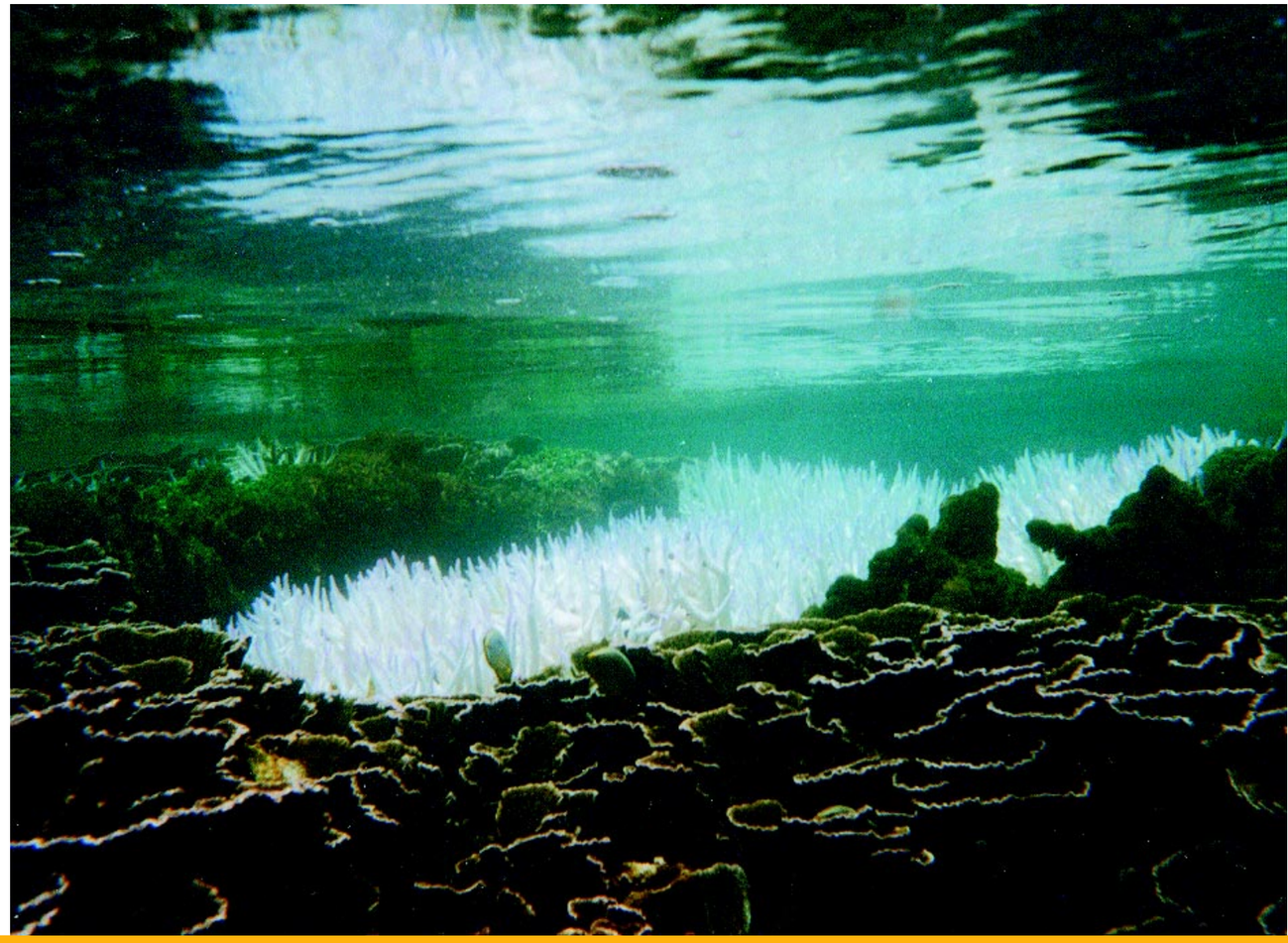
Pengelolaan Terumbu Karang yang Telah Memutih dan Rusak Kritis

Susie Westmacott, Kristian Teleki, Sue Wells dan Jordan West

Diterjemahkan oleh Jan Henning Steffen



IUCN – Badan Konservasi Dunia / The World Conservation Union

Didirikan tahun 1948, Badan Konservasi Dunia bekerja sama dengan negara, badan pemerintahan dan berbagai organisasi non-pemerintah di dalam hubungan yang unik di dunia: terdiri lebih dari 950 anggota, yang tersebar di 139 negara.

Sebagai satu badan, IUCN bertujuan untuk mempengaruhi, memberi semangat dan membantu masyarakat di seluruh dunia untuk melindungi integritas dan keanekaragaman alam dan memastikan bahwa penggunaan sumber daya alam seimbang dan berkelanjutan secara ekologis.

Berdasarkan kekuatan anggota-anggotanya, jaringan dan mitra kerja, Badan Konservasi Dunia meningkatkan kapasitas mereka dan mendukung aliansi dunia untuk menjaga sumber daya alam pada tingkat lokal, wilayah dan global.

IUCN Publications Services Unit
219c Huntingdon Road,
Cambridge CB3 0DL, UK
Tel: +44 1223 277894
Fax: +44 1223 277175
E-mail: info@books.iucn.org
WWW: http://www.iucn.org

IUCN
The World Conservation Union

CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY

USAID

WWF

IUCN
The World Conservation Union

Informasi Umum Organisasi-Organisasi

Konvensi Keanekaragaman Hayati (*The Convention on Biological Diversity*) adalah perjanjian internasional yang bersifat mengikat yang ditandatangani pada Pertemuan Bumi (*the Earth Summit*) di Rio de Janeiro 1992 dan diberlakukan tahun 1993. Hanya inilah satu-satunya perjanjian dunia yang ditujukan pada tiga tingkat keanekaragaman hayati : sumber-sumber daya genetik (plasma nutfah), jenis dan ekosistem. Konvensi ini juga yang pertama kali menyadari bahwa pelestarian keanekaragaman hayati merupakan kepentingan bersama umat manusia, sehingga investasi dalam pelestarian keanekaragaman hayati akan membuahkan keuntungan-keuntungan sosial, ekonomi dan lingkungan, dan juga pembangunan ekonomi, sosial dan pemberantasan kemiskinan merupakan prioritas utama.

Oleh karena itu, konvensi ini merupakan komponen utama komitmen negara-negara di dunia untuk mengimplementasikan kebijakan pembangunan berkelanjutan. Ketiga tujuan dari konvensi ini adalah untuk melestarikan keanekaragaman hayati, pemanfaatan komponen-komponen keanekaragaman hayati secara berkelanjutan dan membagi rata keuntungan penggunaan sumber-sumber daya genetik.

Lebih dari 175 negara dan Masyarakat Uni Eropa (*European Community*) telah meratifikasi konvensi ini. Mereka telah menyatakan komitmennya untuk membangun strategi-strategi dan rencana kerja dari keanekaragaman hayati nasional dan memadukan pemanfaatan dan pelestarian yang berkelanjutan dari keanekaragaman hayati dalam pembuatan kebijakan diseluruh sektor ekonomi.

The United States Agency for International Development (USAID) adalah suatu badan milik pemerintah Amerika Serikat yang bertanggung jawab di bidang kemanusiaan dan membantu pembangunan di seluruh dunia. Program-program USAID mendukung pembangunan berkelanjutan, menyediakan bantuan ekonomi, membangun kapasitas manusia dan pemerintahan yang demokratis, dan menyediakan bantuan untuk bencana luar negeri. Program-program lingkungan mempunyai komitmen untuk meningkatkan pelestarian ekosistem-ekosistem penting, mengurangi ancaman akibat perubahan iklim dunia dan menggalakkan pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan.

