan "taman karang" Bora Bora dengan transplan di atas terumbu buatan pada perairan dangkal.

Studi Kasus 1: Restorasi terumbu karang akibat kegiatan penambangan pasir dengan pembuatan kebun karang di Polynesia Prancis

Lokasi

Matira Point, Bora-Bora, Polynesia Prancis
(Juli 1996-Juni 2000)

Tujuan

Sebagai akibat kegiatan pengerukan pasir untuk pekerjaan konstruksi, pasir di sekitar pantai Matira Point tergerus yang berubah menjadi pusat erosi pantai. Sebuah usaha untuk menyelesaikan masalah, dua tahap strategi yang diperkenalkan menggunakan teknik restorasi fisik dan biologis.



Metode

Restorasi fisik:

- Lubang hasil penambangan diisi kembali dengan 10.000 m³ pasir dari bagian dalam lereng terumbu, untuk memungkinkan transfer sedimen berpindah pantai.
- Tiga pemecah ombak sepanjang 20 m dipasang dan penghijauan pantai yang diterapkan di antaranya. Kemudian ditambah lagi dengan pemodelan kembali garis pantai dan penanaman vegetasi.
- 125 struktur beton buatan (berat antara 1,6 dan 1,7 ton) disebar pada hamparan pasir di rataan terumbu sekitar Matira Point yang berfungsi sebagai pemecah ombak untuk melindungi pantai dari gelombang yang berasal dari laguna.

Restorasi biologis:

- Luasan 7.200 m² kebun karang dibuat dengan mentransplantasi 311 koloni karang ke 111 struktur buatan dan 200 koloni karang bercabang besar (*Acropora* spp.) dan masif (*Porites* sp.) di dasaran pasir di dekatnya.
- Pengambilan karang: daerah-daerah donor (termasuk lubang bekas tambang) dipilih, dengan pertimbangan (a) memiliki karakteristik yang sama dengan daerah transplantasi seperti kedalaman, pergerakan air, paparan terhadap ombak, dan keanekaragaman karang. (b) dekat (c) mudah dicapai. Sebanyak 311 koloni karang diambil dari campuran beberapa

bentuk pertumbuhan dan jenis yang berbeda, untuk membuat kembali bentuk karang yang alami.

- Karang-karang tersebut dibawa dengan direndam di dalam kotak yang berisi air laut.
- Fragmen ditempelkan pada struktur buatan menggunakan lem epoxy dan semen cepat kering.

Survei pemantauan dilakukan pada bulan 1, 3, 6, 9, 13, 28, dan 32 setelah transplantasi. Pemantauan meliputi :

- Kesintasan dan pertumbuhan rata-rata transplan karang.
- Pendugaan kesehatan (pengamatan kematian jaringan, pemutihan, pemangsaan pada transplan, dan sebagainya)
- Kolonisasi alami pada struktur buatan oleh ikan, alga, dan avertebrata besar.



Transplan pada terumbu buatan di perairan dangkal kebun karang Bora-Bora.

Pembelajaran

- Umumnya kesintasan karang transplantasi setelah 1 tahun adalah 95% menunjukkan pemilihan daerah donor berdasarkan kemiripan dengan lokasi transplantasi lebih efektif.
- Rata-rata kematian tinggi pada jenis *Porites rus* submasif yang disebabkan oleh tertutup pasir. Koloni karang harus ditempatkan lebih tinggi dari dasar untuk mengurangi paparan sedimen yang tersuspensi.
- Nilai keindahan dan fungsi betul-betul dipertimbangkan ketika membangun 11 buah struktur buatan sealami mungkin. Dengan sebuah pandangan untuk membuat sesuatu sealami mungkin. Hal itu dilakukan dengan meniru bentuk-bentuk karang alami, tekstur (secara kasar dengan mencampurkan pecahan karang dan pasir ke dalam beton) dan warna (pewarnaan pada semen bertujuan untuk mendapatkan warna yang sama seperti karang alami). Penyediaan tempat berlindung merupakan fungsi yang penting dari terumbu, sehingga bentuk terumbu buatan ditambahkan lubang, celah, dan ruang kosong sebagai tempat berlindung ikan dan hewan avertebrata. Kelimpahan dan keanekaragaman ikan meningkat signifikan setelah 1 tahun dengan 30-50% ikan adalah juwana.
- Penggunaan lem epoxy dan semen cepat kering untuk menempelkan transplan sangat sukses dengan tiadanya

transplan yang terlepas selama satu tahun pertama.

Penempelan sendiri koloni di dasar melalui pemanjangan jaringan ke substrat terjadi di mana-mana, sehingga menjamin penempelan alami pada jangka panjang dan menunjukkan penggunaan lem atau semen hanya bersifat sementara.

- Kesadaran yang kurang dari lalu lintas pelayaran dan wisatawan yang mengunjungi kebun karang menyebabkan kerusakan pada beberapa daerah transplantasi (2%). Untuk menghindarinya perlu direkomendasikan kegiatan restorasi dan harus dibarengi dengan penyadaran masyarakat pengguna.
- Angka kematian yang tinggi tercatat pada kejadian pemutihan karang pada Januari 2002 yang berpengaruh pada transplan dan karang alami pada rata-rata terumbu karang yang dangkal, sedangkan karang pada bagian luar lereng terumbu tetap hidup. Resiko kematian yang tinggi terutama ketika menanam karang di daerah goba yang dangkal dengan sirkulasi air yang terbatas, perlu menjadi pertimbangan dalam menyusun rencana kegiatan ketika memilih jenis yang ditanam dan daerah penanaman.
- Ketika melakukan restorasi fisik lubang bekas penambangan banyak pasir yang mengendap di kawasan kebun karang. Pasir harus segera dipindahkan untuk menghindari penutupan dan kematian transplan. Aktivitas restorasi fisik dan biologis harus dijadualkan dengan hati-hati sehingga akibat seperti di atas dapat dihindari.

Kontraktor

French Agency of Development (AFD), Pemerintah Polynesia Prancis dan National Scientific Program "Recreate Nature".

Dana dan kegiatan yang diperlukan

Restorasi Fisik

Aktivitas	Hari	Orang	Biaya (US \$)
Pembuatan pemecah ombak	6	4	12.000
Penambalan lubang bekas tambang dan penghijauan pantai	75	?	445.000
Pemodelan garis pantai dan penanaman vegetasi	180	?	734.000
Pembangunan dan penyebaran struktur buatan sebagai pemecah ombak	200	?	410.000
Total restorasi fisik			1.601.000

?= Jumlah pekerja yang subkontrak luar untuk menyelesaikan restorasi fisik tidak diketahui

Restorasi Biologis

Aktivitas	Hari	Orang	Biaya (US \$)
Pengambilan karang (sebagian besar dari bekas penambangan) dan transplantasi ke struktur buatan	19	3	40.000
Pengambilan dan transportasi 200 koloni karang masif besar dan karang bercabang	40	6	90.000
Pembuatan 7.200 m ² kebun karang termasuk 11 struktur buatan	30	6	140.000
Pemantauan kebun karang (lebih dari 1 tahun)	21	3	80.000
Total restorasi biologis			350.000

Sumberdaya yang dibutuhkan untuk membuat 7.200 m² kebun karang dengan 11 struktur buatan dan lebih dari 500 koloni transplan adalah:

Tim yang terdiri atas 3 hingga 6 orang, 2 orang ahli biologi kelautan, 1 pengendara perahu, 3 asisten lapangan (bagian dari pekerja); 1 perahu; peralatan menyelam; US\$ 350.000 atau US\$ 50 /m².

Referensi

Salvat, B., Chancerelle, Y., Schrimm, M., Morancy, R., Porcher, M. and Aubanel, A. (2002). *Restauration d'une zone corallienne dégradée et implantation d'un jardin corallien*. *Rev. Ecol. Supp.* 9: 81-96.

Studi Kasus 2: Restorasi terumbu karang pantai akibat angin topan di La Réunion

Lokasi

Saint Leu, Pulau La Réunion (1997-2000)

Tujuan

Selama angin topan Firinga pada 1989, banyak bagian terumbu karang tepi di Pulau La Réunion yang hancur, dengan kematian mencapai 99% di beberapa tempat, terutama pada terumbu karang tepi di Saint Leu. Penelitian ini bertujuan untuk membuat kembali habitat ikan dan membantu mengembalikan populasi ikan di laguna La Réunion.



Metode

Proyek ini dilakukan dalam 2 tahap:

Tahap 1 : (Juni 1997-Juni 1999). Transplantasi karang bercabang (*Acropora muricata*, jenis yang mendominasi terumbu karang tepi di La Réunion) yang berasosiasi dengan larva ikan betok *Dascylus aruanus* yang sebelumnya ditemakkan dalam bak-bak. Pertumbuhan dan ketahanan hidup transplan dihitung seperti halnya populasi ikan di lokasi kontrol dan di lokasi uji coba. Pemantauan selama satu tahun.

Tahap 2 (Juni 1999-Juni 2000) Penyebaran terumbu buatan mirip *reef ball*[™] buatan lokal, transplantasi fragmen karang (panjang 5 cm) dengan semen cepat kering. Pemantauan dilakukan untuk mengetahui kesintasan dan pertumbuhan transplan dan kolonisasi alami pada struktur-struktur buatan oleh ikan dan hewan avertebrata. Pemantauan selama 5 bulan.

Pembelajaran

- Semen cepat kering dapat efektif digunakan untuk transplantasi fragmen karang di atas struktur keras. Kesintasan mencapai 100% dan tidak ada yang terlepas setelah 2 bulan.
- Kegiatan restorasi harus di daerah yang di dalamnya kegiatan manusia dapat dikelola. Dalam proyek ini, karena laguna La Réunion menjadi lokasi utama bagi nelayan dan wisatawan, banyak karang transplantasi (50% transplan tahap 1 dan 30% transplan tahap 2) mati karena terinjak-injak.
- Selama tahap 1, penambahan ikan dianggap tidak berhasil setelah 1 bulan pelepasan mereka, hanya 20% dari jumlah awal yang ditemukan di dalam koloni transplantasi. Setelah

1 satu tahun terdapat 30%, dari jumlah awal menunjukkan adanya rekrutmen dalam koloni. Demikian juga dengan tahap 2, tidak ada penambahan ikan, tetapi rekrutmen alami terjadi di struktur buatan. Juwana telah ditemukan berkembang pada koloni-koloni karang bercabang dalam satu minggu.

- Selama tahap 2, 5 bulan setelah transplantasi, rata-rata 50% transplan mati tertutup alga berbentuk rambut atau dimakan oleh pemakan karang. Kemungkinan ada dua pilihan untuk mengurangi kematian, yaitu perawatan (seperti memindahkan alga), atau menggunakan fragmen yang lebih besar (seperti >10 cm) yang memungkinkan untuk bertahan hidup lebih baik dari pemangsaan dan bersaing dengan alga.

Kontraktor

Universitas La Réunion dan Museum Sejarah Nasional (Paris)

Biaya

Tim terdiri atas konsultan luar, 4 ilmuwan, 8 mahasiswa, 2 teknisi dan penjaga laguna La Réunion; secara keseluruhan anggarannya adalah US\$ 40.000, US\$ 20.000 telah dibelanjakan untuk bahan-bahan, termasuk US\$ 9.400 untuk membangun dan menyebarkan struktur buatan; US\$ 20.000

telah dibayarkan untuk gaji konsultan luar dan teknisi, gaji peneliti telah ditanggung oleh pihak universitas dan mahasiswa bersifat sukarelawan tidak dibayar.