Untuk informasi lebih lanjut hubungi http://www.usaid.gov. Buku ini dibuat dengan bantuan dari Pusat Lingkungan Dunia USAID (*Global Environment Center of USAID*). Pendapat-pendapat yang dimuat di buku ini adalah pendapat pribadi para penulis dan bukan merupakan pendapat USAID.

WWF, *The World Wide Fund for Nature* adalah LSM berpengalaman, mandiri dan besar di bidang konservasi, dengan anggota sebanyak 4,7 juta dan jaringan kerja aktif secara global di 96 negara. WWF dikenal sebagai *World Wildlife Fund* di Kanada dan Amerika Serikat.

Tujuan program pelestarian laut WWF adalah:

- Menjaga keanekaragaman hayati dan proses ekologi ekosistem laut and pesisir
- Menjamin pemanfaatan sumber daya laut yang berkelanjutan dan seimbang
- Mengembalikan ekosistem pesisir dan laut dimana fungsinya telah dirusak

Baru-baru ini WWF mendirikan prakarsa *CoralWeb* atau Jaringan Karang "Pelaksanaan Ekosistem Terumbu Karang (*Coral Reef Ecosystems in Action*)" untuk melestarikan ekosistem-ekosistem terumbu karang yang luar biasa dan keanekaragaman hayati mereka. *CoralWeb* mencari penyelesaian krisis yang dihadapi terumbu karang dari sudut pandang "ekoregion" dengan pertimbangan faktor-faktor ekologi, ekonomi, sosial dan kebijakan.

Pengelolaan Terumbu Karang Yang Telah Memutih Dan Rusak Kritis

Susie Westmacott, Kristian Teleki, Sue Wells dan Jordan West

Diterjemahkan oleh Jan Henning Steffen

IUCN
The World Conservation Union

CONVENTION ON
BIOLOGICAL
DIVERSITY

USAID

WWF

Penamaan geografi yang ada dalam buku ini dan tampilan bahan-bahannya bukan berarti menunjukan pendapat apapun dari IUCN yang berhubungan dengan status hukum dari satu negara, daerah hukum, atau wilayah, atau dari kekuasaan mereka, atau yang berhubungan dengan berkurangnya perbatasan tersebut.

Pandangan-pandangan dalam publikasi ini merupakan pandangan dari para penulis dan bukan mencerminkan pandangan dari IUCN atau organisasi lain yang turut berpartisipasi.

Diterbitkan oleh: IUCN, Gland, Swiss, dan Cambridge, Inggris.

IUCN
The World Conservation Union

Hak cipta: © 2000 International Union for Conservation of Nature and Natural Resources

Reproduksi dari publikasi ini untuk tujuan pendidikan dan non-komersil lain diperbolehkan tanpa izin tertulis sebelumnya dari pemegang hak cipta, jika seluruh sumber disebutkan.

Reproduksi dari publikasi ini untuk penjualan kembali atau untuk tujuan komersil dilarang tanpa izin tertulis sebelumnya dari pemegang hak cipta.

Kutipan: Westmacott, S., Teleki, K., Wells, S. dan West. J. M. (2000) *Pengelolaan terumbu karang yang telah memutih dan rusak kritis.* IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. vii + 36 pp.

ISBN: 2-8317-0569-X

Foto Sampul: Sampul Depan: Karang memutih, Srilangka (Arjan Rajasuriya). Sampul Belakang: ARVAM.

Diterjemahkan oleh: Jan Henning Steffen dan TERANGI – Yayasan Terumbu Karang Indonesia, Jakarta, Indonesia

Diproduksi oleh: The Nature Conservation Bureau Ltd, Newbury, Inggris

Dicetak oleh: Information Press, Oxford, Inggris.

Tersedia di: IUCN Publications Services Unit
219c Huntingdon Road, Cambridge CB3 0DL, UK
Tel: +44 1223 277894, Fax: +44 1223 277175
E-mail: info@books.iucn.org
WWW: http://www.iucn.org
Katalog dari publikasi IUCN juga tersedia.

Teks dari buku ini dicetak di atas 115 gsm (gram per meter per segi) "Zone Silk", yang mempunyai nilai bintang empat menurut sistem "Eco-Check" dan terbuat dari 100% sumber serat dengan proses bebas chlor.

Daftar Isi

iv Yang Patut Diketahui

iv Daftar Singkatan

v Prakata

vi Penjelasan Singkat

1 Pendahuluan

3 Pemutihan Karang
3 Apakah pemutihan karang itu?
4 Apa penyebab terjadinya pemutihan karang?
5 Dimana saja pemutihan karang telah terjadi?

7 Ancaman-ancaman Lain Terhadap Terumbu Karang

9 Apakah yang Akan Terjadi di Masa Mendatang?
9 Kemampuan pemulihan terumbu karang
10 Perubahan iklim dunia dan terumbu karang

12 Kenapa Terumbu Karang yang Rusak Tetap Harus Dikelola?

14 Daerah Perlindungan Laut dan Terumbu yang Rusak
14 Peranan daerah perlindungan laut (DPL)
14 Tindakan-tindakan pengelolaan

16 Perikanan dan Pemutihan Karang
16 Bagaimana perubahan hasil perikanan pada terumbu karang yang rusak
18 Tindakan-tindakan pengelolaan

19 Pariwisata dan Pemutihan Karang
19 Tindakan-tindakan pengelolaan

23 Pengelolaan Pesisir Terpadu dan Pemutihan Karang
24 Tindakan-tindakan pengelolaan

26 Tehnik-tehnik Restorasi
28 Tindakan-tindakan pengelolaan

29 Monitoring dan Penelitian
29 Monitoring
30 Penelitian

31 Menangani Temi Perubahan Iklim Dunia – Tantangan Sangat Penting

32 Referensi dan Sumber Bahan-bahan
32 Pemutihan karang, perubahan iklim dan pemuliahan terumbu
33 Pengelolaan terumbu karang yang putih da telah rusak kritis
35 Situs internet

36 Alamat-alamat Penting

Yang Patut Diketahui

Buku ini berhasil dibuat atas bantuan dari Konvensi Keanekaragaman Hayati dan IUCN – Amerika Serikat (keduanya dibantu oleh Kementerian Dalam Negeri Amerika), WWF-Swedia, WWF-Program Tanzania (Proyek Ekoregion Laut Afrika Timur) dan USAID. Institusi-institusi ini menyadari pentingnya penyebaran informasi tentang peningkatan jumlah penemuan dan teori-teori ilmiah kepada pihak-pihak yang berkepentingan dalam peristiwa pemutihan karang tahun 1998. Aksi dan dukungan segera merekalah yang membuat kami mampu menghasilkan buku ini dalam waktu singkat daripada menunggu sampai akhirnya terlambat. Buku ini dikembangkan dari kerja dan hasil para ilmuwan dalam program CORDIO. Ini merupakan sumber yang berharga bagi kami se bagaimana pula beberapa hasil penelitian lainnya yang disumbangkan oleh para peneliti sebelum hasilnya resmi dipublikasikan. IUCN Kantor Regional Afrika Timur, bekerjasama dengan IUCN – Amerika Serikat, mengatur kegiatan produksi buku ini dan kami sangat menghargai dukungan mereka.

Rancangan pertama tulisan ini telah dikaji ulang oleh banyak kalangan dan komentar mereka sebaik mungkin telah dimasukkan kedalam versi terakhirini. Opini mereka tidak saja sangat dihargai dan berguna tetapi juga telah memberikan wawasan yang lebih luas dalam menyebarkan pesan kami. Terimakasih kami haturkan kepada orang-orang berikut: Riaz Aumeeruddy, Barbara, Best, Martin Callow, Julie Church, Herman Cesar, Stephen Colwell, Helen Fox, Patty Glick, Edmund Green, Thomas Heeger, Gregor Hodgson, Irene, Kamau, Olof Linden, Tim McClanahan, Rolph Payet, Arthur Paterson, Lida Pet Soede, Rod Salm, Lothar Schillak, Charles Sheppard, Paul Siegel, Mark Spalding, Al Strong, Alan White. Terima kasih juga kami haturkan kepada Jean Pascal Quod, Arjan Rajasuriya dan Thomas Heeger yang telah menyediakan tambahan-tambahan foto dan Virginia Westmacott untuk ilustrasi, Jeffrey Naganya, Amina Abdallah dan para staf IUCN Kantor Regional Afrika Timur dan para staf di Unit Penelitian Pesisir Cambridge (*Cambridge Coastal Research Unit*) yang telah membantu dalam administrasi dan logistik.