Referensi

Chabanet, P. and Naim, O. (2001). *Restauration mixte d'un récif détruit par le passage d'un cyclone. Programme de recherche «Recréer la nature».*

Studi Kasus 3: Transplantasi karang dari Pelabuhan Longoni, Mayotte

Lokasi

Pulau Mayotte (Samudra Hindia), April 2004

Tujuan

Proyek mitigasi ini bertujuan untuk memperbaiki kerusakan akibat reklamasi pada rataan terumbu sewaktu reklamasi pelabuhan. Tujuannya adalah: (1) menyelamatkan sekitar 600 koloni karang yang terancam dan (2) penelitian ilmiah pertama transplantasi karang di laguna Mayotte.



Metode

- Pemilihan 3 lokasi transplantasi:
 - terumbu karang tepi dengan kondisi lingkungan mirip dengan lokasi yang terancam (Longoni Balise).
 - sebidang terumbu di laguna yang menyambung ke pantai (Vaucluse).
 - daerah terumbu karang yang terletak dekat dengan jalan menuju terumbu karang penghalang (Surprise).
- 600 koloni karang dipilih dari beragam marga dan bentuk pertumbuhan yang mewakili komunitas terumbu karang tepi yang terancam.
- Ukuran karang kecil dan sedang dikirim di dalam kotak plastik besar yang diisi air laut, tetapi koloni karang yang besar di tempatkan dalam keranjang di bawah permukaan air laut yang ditarik oleh perahu. Waktu pengiriman ke lokasi transplantasi berkisar dari 30 menit sampai 2 jam.
- Transplan ditempelkan dengan semen pada terumbu karang alami atau papan beton (50 cm x 50 cm x 10 cm).
- Transplan ditandai dengan penanda kabel plastik dengan dipaku ke batu karang alami atau ditempatkan di koloni sendiri.
- **Survei pemantauan** dilakukan 1 bulan setelah transplantasi dan setiap 3 bulan selama 1 tahun. Pemantauan meliputi:
 - Kesintasan
 - Pertumbuhan rata-rata (mengukur diameter terkecil dan terbesar)
 - Menghitung kematian sebagian (persentase kematian permukaan koloni dicatat)
 - Kolonisasi lokasi transplantasi oleh ikan dan avertebrata (dihitung dengan 3 pengulangan transek sabuk 50 m x 4 m dan 20 m x 2 m di setiap lokasi)



Transportasi transplan ukuran kecil dan sedang yang direndam air laut dalam kotak plastik besar.



Transportasi transplan ukuran besar yang ditenggelamkan dalam keranjang yang ditarik kapal.

Pembelajaran

- Kegiatan secara keseluruhan berhasil, rata-rata ketahanan hidupnya 80% setelah satu tahun, hal ini menandakan bahwa metode pengambilan, pengangkutan dan penanaman transplan telah sesuai.
- Pemilihan lokasi transplan sangat penting; lokasi yang kondisi lingkungannya mirip lokasi yang terancam, akan memiliki kesintasan tinggi. Rata-rata ketahanan hidupnya berturut-turut 90%, 65%, dan 80% pada terumbu karang tepi (paling mirip), sebidang terumbu agak jauh dari pantai, dan terumbu karang yang lokasinya dekat dengan jalan menuju terumbu karang penghalang.
- Pengamatan kematian sebagian untuk menilai tingkah laku koloni karang transplantasi dari awal sampai akhir sangat berguna. Hal itu memungkinkan penentuan apakah karang yang sintas kesehatannya membaik atau memburuk.
- Sebagian besar koloni transplantasi memperlihatkan kematian sebagian jaringan pada satu bulan, tetapi peningkatan tidak berlanjut. Ini menjelaskan stres pada bulan pertama yang dapat dihubungkan dengan adaptasi terhadap lingkungan baru dan atau reaksi terhadap penanganan transplantasi. Oleh karena itu, penting untuk memperkecil stres selama transplantasi.
- Semen biasa telah cukup efektif untuk menempelkan koloni-koloni karang. Bahkan pada lingkungan dengan gerakan air yang sedang, kurang dari 5% koloni karang menjadi terlepas.

- Lempengan beton yang telah ditemeli karang dan ditempatkan di atas pasir adalah kegagalan, sebagian besar transplan di sini mati tertutupi oleh pasir. Pada lingkungan yang berpasir, transplan perlu bebas dari pergerakan pasir, terutama pada tempat-tempat dimana ombak dan arus yang melarutkan partikel-partikel pasir dan menggosok permukaan.
- Beberapa koloni yang ditempatkan terlalu dekat tumbuh saling menutupi. Transplan seharusnya ditempatkan cukup jauh dari satu dengan yang lain untuk menghindari persaingan ruang.
- Walaupun koloni-koloni bercabang memiliki rata-rata pertumbuhan lebih tinggi dari pada bentuk masif, bentuk masif lebih tahan terhadap stres dan beregenerasi lebih cepat saat terjadi kematian jaringan atau kematian sebagian.
- Walaupun penanda koloni-koloni telah digunakan untuk pemantauan, hal itu memakan waktu dan membutuhkan 6 jam kerja untuk menandai 100 koloni. Penanda plastik membutuhkan lebih sering pengecekan dan penggantian setiap 6 bulan. Paku baja tahan karat diketahui efektif untuk mempertahankan posisi penanda pada dasar.
- Sekitar 5% transplan dirusak oleh nelayan melalui jangkar, jaring, atau batu (di Mayotte, penangkapan ikan dengan melemparkan batu ke dalam air untuk mengagetkan ikan adalah teknik penangkapan tradisional). Untuk meningkatkan kesintasan, maka disarankan agar transplantasi dilakukan di daerah perlindungan laut, dimana kegiatan manusia dapat dikontrol lebih baik.