Daftar Singkatan

CBD	Convention on Biological Diversity / Konvensi Keanekaragaman Hayati
CITES	Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora / Konvensi Perdagangan Internasional Flora dan Fauna Liar Yang Hampir Punah
COP	Conference of the Parties / Konferensi Para Pihak
CORDIO	Coral Reef Degradation in the Indian Ocean / Degradasi Terumbu Karang di Samudera Hindia
EIA	Environmental impact assessment / Evaluasi Dampak Lingkungan
GBR	Great Barrier Reef, Australia
GCRMN	Global Coral Reef Monitoring Network / Jaringan Kerja Monitoring Terumbu Karang Global
ICM	Integrated Coastal Management / Pengelolaan Pesisir Terpadu
ICRI	International Coral Reef Initiative / Prakarsa Terumbu Karang Internasional
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change / Panel Antar Pemerintahan Untuk Perubahan Iklim
MPA	Marine Protected Area / Daerah Perlindungan Laut (DPL)
NGO	Non Governmental Organisation / Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM)
SBSTTA	Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice of the CBD / Badan Tambahan CBD Untuk Bantuan Teknologi, Tehnik dan Ilmiah
SIDA/SAREC	Swedish International Development Agency Research Programme / Program Penelitian Badan Pengembangan Internasional Swedia
SST	Sea Surface Temperature / Suhu Permukaan Laut
UNEP	United Nations Environment Programme / Program Lingkungan Persatuan Bangsa-Bangsa
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change / Kerangka Kerja Untuk Konvensi Perubahan Iklim Persatuan Bangsa-Bangsa

Prakata

Terumbu karang adalah salah satu ekosistem yang sangat terancam didunia. Sebanding dengan hutan hujan dalam keanekaragaman hayatinya dan merupakan sumber keuntungan ekonomi yang besar dari perikanan dan pariwisata, ekosistem terumbu karang adalah salah satu kepentingan dunia. Selain itu, karang memegang fungsi penting di negara-negara berkembang, khususnya di negara-negara kepulauan berkembang.

Hingga kini, tekanan yang disebabkan oleh kegiatan manusia-seperti pencemaran dari daratan dan praktek perikanan yang merusak- telah dianggap sebagai bahaya utama untuk terumbu karang. Sementara masalah-masalah ini belum hilang, selama dua dekade terakhir telah muncul ancaman lain yang lebih potensial. Terumbu karang telah terpengaruh dengan naiknya tingkat kemunculan dan kerusakan karena pemutihan karang (*Coral Bleaching*), yaitu suatu fenomena sehubungan adanya aneka tekanan, khususnya kenaikan suhu air laut. Pemutihan yang parah dan lama dapat perluasan kematian karang dan peristiwa kematian dan pemutihan terumbu yang aneh di tahun 1998 telah mempengaruhi sebagianbesar daerah terumbu karang di kawasan Indo-Pasifik.

Konsultasi ahli di bidang pemutihan karang yang diselenggarakan oleh Sekretariat Konvensi Keanekaragaman Hayati tahun 1999, mempunyai bukti penting dimana perubahan iklim merupakan penyebab utama peristiwa pemutihan saat ini. Apabila perubahan iklim ini terus berlanjut seperti diperkirakan, peristiwa pemutihan akan menjadi lebih sering dan parah nantinya, sehingga meningkatkan resiko bagi terumbu karang.

Perlindungan bagi karang yang tersisa, termasuk yang telah rusak parah, adalah penting sekali jika menginginkan ekosistem karang berada di tingkat pemulihan yang maksimal. Perlindungan ini harus termasuk pemindahan dampak manusia yang dapat mengakibatkan kerusakan atau yang dirusakkan oleh pemutihan. Bukti- bukti pendukung dari studi jangka panjang menyarankan penyembuhan terumbu karang dari efek besar pemutihan, jika masalah-masalah tertentu dihilangkan atau disingkirkan. Pengelolaan lingkungan secara hati-hati dan pemeliharaan kondisi yang terbaik adalah penting untuk membantu pemulihan karang di masa depan.

Konperensi pihak-pihak untuk Konvensi Keanekaragaman Hayati pada pertemuan kelima bulan Mei 2000, memutuskan untuk memasukkan ekosistem terumbu karang dalam program kerjanya di bidang keanekaragaman hayati laut dan pesisir. Mereka juga menghimbau kepada para pihak, pemerintah-pemerintah lain dan badan-badan terkait (seperti "*United Nations Framework on Climate Change*") untuk mengimplementasikan serangkaian ukuran-ukuran sebagai jawaban dari fenomena pemutihan karang, degradasi fisik dan perusakan terumbu karang, termasuk penelitian, pembangunan kapasitas, partisipasi masyarakat dan pendidikan.

The World Conservation Union (IUCN) dan *The World-Wide Fund for Nature* (WWF) sedang melaksanakan sejumlah prakarsa yang berkaitan dengan pengelolaan terumbu karang, baik di lapangan di seluruh dunia dan di arena kebijakan politik regional dan internasional.

Program Degradasi Terumbu Karang di Samudera Hindia (CORDIO) (disponsori oleh Swedia, Finlandia, Belanda dan Bank Dunia) adalah salah satu usaha untuk mengumpulkan informasi implikasi di bidang biologi dan sosio-ekonomi dari pemutihan karang secara masal, dan telah menghasilkan sejumlah informasi penting yang banyak dipakai untuk mengembangkan pengelolaan intervensi. Dana Bantuan Amerika untuk Pembangunan Internasional (USAID) bertujuan membantu negara-negara berkembang untuk melindungi daerah-daerah pesisirnya dan menyadari bahwa konservasi dan penggunaan yang bijaksana dari sumber terumbu karang adalah penting guna pembangunan ekonomi yang berkelanjutan. Menuju kearah tersebut, USAID bekerja di lebih dari 20 negara dalam proyek-proyek yang langsung mempromosikan perlindungan ekosistem terumbu karang melalui pembangunan kapasitas dalam pengelolaan pesisir terpadu; memperkuat daerah-daerah taman dan perlindungan; preservasi habitat dan keanekaragaman hayati; dan perikanan dan pariwisata yang berlangsungan.

Sekretariat Konvensi Keanekaragaman Hayati, IUCN,WWF, Program CORDIO dan USAID, berasosiasi dengan Prakarsa terumbu Karang Internasional memutuskan untuk memproduksi buku ini bagi Pengelolaan Terumbu Karang yang telah putih dan rusak parah. Usaha bersama ini menjawab pertanyaan terberat: "Apa yang dapat diperbuat terhadap pemutihan terumbu dan kerusakan lain pada terumbu karang?". Tujuan buku ini adalah sebagai bimbingan bagi para pengelola lokal, pembuat keputusan, dan para pihak terkait lainnya tentang pendekatan pengelolaan yang tepat untuk terumbu karang yang telah rusak parah karena pemutihan atau sebab lainnya. Sementara informasi ilmiah tidak mencukupi untuk saran yang akurat, jelaslah bahwasanya pengetahuan yang ada saat ini harus dialihkan kepada pihak yang berada dalam kedudukan yang tepat untuk menyelamatkan sumber-sumber yang tersisa dan menstimulasi penyembuhan.

Kami berharap publikasi ini mampu memberikan kontribusi untuk tindakan pengelolaan yang efektif dan cepat guna membantu perlindungan dan regenerasi terumbu, dan membantu penelitian untuk mengembangkan alat-alat dan ukuran-ukuran yang diperlukan agar tercapai sukses untuk jangka panjang. Sebagai tambahan, kami berharap dapat digunakan untuk meningkatkan kesadaran akan pentingya mengambil setiap langkah yang mungkin sehingga efek perubahan iklim terhadap terumbu karang dapat dikurangi.

Hamdallah Zedan
Sekretari s Eksekutif
Konvensi Keanekaragaman Hayati
(*Convention on Biological Diversity*)

Scott A. Hajost
Direktur Eksekutif
IUCN-US

Cathy Hill
Direktur Program Kelautan dan Pesisir
WWF-Swedia

David F. Hales
Asisten Administrasi dan Direktur Pusat Lingkungan Dunia
USAID

Penjelasan Singkat

Buku ini dibuat sebagai bimbingan bagi para pengelola, pembuat keputusan dan semua pihak yang peduli akan penurunan kondisi terumbu karena pemutihan karang dan serangkaian sebab lain.

Pemutihan karang terjadi karena suhu permukaan laut dan tingkat sinar ultraviolet matahari yang tinggi, sehingga mempengaruhi psikologi karang dan menimbulkan efek pemutihan yang disebut *bleaching*. Penyebabnya adalah menghilangnya alga yang bersimbiosis (*zooxanthellae*) yang merupakan tempat bergantungnya polip karang untuk mendapatkan makanan. Keadaan pemutihan yang terlalu lama (lebih dari 10 minggu) dapat menyebabkan kematian polip karang pada akhirnya.

Tingginya suhu air yang berkepanjangan (antara 1 hingga 2° C diatas batas normal) selama tahun 1998 mengakibatkan peristiwa pemutihan yang terluas yang pernah tercatat. Samudera Hindia adalah salah satu daerah yang paling buruk terpengaruh, dengan kematian karang sebanyak 90% meliputi kawasan terumbu yang luas. Daerah Pasifik dan Karibia juga terpengaruh, tapi tingkat kematian karang yang terjadi tidak sebanyak itu.

Dampak manusia lainnya terus mengancam kelangsungan terumbu karang. Perkembangan daerah pesisir, penggunaan lahan yang tak terencana, eksploitasi sumber daya laut yang berlebihan dan metode penangkapan ikan yang merusak—juga pembuangan limbah dan polusi dari kapal-kapal—semua berefek negatif bagi keadaan terumbu karang. Seluruhnya terutama bila digabungkan dengan meningkatnya pemutihan karang menimbulkan ancaman yang serius untuk kelangsungan hidup terumbu karang dunia.

Panel Antar Pemerintahan untuk Perubahan Iklim (IPCC) telah memperkirakan kenaikan suhu permukaan air laut antara 1– 2°C hingga satu abad mendatang, kejadian pemutihan karang seperti ini akan menjadi peristiwa biasa pada waktu 30-50 tahun mendatang. Sehingga diperlukan taktik pengelolaan untuk menyelamatkan terumbu karang seperti dibawah ini:

1. **Daerah Perlindungan Laut (DPL)** akan berperan penting dengan membantu menjaga sumber-sumber larva karang dari daerah-daerah yang telah rusak. DPL dapat pula melindungi daerah-daerah dimana karang tengah berusaha untuk mengkolonisasi kembali daerah-daerah yang rusak. Tindakan-tindakan pengelolaan berkaitan dengan DPL yang dapat membantu regenerasi terumbu karang termasuk:
   - Mengidentifikasi daerah-daerah karang yang tidak seberapa rusak dalam DPL dan meninjau ulang, dan jika perlu memperbaiki skema zonasi dan perbatasan-perbatasan untuk menjamin bahwa terumbu yang sehat dilindungi dengan ketat..
   - Memastikan bahwa DPL yang ada dikelola secara efektif.
   - Mengembangkan pendekatan yang lebih strategis untuk memulai sistem DPL, termasuk pertimbangan akan sumber-sumber yang terpakai dan terbuang, rangkaian wilayah geografis yang tersebar luas dan variasi DPL.

2. **Perikanan di terumbu karang** dapat berdampak negatif bagi terumbu karang dengan tingkat kematian yang tinggi dan sedang kehilangan struktur fisiknya (dan karenanya tidak mampu menopang keragaman dan kelimpahan komunitas ikan). Pendekatan pencegahan dapat dilakukan dengan memperhatikan hal-hal berikut dibawah ini:
   - Mendirikan zona dilarang memancing dan pembatasan peralatan memancing untuk melindungi kawasan berkembang biak dan menyediakan tempat perlindungan untuk ikan.
   - Mempertimbangkan langkah-langkah perlindungan tertentu untuk jenis yang dapat membantu regenerasi terumbu, seperti pemakan alga, atau yang terpengaruh akibat pemutihan karang contohnya ikan pemakan karang.
   - Memberlakukan peraturan larangan praktek penangkapan ikan yang merusak.
   - Mengawasi komposisi dan ukuran penangkapan untuk mengevaluasi kesuksesan strategi pengelolaan dan mengimplementasikan strategi baru bila perlu.
   - Mengembangkan daerah kehidupan alternatif bagi komunitas nelayan bila perlu .
   - Membatasi masuknya nelayan baru yang diatur melalui sistem perizinan.
   - Mengatur pengambilan karang untuk perdagangan cinderamata dan akuarium.

3. **Pariwisata** di daerah dimana terumbu karangnya telah memutih dapat dipertahankan melalui tambahan aktivitas lain, baik yang berhubungan maupun yang tidak berhubungan dengan terumbu karang. Beberapa pilihan pengelolaan termasuk:
   - Mempertahankan populasi ikan yang baik bagi para penyelam (diving dan snorkel) dengan penerapan sistem zonasi secara kreatif untuk mengurangi tekanan akibat perikanan yang berlebihan dan tingkat kunjungan wisatawan.
   - Menyertakan wisatawan dalam permasalahan pemutihan dengan menawarkan kesempatan untuk turut berpartisipasi dalam program monitoring.
   - Mengadakan atraksi pariwisata lain, baik di darat maupun di air selain terumbu karang.
   - Mengurangi dampak kegiatan wisata secara umum, seperti kerusakan langsung karang akibat para penyelam atau sauh kapal, dan kerusakan tak langsung dari kegiatan di pesisir yang menyokong industri pariwisata.
   - Mendorong wisatawan untuk menyumbang secara materi bagi usaha-usaha pemulihan dan pengelolaan.
   - Menyebarluaskan informasi kepada publik melalui pendidikan dan kegiatan propaganda lainnya.

4. **Pengelolaan Pesisir Terpadu (ICM)** sangat penting agar terumbu karang yang telah memutih dapat dikelola dalam konteks keputusan pemanfaatan lahan yang dibuat di daerah aliran sungai yang disesuaikan. Dari sudut pemutihan terumbu karang, aspek tertentu dari ICM yang harus ditekankan meliputi:
   - Mendirikan sistem DPL dalam kerangka kerja ICM
   - Mengimplementasikan langkah-langkah untuk mempromosikan perikanan yang berkelanjutan
   - Mengimplementasikan mekanisme-mekanisme untuk mempromosikan pembangunan yang ramah lingkungan dan bentuk-bentuk lain dari pemanfaatan lahan dan pengembangan pesisir

- Mengatur sumber-sumber pencemaran dari darat
- Mengelola perkapalan dan pengangkutan lainnya guna mengurangi kerusakan terumbu karang dari dampak fisik atau buangan.
- Melindungi garis pantai dari erosi

5. **Restorasi terumbu karang adalah topik penelitian yang masih baru**. Penelitian harus didukung; tetapi, program-program rehabilitasi yang memakan banyak biaya mungkin menimbulkan risiko daripada menyembuhkan. Rehabilitasi buatan tidak tidak dapat dilaksanakan bila tekanan manusia pada terumbu karang terjadi terus menerus. Bilamana pilihan-pilihan untuk restorasi dipertimbangkan, pengelola harus memperhatikan pertanyaan-pertanyaan berikut ini:

- Apa ***tujuan*** dari proyek restorasi?
- Apa ***ukuran*** dari proyek restorasi ini?
- Berapa ***biaya*** yang harus dikeluarkan dan apakah terjangkau?
- Berapa ***tingkat kesuksesan*** dari metode yang direncanakan, danmetode apa yang lebih hemat biaya di tempat tersebut?
- Apakah ***prospek jangka panjang*** dari program ini?
- Apakah penduduk setempat dan pengguna terumbu karang dapat dilibatkan?