Kontraktor

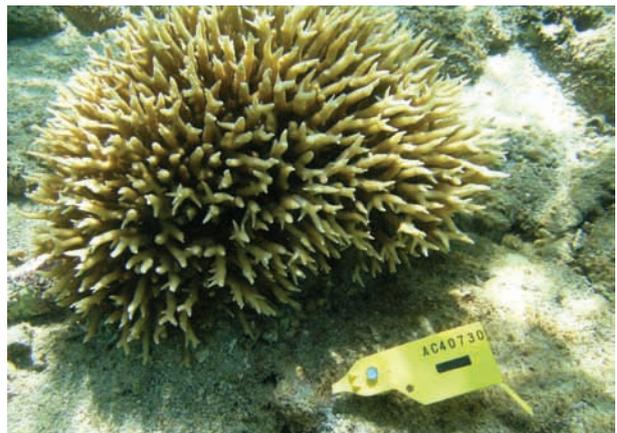
Direction de l'équipement de Mayotte.

Kebutuhan sumberdaya untuk 600 koloni transplan

Sebuah tim yang terdiri atas 3 penyelam (ahli biologi laut) + 1 pengendara kapal + 1 asisten lapangan (menyiapkan semen di permukaan dan membantu dengan logistik); 2 buah perahu (satu *speed boat* untuk membawa tim dan karang-karang ukuran kecil dan sedang, satu lagi kapal lambat untuk menarik sangkar yang memuat koloni karang yang besar); peralatan penyelaman; pekerjaan lapangan selama 25 hari (pemilihan lokasi, pengambilan karang, transplantasi dan pemantauan awal); biaya gaji US\$ 60.000 (termasuk US\$ 20.000 untuk konsultan luar); bahan-bahan, transportasi dan upah secukupnya untuk pekerja transplantasi: US\$ 25.000 ; biaya satu tahun pemantauan (termasuk gaji konsultan luar yang melakukan/mengadakan survei): US\$ 12.000 .

Referensi

Morancy, R., Job, S. and Thomassin, B. (2005). *Transplantation des coraux du port de Longoni et suivi de l'opération. Rapport technique*. Carex Environnement – GINGER.



Transplan Seriatopora di Mayotte, dengan penanda plastik yang dipaku ke terumbu.



Gangguan pasir di atas papan beton seharusnya dapat menstabilkan substrat untuk penempelan karang.

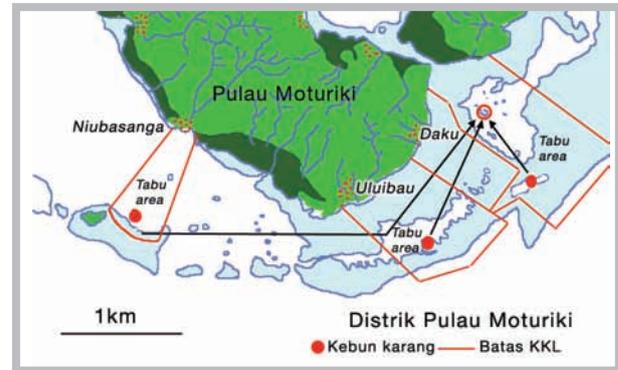
Studi Kasus 4: Restorasi terumbu karang yang rusak akibat pemutihan karang di Fiji

Lokasi

Pulau Moturiki, Fiji (Agustus, 2005)

Tujuan

Ini adalah kegiatan restorasi berbasis masyarakat dengan menggunakan biaya murah dan teknik yang mudah diaplikasikan. Tujuan dari kegiatan ini adalah memperbaiki sebagian karang yang mati dalam kejadian pemutihan karang pada tahun 2000 dan 2002. Tujuan khusus kegiatan ini sebenarnya lebih mengutamakan restorasi sumberdaya perikanan dalam keterkaitannya dengan ketersediaan makanan bagi kemakmuran masyarakat dibandingkan dengan alasan meningkatkan keanekaragaman hayati.



Metode

- Karang-karang yang digunakan berasal dari beberapa sumber: koloni karang yang berada di daerah berpasir (dimana koloni atau fragmen karang dapat jatuh di atas pasir), koloni karang yang terletak sangat dekat dengan permukaan air laut dan menunjukkan keadaan rusak karena terpapar saat air surut, fragmen-fragmen karang dari koloni yang dirusak oleh ikan, jangkar, jaring dan lain sebagainya serta karang budidaya (terdapat 4 budidaya karang di pulau Moturiki yang dimiliki dan dikelola oleh penduduk lokal).
- Transplan dipindahkan dengan menggunakan sebuah perahu dan diletakkan di dasar, walau terpapar udara penyiraman air laut secara terus-menerus dilakukan sepanjang perjalanan untuk menjaga karang tetap hidup. Waktu yang ditempuh dalam pemindahan tersebut berkisar 30 menit.
- Transplan ditempelkan/diikatkan dengan menggunakan 3 cara:
 - (1) Metode tancap, yaitu dengan memasukkan fragmen karang ke dalam celah kecil dan lubang yang sesuai dengan ukuran transplan di batu karang keras yang dipilih sebagai substrat. Dan memastikan mereka berada di tempat yang sesuai dan dapat menempel dengan cepat.
 - (2) Metode tempel, koloni yang besar (biasanya *Acropora*) langsung ditempatkan di atas pecahan karang atau sebidang pasir (lokasi terlindung dan sedikit pergerakan air) dan kemudian distabilisasi dengan menyisipkan batu yang diambil di sekitar dasar.
 - (3) Metode semen, yaitu karang yang berasal dari budidaya ditempelkan di karang mati dan batu karang dengan menggunakan semen.