Monitoring memungkinkan para pengelola dan pembuat keputusan untuk mendeteksi perubahan-perubahan pada terumbu karang dan menilai kesuksesan program-program pengelolaan. Perhatian harus diberikan untuk merancang suatu program yang cocok dari segi sumber daya manusia dan ketersediaan dana. Dalam banyak kasus, ada beberapa program yang dapat diadopsi. Sementara itu penelitian tambahan amat dibutuhkan agar kita dapat lebih menjawab pertanyaan-pertanyaan kunci mengenai dampak ekologi dan sosio-ekonomi dari pemutihan terumbu karang.

Pengelola dapat bersiap untuk mengatasi peristiwa-peristiwa pemutihan dan bahkan membantu penyembuhan terumbu, tetapi masyarakat dunia saat ini harus bertindak untuk mengatasi masalah perubahan iklim dunia. Tindakan di semua tingkat mulai dari masyarakat sekitar dan pihak-pihak yang terkait hingga ke pemerintah pusat dan pembuat keputusan dibutuhkan sesegera mungkin untuk menangani permasalahan yang tidak hanya berkaitan dengan pemutihan terumbu karang, tetapi juga kondisi dan masalah umum terumbu karang dimanapun.

Pendahuluan

Buku ini merupakan panduan bagi para pengelola, pembuat keputusan dan semua pihak yang hidup berdekatan dengan keberadaan terumbu karang yang baik dan yang peduli akan menurunnya kondisi terumbu karang karena pemutihan dan serangkaian dampak lain. Terumbu karang adalah salah satu ekosistem laut yang paling penting sebagai sumber makanan, habitat berbagai jenis biota komersial, menyokong industri pariwisata, menyediakan pasir untuk pantai, dan sebagai penghalang terjangan ombak dan erosi pantai. Ironisnya, pemutihan yang terburuk terjadi di negara-negara yang mempunyai kapasitas dan sumber-sumber yang cukup rendah untuk menanganinya, dan dengan kebutuhan terumbu karang berkondisi baik yang terbesar sebagai kontribusi pembangunan yang berkelanjutan. Para ahli khawatir bahwa penurunan produktivitas terumbu karang sekecil apapun akibat pemutihan dapat memiliki konsekuensi sosial dan ekonomi yang serius bagi masyarakat setempat yang bergantung pada sumber daya terumbu karang, mengingat justru orang-orang inilah yang seringkali hidup dibawah garis kemiskinan.

Untungnya, suatu perkembangan dari penelitian terakhir menghasilkan informasi baru mengenai dampak pemutihan, baik secara ekologi dan sosial. Penelitian lanjutan masih sangat dibutuhkan agar saran dimasa mendatang dapat dibuat lebih akurat. Sementara itu, dengan menggunakan informasi yang ada sekarang, tindakan dengan strategi umum dapat dilaksanakan guna memberikan terumbu karang kesempatan yang paling baik untuk dapat pulih dan sehat terus menerus.

Sebelum mulai membahas solusi yang kreatif, pertama-tama kita harus meninjau ulang permasalahannya. Peristiwa pemutihan terumbu karang yang tersebar luas di Samudera Hindia barat tahun 1998 khususnya amat merusak dan meningkatkan tingkat kematian karang. Menyadari pentingnya peristiwa ini serta meningkatnya perhatian dunia akan fenomena pemutihan ini, negara-negara yang turut berpartisipasi dalam Konvensi Keanekaragaman Biologi (CBD) mendorong tercetusnya Konsultasi Para Ahli mengenai pemutihan karang (CBD, 1999):

- Pemutihan dan kematian karang secara masal tahun 1998 tampaknya menjadi peristiwa paling serius dan ekstensif yang pernah terdokumentasi.
- Sebaran geografis, peningkatan frekuensi dan kerusakan pemutihan secara masal adalah akibat meningkatnya suhu rata-rata permukaan air laut secara pasti serta terdapat cukup bukti bahwa perubahan iklim adalah penyebab utamanya.
- Kenaikan suhu laut, akibat pemutihan terumbu karang dan kematian menunjukkan ancaman yang serius bagi terumbu karang dan populasi manusia yang bergantung padanya, khususnya mereka yang berada di negara-negara kepulauan yang sedang berkembang.

Tentunya tidak ada pengobatan yang cepat untuk pemutihan karang. Akan tetapi, para pengelola dan pembuat keputusan berada dalam posisi menyelamatkan sumber daya yang tersisa dan menstimulasi pemulihan. Dimana saja terjadi pemutihan, pengelolaan untuk mengurangi dan menghilangkan segala bentuk dampak langsung dari manusia yang menyebabkan kerusakan tambahan adalah amat penting untuk meningkatkan kondisi pemulihan karang yang optimal. Hal ini termasuk mengurangi tekanan akibat perikanan yang berlebihan, pariwisata, polusi dari pemanfaatan dan pengembangan sumber tanah. Perlindungan terhadap karang yang masih hidup sangat vital karena hal ini diperlukan bagi masa depan pemulihan karang secara lokal dan dimana saja.

Tindakan di semua tingkat- lokal, nasional, regional dan dunia- sangatlah penting. Para pengelola terumbu karang khususnya, harus menyadari peranan mereka ditingkat dunia. Contohnya, Indonesia bagian tengah yang bertahan dari pemutihan, kini berperan penting dalam pemulihan dari terumbu karang yang telah rusak diseluruh Samudera Hindia dengan menyediakan larva untuk kolonisasi. Oleh karena itu, tindakan di tingkat lokal di Indonesia dapat mempengaruhi negara-negara serta masyarakat lokal yang berjarak ratusan hingga ribuan kilometer.

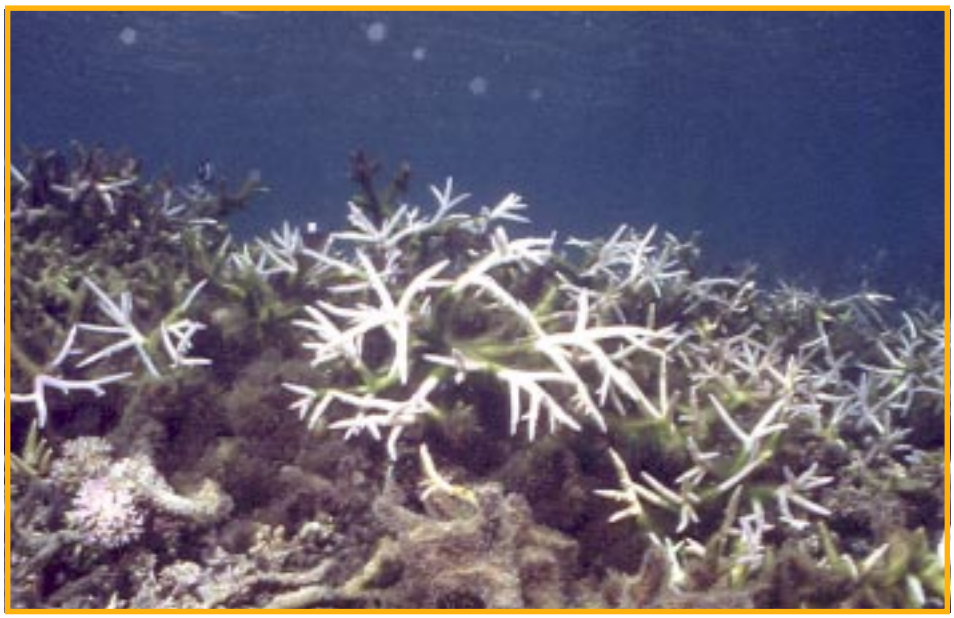


Foto: ARVAM

Karang bercabang (*Acropora* sp.) yang memutih di Mayotte, kawasan barat Samudra Hindia pada tahun 1998.