- Ketiga lokasi yang ditransplantasi menutupi area seluas 2.150 m² dan dibandingkan dengan tiga lokasi pembanding yang berada di kawasan yang sama selama kegiatan pemantauan.
- **Pemantauan** dilaksanakan pada bulan ke-1, 3, 6 dan 9 setelah kegiatan transplantasi (kegiatan pemantauan pada bulan 12, 15 dan 18 yang sudah dijadualkan terpaksa dibatalkan karena terjadi pemutihan massal dan kematian karang). Kegiatan pemantauan meliputi:
 - Kesintasan transplan.
 - Pengukuran perubahan persentase penutupan karang yang diukur dengan menggunakan lima kali 20-25 m transek garis di tiap lokasi.
 - Penilaian populasi ikan dan avertebrata makro menggunakan metode sensus visual dan transek sabuk.



Pemindahan karang bercabang besar ke lokasi transplantasi di Fiji. Karang disiram dengan air laut dari ember.



Perkebunan karang di Moturiki kepulauan Fiji.

Pembelajaran

Metode pemindahan: walaupun karang dipindahkan dalam keadaan yang tidak baik, saling terkait dan menumpuk satu sama lain, terpapar udara selama 30-60 menit, lebih dari 95% transplan dapat bertahan hidup dengan baik selama 6 bulan dan karang bercabang menunjukkan pertumbuhan. Dengan waktu dan dana yang terbatas metode yang sederhana ini dapat berhasil dengan sukses [lihat juga Harriot dan Fisk, (1995)]. Akan tetapi, seperti yang direkomendasikan di subbab 3.8., akan lebih baik jika meminimalkan tekanan dan menutupi karang dari sinar matahari secara langsung serta menempatkan karang di dalam air selama dipindahkan.

Metode penanaman karang

Metode tancap

- Metode ini teruji sebagai metode yang termudah dan tercepat. Hanya dibutuhkan upaya yang kecil dalam merawat karang. Metode ini terlihat sangat cocok untuk memperbaiki terumbu karang di daerah yang didominasi koloni karang mati/ batu karang dimana fragmen akan dapat langsung ditanamkan. Akan tetapi, metode ini terbatas untuk karang bercabang yang kecil.
- Adalah sangat penting memilih lubang yang berukuran sesuai untuk menanam fragmen dan memastikan bahwa jaringan hidup dapat bersentuhan langsung dengan substrat sehingga memaksimalkan penempelan langsung secara mandiri. Jika tersedia lubang yang besar, fragmen dapat menempel dengan baik bersama dengan sepotong patahan karang. Setelah 6 bulan, tercatat terjadinya 60% penempelan secara mandiri.
- Berdasarkan studi kasus 3, jarak antara transplan harus diperhatikan terutama dalam hal kompetisi antar koloni dan keterbatasan sumber makanan, dengan koloni karang yang ditanam paling sedikit 50 cm.

Metode tempel

- Metode ini hanya cocok untuk lingkungan rendah energi (lihat subbab 3.4.) dimana berat dari koloni karang bercabang (atau fragmen berukuran besar) cukup untuk menjaga kestabilan sampai dengan transplan menempel dengan sendirinya atau sampai dengan dasar dan dapat bertahan di dalam pasir.
- Jika memungkinkan transplan diletakkan di belakang batu besar dimana mereka dapat berlindung atau bertahan dari arus dan gelombang sampai mereka menempel dengan sendirinya. Akan tetapi, penempelan sendiri memakan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan metode sebelumnya.

Kontraktor:

French Agency of Development (AFD) di bawah program Coral Reef Initiative for the South Pacific (CRISP).

Kebutuhan sumberdaya untuk transplantasi karang

Untuk sekitar 2.000 m² terumbu karang, peningkatan penutupan karang 10-15% : Tim terdiri atas 2 peneliti + 2 asisten lapangan + 1 pengemudi perahu; 1 perahu untuk penyelam bebas (tidak menggunakan SCUBA); pekerjaan lapangan selama 10 hari (60% waktu dialokasikan untuk

Tercatat hanya 35% penempelan sendiri setelah 6 bulan. (metode ini memiliki resiko tertinggi terhadap kesintasan transplan dan jika memungkinkan resiko tersebut harus benar-benar diperhatikan).

- Batu berukuran 30-40 cm yang disisipi di antara dasar koloni transplan karang terbukti efektif memberikan sesuatu untuk menempel bahkan di substrat pasir. Batu tersebut dapat meningkatkan berat dan kestabilan secara keseluruhan serta memberikan jaminan melawan badai.

Metode semen

- Metode ini efektif bagi karang yang tidak dapat dengan mudah ditanamkan ke dalam lubang dan juga bagi karang yang terlalu kecil dan ringan untuk ditempatkan di atas substrat secara langsung tanpa penempelan (koloni yang berbentuk bulat berukuran kecil hingga sedang, koloni masif, dan karang yang sudah dibudidayakan di atas kepingan semen). Tercatat 95% dari transplan menunjukkan penempelan sendiri melalui pemanjangan jaringan di atas semen selama 6 bulan.
- Semen harus benar-benar dan tersimpan secara hati-hati di dalam bungkus plastik dan terbatas di area penempelan. Dengan penanganan hati-hati jangan sampai merusak organisme lain (spons lainnya, moluska, bulu babi dan lain-lain).