Terumbu karang di Kepulauan Maladewa (Maldives), Samudra Hindia, sebelum terjadi peristiwa pemutihan karang tahun 1998.

Foto: Susie Westmacott

Kini banyak prakarsa dunia dan regional yang mengarahkan perhatian mereka pada pemutihan dan krisis yang dihadapi terumbu karang. Salah satunya adalah Prakarsa Terumbu Karang Internasional (ICRI) dan Jaringan Monitoring Terumbu Karang Dunia (GCRMN). Program Degradasi Terumbu Karang di Samudera Hindia (CORDIO) merupakan satu contoh regional, dan hasil kerjanya banyak dipakai dalam pengembangan dokumen ini.

Tujuan buku ini untuk menyediakan penjelasan yang akurat dari sebab dan akibat pemutihan karang dan guna mendiskusikan penyelesaian yang tepat. Belajar dari pemutihan karang tahun 1998 di Samudera India, kami mengkaji fenomena ini dalam konteks sumber-sumber lain dari degradasi terumbu karang sebagai panduan bagi para pengelola dan para pihak yang terkait.

Kami juga mengkaji ulang penelitian terakhir dan pendapat ilmiah terkini untuk memprediksikan perkembangan dalam pemutihan karang dan hasilnya. Berdasarkan informasi tersebut, buku ini menganjurkan pengambilan langkah-langkah pencegahan untuk mengurangi dampak dari kejadian pemutihan terumbu karang dimasa mendatang dan menyarankan tindakan-tindakan positif yang dapat membantu pemulihan karang. Beberapa penelitian ini masih dalam tahap awal sehingga pertimbangan yang matang perlu untuk menentukan strategi yang paling efektif untuk menangani masalah-masalah khusus di daerah tertentu. Pengelola diharapkan untuk menggunakan informasi dan sumber-sumber daya tambahan yang disajikan untuk meramu suatu penyelesaian disesuaikan dengan keadaan mereka masing-masing.

Pemutihan Karang

Apakah pemutihan karang itu?

Sebagian besar karang adalah binatang-binatang kecil (disebut POLIP) yang hidup berkoloni dan membentuk terumbu. Mereka mendapatkan makanannya melalui dua cara: pertama, dengan menggunakan tentakel mereka untuk menangkap plankton dan kedua, melalui alga kecil (disebut *zooxanthellae*) yang hidup di jaringan karang. Beberapa jenis zooxanthellae dapat hidup di satu jenis karang (Rowan dan Knowlton, 1995; Rowan *et al.*, 1997). Biasanya mereka ditemukan dalam jumlahbesar dalam setiap polip, hidup bersimbiosis, memberikan : warna pada polip, energi dari fotosintesa dan 90% kebutuhan karbon polip (Sebens, 1997). Zooxanthellae menerima nutrisi-nutrisi penting dari karang dan memberikan sebanyak 95% dari hasil fotosintesisnya (energi dan nutrisi) kepada karang (Muscatine, 1990)

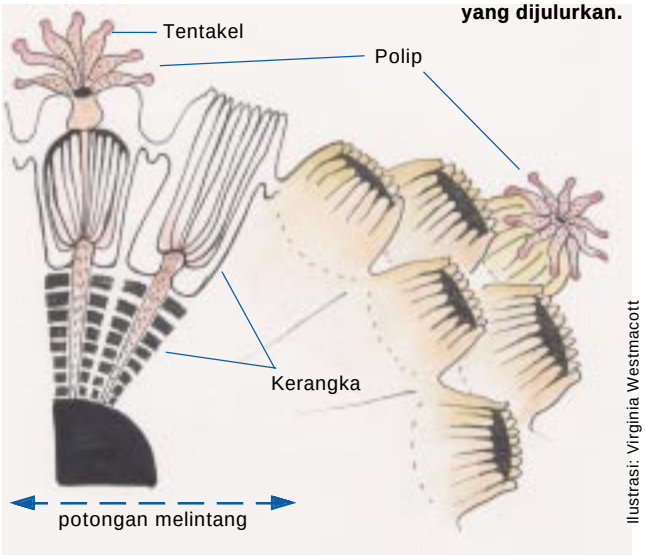
Dalam karang pembentuk terumbu, kombinasi fotosintesis dari alga dan proses fisiologis lainnya dalam karang membentuk kerangka batu kapur (kalsium karbonat). Pembentukan kerangka yang lambat ini, diawali dengan pembentukan koloni dan kemudian membentuk kerangka kerja tiga dimensi yang rumit menjadikan terumbu karang sebagai tempat berlabuh bagi banyak jenis biota, yang banyak diantaranya penting untuk kehidupan masyarakat dan komunitas pesisir.

"Pemutihan" karang (yaitu menjadi pudar atau berwarna putih salju) terjadi akibat berbagai macam tekanan, baik secara alami maupun karena manusia, yang menyebabkan degenerasi atau hilangnya zooxanthellae pewarna dari jaringan karang. Dalam keadaan normal, jumlah zooxanthellae berubah sesuai dengan musim sebagaimana penyesuaian karang terhadap lingkungannya (Brown *et al.*, 1999; Fitt *et al.*, 2000). Pemutihan dapat menjadi sesuatu hal yang biasa dibeberapa daerah. Selama peristiwa pemutihan, karang kehilangan 60–90% dari jumlah zooxanthellae-nya dan zooxanthellae yang masih tersisa dapat kehilangan 50–80% dari pigmen fotosintesinya. (Glynn, 1996). Ketika penyebab masalah itu disingkirkan, karang yang terinfeksi dapat pulih kembali, tetapi jumlah zooxanthellae kembali normal, tetapi hal ini tergantung dari durasi dan tingkat gangguan lingkungan (Hoegh-Guldberg,1999). Gangguan yang berkepanjangan dapat membuat kematian sebagian atau keseluruhan tidak hanya kepada individu koloni tetapi juga terumbu karang secara luas.

Foto: ARVAM

Ujung atas dari koloni karang bercabang (*Acropora* sp.) ini telah memutih, tetapi masih hidup; bagian bawahnya telah mati dan tertutup alga.

Potongan melintang suatu koloni karang dan polipnya, menunjukkan tentakel-tentakel yang ditarik dan yang dijulurkan.



Ilustrasi: Virginia Westmacott

Belum banyak yang dimengerti dari mekanisme pemutihan karang. Akan tetapi, diperkirakan dalam kasus tekanan termal, kenaikan suhu menganggu kemampuan zooxanthellae untuk berfotosintesis, dan dapat memicu produksi kimiawi berbahaya yang merusak sel-sel mereka (Jones *et al.*, 1998; Hoegh-Guldberg dan Jones, 1999). Pemutihan dapat pula terjadi pada organisme-organisme bukan pembentuk terumbu karang seperti karang lunak (*soft coral*), anemon dan beberapa jenis kima raksasa tertentu (*Tridacna* spp.), yang juga mempunyai alga simbiosis dalam jaringannya. Sama seperti karang, organisme-organisme ini dapat juga mati apabila kondisi-kondisi yang mengarah kepada pemutihan cukup parah.