Peristiwa Pemutihan

Dua pertiga karang mati dan sepertiga lainnya separuh mati disebabkan peristiwa pemutihan yang terjadi setelah 9 bulan. Karang yang tumbuh alami di sekitar lokasi lebih sedikit menderita. Dari hal tersebut kita dapat mempelajari beberapa hal:

- Lokasi donor dan lokasi transplan harus memiliki kesamaan kondisi lingkungan (gelombang, arus, kedalaman, temperatur, cahaya dan gangguan). Dalam penelitian ini, karang berasal dari laguna bagian luar dan ditransplantasi di sebuah laguna bagian dalam. Walaupun pada awalnya tingkat kelangsungan hidup tinggi, transplan kelihatannya memiliki daya adaptasi yang rendah terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim di laguna bagian dalam. Transplan seharusnya mampu beradaptasi dengan kondisi lingkungan di lokasi restorasi (lihat Panduan Praktik Yang Baik di subbab 3.2. dan 3.5.).
- Kegiatan pemantauan seharusnya dilakukan setidaknya satu tahun penuh untuk melihat pengaruh perubahan musim di lokasi transplantasi. Pertanyaan utama yang mendasar adalah apakah transplan dapat bertahan selama kondisi terburuk setiap tahunnya.

kegiatan restorasi, 40% waktu dialokasikan untuk mendapatkan masukan ilmiah (pemilihan lokasi dan pemantauan dasar); biaya bahan-bahan US\$ 1.300; biaya upah/gaji US\$ 10.000.

Referensi

Job, S., Bowden-Kerby, A., Fisk, D., Khan, Z. and Nainoca, F. (2006). *Progress report on restoration work and Monitoring. Moturiki Island, Fiji. Technical report. Coral Reef Initiative for South Pacific.*

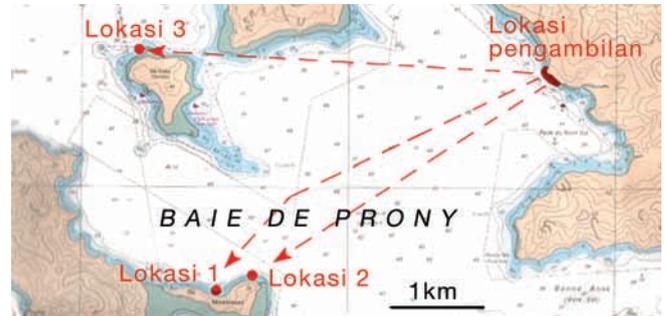
Studi Kasus 5: Transplantasi karang dari Pelabuhan Goro Nickel, New Caledonia

Lokasi

Pantai Prony, New Caledonia (Desember 2005-Januari 2006)

Tujuan

Proyek ini adalah meringankan beban atas perusahaan khusus penambang nikel, Goro Nickel, yang berhubungan dengan pembangunan pelabuhan di area terumbu karang. Tujuan proyek ini ada dua: menyelamatkan koloni-koloni karang yang terancam oleh kegiatan reklamasi dan menggunakan mereka untuk memperbaiki 2.000 m² kerusakan karang. Kesintasan dan pertumbuhan mereka diukur lebih dari 5 tahun.



Metode

- Pemilihan 3 terumbu karang tepi sebagai lokasi transplantasi (salah satunya 1.000 m² dan dua lainnya 500 m²) dimana kondisi lingkungannya sama atau mirip dengan lokasi sumber yang terancam.
- Pengambilan karang kira-kira 2.000 koloni, dari beragam marga dan bentuk pertumbuhan, yang sesuai dengan daerah terumbu karang yang terancam.



Penyemprotan dengan air laut segar ke transplan selama transportasi dari daerah sumber.



Karang yang diselamatkan menunggu ditransplantasi.

- Karang dipindahkan ke dalam kotak plastik yang terpapar udara, tetapi disemprot terus menerus dengan air laut bersih. Waktu pemindahan 20 sampai 30 menit.
- Transplan telah ditempel dengan semen bawah air pada batu karang alami.
- Survei **pemantauan** dilakukan 1 bulan setelah transplantasi dan setelah itu dijadualkan setiap 6 bulan; akan dilanjutkan selama 5 tahun. Pemantauan meliputi:
 - Kesintasan
 - Penilaian tutupan karang dari waktu ke waktu dengan transek garis sepanjang 20 m (10 ulangan untuk daerah 1.000 m², 5 ulangan untuk 2 daerah 500 m²)
 - Kolonisasi daerah transplantasi oleh ikan dan avvertebrata (diukur dengan menggunakan transek sabuk 50 m x 4 m dan 20 m x 2 m) menggunakan 10 ulangan untuk daerah 1.000 m² dan 5 ulangan untuk daerah 500 m².

Pembelajaran

- Secara keseluruhan rata-rata ketahanan setelah 9 bulan mendekati 90% menunjukkan bahwa pemilihan lokasi transplan yang didasari kemiripan kedalaman, pH, salinitas, kekeruhan, suhu dan geomorfologi telah efektif.
- Dimungkinkan pemindahan karang di udara terbuka kurang lebih 30 menit, asalkan mereka disemprot terus menerus dengan air laut bersih. Transplan tidak memperlihatkan tanda-tanda stres (contoh; mengeluarkan lendir berlebihan atau mengarah kepada kematian) karena terpapar udara terbuka selama 30 menit [lihat Harriot and Fisk (1995)]. Bagaimanapun, sebagai rekomendasi di subbab 3.8., disarankan untuk mengurangi stres dan menutupi karang dari sinar matahari langsung dan merendam karang di dalam air laut ketika pemindahan.
- Di salah satu lokasi, sebagian transplan mengalami pemangsa oleh bulu seribu (*Acanthaster planci*) dan bantal raja (*Culcita*) - 30% mati, 20% mengalami mati sebagian. Pada saat pemantauan, penting untuk menghilangkan pemangsa untuk meningkatkan kesintasan.

- Semen bawah air cocok untuk menempelkan transplan dengan kurang dari 5% transplan yang terlepas atau hilang di akhir kegiatan transplantasi. Selain itu setengah koloni telah tumbuh di atas dasar semen mereka dalam 5 bulan.
- Transplan karang bercabang *Acropora* telah dikolonisasi oleh anak-anak ikan sampai beberapa bulan menunjukkan fungsinya dalam rekrutmen ikan.

Kontraktor: Goro Nickel, Perusahaan penambang nikel

Kebutuhan sumberdaya untuk transplantasi 2.000 koloni

Untuk 3 lokasi total 2.000 m² terumbu karang: Tim terdiri atas 3 penyelam (ahli biologi laut), 1 asisten lapangan (menyiapkan di permukaan dan membantu dengan logistik), 1 perahu; alat penyelaman SCUBA; pekerja lapangan selama 25 hari (1/3 untuk persiapan lapangan, logistik, dan transportasi lokal; 2/3 untuk kegiatan restorasi - pemilihan lokasi, pengambilan, transplantasi, dan pemantauan awal); biaya bahan; US\$ 17.000; biaya upah/gaji US\$ 45.000.

Referensi

Job, S. (2006). *Transplantation des coraux du port de Goro Nickel et suivi de l'operation. Rapport technique*. SPRONER-GINGER.

6. Daftar pustaka

Cesar, H.S.J. (ed.) (2000). *Collected Essays on the Economics of Coral Reefs*. CORDIO, Sweden. 244 pp.

Clark, S. (2002). Ch. 8. Coral reefs, p. 171-196, in M.R. Perrow and A.J. Davy (eds.) *Handbook of Ecological restoration. Volume 2. Restoration in Practice*. Cambridge University Press, Cambridge. 599 pp.

English, S. Wilkinson, C. and Baker, V. (1997). *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. 2nd Edition. Australian Institute of Marine Science, Townsville.

Harriott, V.J. and Fisk, D.A. (1995). Accelerated regeneration of hard corals: a manual for coral reef users and managers. *Great Barrier Reef Marine Park Authority Technical Memorandum*: 16, 42 pp. [see www.gbrmpa.gov.au/corp_site/info_services/publications/tech_memorandums/tm016/]

Heeger, T. and Sotto, F. (eds.) (2000). *Coral Farming: A Tool for Reef Rehabilitation and Community Ecotourism*. German Ministry of Environment (BMU), German Technical Cooperation and Tropical Ecology program (GTZ-TÖB), Philippines. 94 pp.

Job, S., Schrimm, M. and Morancy, R. (2003). *Reef Restoration: Practical guide for management and decision-making*. Carex Environnement, Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, IFRECOR. 32 pp.

Maragos, J.E. (1974). Coral transplantation: a method to create, preserve and manage coral reefs. Sea Grant Advisory Report UNIH-SEAGRANT-AR-74-03, CORMAR-14, 30 pp.

Miller, S.L., McFall, G.B. and Hulbert, A.W. (1993). *Guidelines and recommendations for coral reef restoration in the Florida Keys National Marine Sanctuary*. National Undersea Research Center, University of North Carolina, at Wilmington. 38 pp.

Omori, M. and Fujiwara, S. (eds.) (2004). *Manual for restoration and remediation of coral reefs*. Nature Conservation Bureau, Ministry of Environment, Japan. 84 pp.

Precht, W.F. (ed.) (2006). *Coral Reef Restoration Handbook*. CRC Press, Boca Raton. 63 pp.

Richmond, R.H. (2005). Ch. 23. Recovering populations and restoring ecosystems: restoration of coral reefs and related marine communities, p. 393-409, in E.A. Norse and L.B. Crowder (eds.) *Marine Conservation Biology: the Science of Maintaining the Sea's Biodiversity*. Island Press, Washington DC. 470 pp.

Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. (2004). *The SER International Primer on Ecological Restoration*. www.ser.org and Society for Ecological Restoration International, Tucson. 13 pp. [see www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp]

Whittingham, E., Campbell, J. and Townsley, P. (2003). *Poverty and Reefs*. DFID-IMM-IOC/UNESCO. 260 pp.





Kredit fotografi

Kami ingin mengucapkan terima kasih kepada kolega dan organisasi yang memberikan ijin untuk memproduksi ulang foto mereka dalam petunjuk ini;

Akajima Marine Science Laboratory (AMSL): h. 16 (bawah, foto kiri), h.17 (*Trochus*), h. 18 (atas kanan-2 gambar), h.37 (ujung *Acropora* bercabang dewasa);
Australian Institute of Marine Science (AIMS): h. 16 (foto bawah, kiri);
Patrick Cabaitan: h.19 (tengah kiri-2 gambar), h.22;
Carex Environnement: h.24, h.28, h.32 (2 Gambar), h.22;
Coral Reef Initiative for the South Pacific (CRISP): h.ii (bawah kiri), h.20 (bawah-2 gambar), h.34 (2 gambar);
Goro Nickel, New Caledonia: h.19 (tengah kiri), h. 36 (2 gambar);
Nick Graham: Gambar 1 dan 2 (terumbu sehat), gambar 5 (terumbu rusak), sampul belakang belakang (Blue tangs);
James Guest: sampul depan (Foto utama), h.i dan ii (*Drupella*), gambar 5 (*Acanthaster*), h.17 (foto tengah kiri), h.25 (bulu seribu, *Coralliophila*, *Phestilla*), sampul belakang (*Protoreaster*);
Andrew Heyward: h.17 (foto tengah, kiri), h.17 (penempelan *Acropora*), h.18 (atas kiri);
Sandrine Job: gambar 1 dan 2 (terumbu rusak), h.9, h.25 (*Culcita*);
Tadashi Kimura: Cover belakang (*Porites* terbalik oleh tsunami 2004);
Gideon Levy: h.15; Gambar 7 (pengambilan dari karang, transplantasi pada terumbu rusak);
Nippon Phongsuwan: h.11 (kiri), latar belakang untuk Panduan Praktik Yang Baik, h.14, h.27, h.38 (atas);
Sakanan Plathong: h.10,h.11 (kanan);
Shai Shafir: Gambar 7 (budidaya *ex-situ* dan *in-situ*), h.16 (atas kiri dan kanan), h.37 (foto 2 kiri dan 2 kanan), Cover Belakang (pertama, keempat, dan kelima foto dalam kotak);
Ernesto Weil: latar belakang papan pesan, sampul belakang (Foto Utama Elkhorn Coral);

Foto lain: Alasdair Edwards.