Akibat dari pemutihan sangat bervariasi. Pola pemutihan yang berbeda-beda dapat ditemukan dibeberapa koloni dari jenis yang sama, antara jenis yang berlainan di terumbu yang sama dan antara terumbu disuatu daerah (Brown, 2000; Huppert dan Stone, 1998; Spencer *et al.*, 2000). Penyebabnya masih belum dapat diketahui, kemungkinan berbagai jenis tekanan alami atau gabungan dari beberapa tekanan menjadi pemicunya bersama dengan variasi-variasi

Foto: Arjan Rajasuriya

Jenis-jenis karang berbeda dalam menanggapi faktor-faktor pemutihan. Gambar ini diambil sewaktu peristiwa pemutihan tahun 1998: koloni di sebelah kiri (*Acropora* sp.) telah memutih sedangkan hal itu tidak dialami oleh koloni lain di sebelah kanan (*Porites* sp.)

Foto: Arjan Rajasuriya

Koloni karang bercabang (*Acropora sp.*) yang memutih di Srilangka, Samudra Hindia, tahun 1998.

dari jenis zooxanthellae dan kerapatan dalam koloni. Jenis Zooxanthellae yang berbeda dapat menghadapi tingkat tekanan yang berbeda pula dan beberapa zooxanthellae telah menunjukkan dapat beradaptasi kepada beberapa jenis jenis karang tertentu; hal ini dapat menjelaskan variasi pemutihan pada satu jenis karang (Rowan *et al.*, 1997).

Koloni karang yang telah memutih, apakah mereka mati seluruhnya atau hanya sebagian, lebih rapuh terhadap perkembangan alga yang berlebihan, penyakit danorganisme karang yang menjangkiti kerangka dan melemahkan struktur terumbu karang. Hasilnya adalah bilamana kematian tinggi, terumbu yang memutih berubah secara cepat dari warna putih salju menjadi abu-abu kecoklatan pupus seiring dengan perkembangan alga menutupi mereka. Bila dampak pemutihan yang terjadi sangat parah, alga yang berkembang secara ekstensif dapat mencegah rekolonisasi karang-karang baru, yang secara dramatis merubah pola-pola keanekaragaman jenis karang dan menyebabkan restrukturisasi komunitas tersebut.

Apa penyebab terjadinya pemutihan karang?

Tekanan penyebab pemutihan antara lain tingginya suhu air laut yang tidak normal, tingginya tingkat sinar ultraviolet, kurangnya cahaya, tingginya tingkat kekeruhan dan sedimentasi air, penyakit, kadar garam yang tidak normal dan polusi. Mayoritas pemutihan karang secara besarbesaran dalam kurun waktu dua dekade terakhir ini berhubungan dengan peningkatan suhu permukaan laut (SPL) dan khususnya pada *HotSpots* (Hoegh-Guldberg, 1999). *HotSpot* adalah daerah dimana SPL naik hingga melebihi maksimal perkiraan tahunan (suhu tertinggi pertahun dari rata-rata

Foto: Susie Westmacott

Koloni *Agaricia* sp. menunjukkan pemutihan parsial di Bonaire, Karibia, tahun 1998.

selama 10 tahun) dilokasi tersebut (Goreau dan Hayes, 1994). Apabila *HotSpot* dari 1°C diatas maksimal tahunan bertahan selama 10 minggu atau lebih, pemutihan pasti terjadi (Wilkinson *et al.*, 1999; NOAA, 2000). Dampak gabungan dari tingginya SPL dan tingginya tingkat sinar matahari (pada gelombang panjang ultraviolet) dapat mempercepat proses pemutihan dengan mengalahkan mekanisme alami karang untuk melindungi dirinya sendiri dari sinar matahari yang berlebihan. (Glynn, 1996; Schick *et al.*, 1996; Jones *et al.*, 1998).

Peristiwa pemutihan dalam skala besar di tahun 1980-an dan awal tahun 1990-an tidak dapat dijelaskan keseluruhannya sebagai akibat dari faktor tekanan lokal seperti contohnya sirkulasi air yang buruk dan segera dikaitkan dengan peristiwa El Niño (Glynn, 1990). Tahun 1983 adalah tahun tercatatnya El Niño terkuat hingga saat itu, diikuti oleh peristiwa serupa tahun 1987 dan yang kuat lagi tahun 1992 (Goreau dan Hayes, 1994). Pemutihan karang telah muncul pula di tahun yang bukan merupakan tahun-tahun ElNiño, dan telah dikenali sebagai faktor lain selain naiknya SPL yang dapat terkait, seperti angin, awan yang menutup dan hujan (Glynn, 1993; Brown, 1997).

Peristiwa pemutihan dalam skala besar dipengaruhi oleh naik-turunnya SPL, dimana pemutihan dalam skala kecil seringkali disebabkan karena tekanan langsung dari manusia (contohnya polusi) yang berpengaruh pada karang dalam skala kecil yang terlokalisir. Pada saat pemanasan dan dampak langsung manusia terjadi bersamaan, satu sama lain daapt saling mengganggu. Apabila suhu rata-rata terus menerus naik karena perubahan iklim dunia, karang hampir dapat dipastikan menjadi subjek pemutihan yang lebih sering dan ekstrim nantinya.Oleh karena itu, perubahan iklim saat ini dapat menjadi ancaman terbesar satu-satunya untuk terumbu karang diseluruh dunia.

Dimana saja pemutihan karang telah terjadi?

Catatan atas pemutihan karang dimulai sejak tahun 1870 (Glynn, 1993), tetapi sejak tahun 1980-an peristiwa pemutihan lebih sering terjadi, meluas dan parah (Goreau dan Hayes, 1994; Goreau *et al.*, 2000). Pada tahun 1983 1987, 1991 dan 1995, pemutihan dilaporkan meliputi seluruh daerah tropis di Samudra Pasifik dan India juga di Laut Karibia.

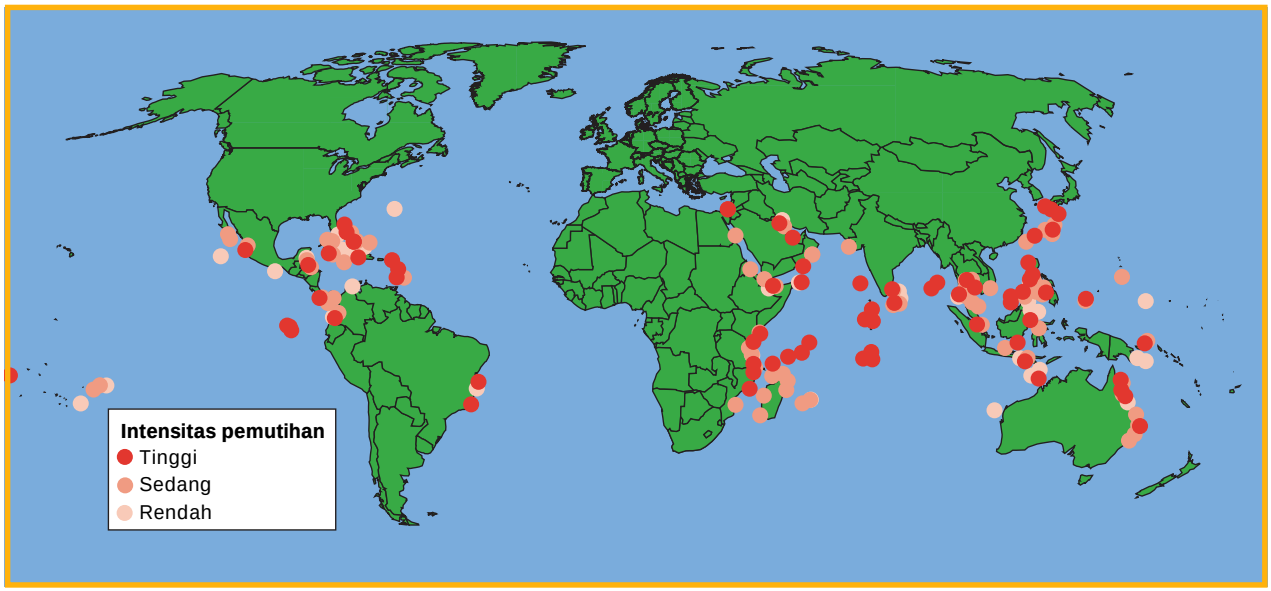
Saat ini tidak ada standarisasi metode untuk menghitung pemutihan karang dan sering terjadi perdebatan mengenai apakah pemantau yang tidak berpengalaman telah mengestimasi skala dan tingkat keparahannya terlalu tinggi (Glynn, 1993). Selanjutnya, ditahun-tahun ini, ada banyak pemantau yang menyediakan laporan pemutihan dari banyak daerah di dunia dibandingkan sebelumnya (lihat Wilkinson, 1998). Akan tetapi, bahkan pada saat penelitian terumbu yang aktif di tahun 1960-an dan 1970-an, tercatat hanya 9 pemutihan karang yang besar, dibandingkan dengan 60 catatan besar dalam kurun waktu 12 tahun mulai 1979 hingga 1990 (Glynn, 1993).