Kontak e-mail

Bab 1-4

Alasdair Edwards: a.j.edwards@newcastle.ac.uk

Edgardo Gomez: edgomez@upmsi.ph

Bab 5

Sandrine Job: Sandrine.job@soproner.nc

CRTR Program

Melanie King, Executive Officer, Project Executing Agency:

m.king4@uq.edu.au

Andy Hooten, Synthesis Panel Executive Secretary dan US Coordinator:

ajh@environmentsservices.com

CRISP Program

Eric Clua, CRISP Manager: EriscC@spc.int

Keterbatasan

Informasi yang terdapat dalam publikasi ini ditujukan untuk penggunaan secara umum, membantu meningkatkan pengetahuan masyarakat, dan meningkatkan pengelolaan berkelanjutan terumbu karang dan ekosistem terkait lainnya. Buku ini berisi pernyataan ilmiah umum berdasarkan penelitian. Pembaca disarankan dan harus sadar jika informasi dalam buku ini dapat tidak lengkap atau tidak sesuai untuk kondisi tertentu. Sebelum melangkah lebih lanjut berdasarkan informasi dalam buku ini, pembaca harus mencari pendapat para pakar, ilmuwan, dan penasehat teknis.

Hingga batas yang sesuai dengan hukum the Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Program berikut mitra-mitranya, (termasuk karyawan dan konsultan) dan para penulis tidak bertanggung jawab dalam bentuk apapun terhadap hasil yang didapat seseorang karena bergantung pada isi buku ini.



The Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management (CRTR) Program adalah sebuah inisiatif riset internasional terdepan yang menyediakan pendekatan yang terkoordinasi untuk pengetahuan yang kredibel, faktual, dan terbukti secara ilmiah bagi peningkatan pengelolaan terumbu karang. CRTR adalah program kemitraan penelitian dan peningkatan kapasitas yang proaktif yang bertujuan untuk memberikan dasar dalam mengisi celah pengetahuan yang penting dalam riset utama pemutihan karang, konektivitas, penyakit karang, restorasi dan remediasi karang, penginderaan jauh, dan pemodelan serta pendukung kebijakan. Setiap area riset difasilitasi oleh kelompok kerja di bawah berbagai peneliti terumbu terdepan di dunia. CRTR juga mendukung empat *Centres of Excellence* pada kawasan prioritas (Asia Tenggara, Meso Amerika, Afrika Timur, dan Australia/Pasifik), yang menjadi pusat regional untuk membangun kepercayaan dan kemampuan dalam riset, pelatihan, dan peningkatan kapasitas

Kunjungi CRTR di: www.gefcoral.org



The initiative for the protection and management of the coral reefs of the South Pacific (CRISP) yang dimotori oleh Prancis, bertujuan untuk mengembangkan visi ke depan tentang ekosistem unik dan manusia yang bergantung padanya. CRISO bertujuan untuk menempatkan strategi dan proyek pelestarian keanekaragaman hayati terumbu dan pengembangan ekonomi dan jasa lingkungan yang ditawarkan, baik secara lokal maupun global. Diantara yang lain, program ini menekankan pentingnya peningkatan kemampuan masyarakat lokal dalam restorasi terumbu dan mengelola ekosistem terumbu karang melalui komponen 2B, berdasarkan kerjasama antara operator Prancis SPI-INFRA dan sebuah LSM di Pasifik FSPI (*Foundation for the South Pacific People International*).

Kunjungi CRISP di: www.crisponline.net



Yayasan Terumbu Karang Indonesia (TERANGI) didirikan pada bulan September 1999. Terangi merupakan yayasan nirlaba yang bertujuan mendukung konservasi dan pengelolaan sumberdaya terumbu karang Indonesia secara berkelanjutan. Visi TERANGI adalah "Terbentuknya masyarakat yang dapat mengelola sumberdaya terumbu karang secara terpadu dan berkelanjutan untuk menghindarkan terjadinya kerusakan, pemborosan, dan hilangnya sumberdaya terumbu karang yang disebabkan oleh pengambilan yang berlebihan, penggunaan yang merusak, dan ketidakpedulian". TERANGI bekerja melalui 6 program, yaitu program penelitian terumbu karang, program kebijakan terumbu karang, program pusat data dan informasi terumbu karang, program pendidikan dan pelatihan, program penyadaran masyarakat, dan program pengelolaan sumber daya terumbu karang.

Kunjungi Yayasan TERANGI di: www.terangi.or.id

Riset tentang restorasi terumbu yang dilakukan program CRTR di Filipina, Palau, dan Meksiko, merupakan proyek berbasis masyarakat untuk memulihkan dan mengelola ekosistem terumbu karang yang dilakukan sebagai bagian dari program CRISP di Pasifik Selatan. Lebih lanjut lagi, anggota CRISP memiliki pengalaman luas tentang proyek restorasi terumbu di Indo-Pasifik, dari Mayotte ke Polynesia Prancis. Kerjasama dari CRTR dan CRISP dalam bab 5 dalam "pembelajaran dari proyek restorasi" menambah studi kasus dan pengalaman berharga untuk panduan secara luas. Buku yang lebih lengkap akan disiapkan pada akhir 2008 berjudul *Reef Restoration Manual*. Panduan praktis ini tidak hanya akan mensintesis keluaran restorasi terumbu dari CRTR dan CRISP, tapi juga yang dilakukan Komisi Eropa yang didanai oleh proyek REEFRES (berjudul "*Developing ubiquitous practices for restoration of Indo-Pacific reefs*") berikut dengan ringkasan pengetahuan yang terdahulu.