Pemutihan karang 1998 adalah salah satu dari yang terluas secara geografis yang pernah terjadi dengan tingkat kematian karang tertinggi yang pernah tercatat, khususnya di daerah Samudera Hindia. SPL naik diatas batas toleransi dalam jangka waktu yang lama (lebih dari 5 bulan) daripada yang pernah dicatat sebelumnya (Goreau *et al.*, 2000; Spencer *et al.*, 2000). Karang-karang bercabang merupakan yang pertama kali terkena, dimana karang-karang masif, yang tampaknya lebih mampu mengatasi hangatnya SPL yang luar biasa, juga terpengaruh saat kondisi ini berlanjut.

Daerah yang terpengaruh di wilayah Samudera Hindia meliputi sebagian besar terumbu karang disepanjang garis pantai timur Afrika; Arab, kecuali Laut Merah bagian utara; Kepulauan Komoros; sebagian dari Madagaskar; Kepulauan Seychelles; selatan India dan Sri Langka; Kepulauan Maldiva dan Kepulauan Chagos. Di tempat-tempat tersebut, banyak karang tidak dapat bertahan hidup dan kematian karang berkisar 70–99% (Linden dan Sporrong, 1999; Wilkinson *et al.*, 1999).

Terumbu di selatan Samudera Hindia sekitar Reunion, Mauritius, Afrika Selatan dan Madagaskar juga terkena dampaknya walaupun tidak separah atau selama itu. Kebanyakan karang akhirnya pulih seperti sediakala. Hal ini diperkirakan karena kondisi muson saat itu, sehingga terjadi penutupan awan yang mengurangi intensitas sinar

Penyebaran global peristiwa-peristiwa pemutihan, 1998–2000.
(Sumber: World Conservation Monitoring Centre, Cambridge and United Nations Environment Programme)



matahari (juga tentunya ultraviolet) menembus karang di perairan dangkal (Turner *et al.*, 2000a).

Pasifik bagian timur adalah daerah pertama yang terkena, dimulai bulan September 1997 dengan kondisi paling parah yang pernah dialami didaerah ini sejak catatan seperti ini disimpan; SPL bercokol diatas batas selama lebih dari 5 bulan (Goreau *et al.*, 2000). Yang menarik adalah daerah-daerah yang pulih seperti semula semenjak pemutihan awal ditahun 1983, 1987, 1992, 1993 dan 1997; selamat dari peristiwa 1997 tersebut, sementara daerah-daerah yang tidak pernah terkena sebelumnya mengalami kerusakan saat ini (Goreau et al., 2000).

Di Pasifik bagian barat, SPL berada diatas batas selama lebih dari 5 bulan dibeberapa tempat. Beberapa bagian dari Great Barrier Reef mengalami pemutihan, dengan kematian karang mencapai 70–80% dibeberapa lokasi (Goreau *et al.*, 2000) sedangkan ditempat lain kematian karang kurang dari 17% (Wilkinson, 1998). Beberapa terumbu di Filipina, Papua Nugini dan Indonesia juga menderita, walaupun banyak terumbu di Indonesia bagian tengah selamat karena naiknya air dingin dari bawah laut (*upwelling*).

Di Karibia dan Atlantik utara, pemutihan memuncak selama Agustus dan September 1998, kehangatan air yang abnormal bertahan selama 3–4 bulan (Goreau *et al.*, 2000). Kerusakan lanjutan karena topan dibeberapa lokasi mungkin telah memperburuk dampak ekrusakan (Mumby, 1999) Laporan-laporan menunjukkan 60–80% dari koloni terpengaruh, tetapi dalam banyak kasus, pemutihan diikuti oleh pemulihan substansial (Goreau *et al.*, 2000)

Tinjauan umum peristiwa pemutihan 1998 ini menggarisbawahi bagaimana variasi pemutihan dapat terjadi dalam berbagai batasan geografis, kerusakan regional dan bahkan ketidakumuman yang terjadi dalam skala kecil. Jumlah pemutihan—berbanding dengan jumlah kematian sesungguhnya- dapat pula bertambah tinggi variasinya bahkan dalam satu sistem terumbu. Contoh-contoh dari Karibia dan Samudera Hindia selatan menunjukkan pemutihan yang ekstensif dapat diikuti oleh pemulihan yang berarti. Kita masih harus belajar banyak mengenai pola-pola variasi dan sifat dari fenomena pemutihan ini. Tantangan kita disini adalah untuk menggunakan pengetahuan mengenai ekologi terumbu karang dan praktik pengelolaan yang terbaik yang ada saat ini untuk mengembangkan strategi demi memaksimalkan kesuksesan pemulihan dimasa mendatang. Untuk itu, pertama-tama kita harus mempertimbangkan ancaman-ancaman lain bagi terumbu karang sehingga hubungannya dengan pemutihan karang dapat turut diperhitungkan.

Ancaman-ancaman Lain Terhadap Terumbu Karang

Pemutihan akibat perubahan iklim bukanlah satu-satunya ancaman bagi terumbu karang. Para peneliti dan pengelola telah prihatin selama bertahun-tahun akan meningkatnya dampak kegiatan manusia yang menurunkan kondisi terumbu karang dunia (Brown, 1987; Salvat, 1987; Wilkinson, 1993; Bryant *et al.*, 1998; Hodgson, 1999).Perkiraan terakhir menunjukkan bahwa 10% dari terumbu karang dunia telah mengalami degradasi yang tak dapat dipulihkan dan 30% lainnya dipastikan akan mengalami penurunan berarti dalam kurun waktu 20 tahun mendatang (Jameson *et al.*, 1995). Analisa ancaman-ancaman yang potensial bagi terumbu karang dari kegiatan manusia (pembangunan daerah pesisir, eksploitasi berlebihan dan praktek perikanan yang merusak, polusi darat dan erosi dan polusi laut) di tahun 1998 memperkirakan bahwa 27% dari terumbu berada di tingkat berisiko tinggi dan 31% lainnya berada di risiko sedang (Bryant *et al.*, 1998). Ancaman-ancaman ini sebagian besar merupakan hasil dari kenaikan penggunaan sumber-sumber pesisir oleh populasi pesisir yang berkembang secara cepat, ditunjang oleh kurangnya perencanaan dan pengelolaan yang tepat.

Terumbu yang telah mengalami tekanan akibat kegiatan manusia dapat menjadi lebih rentan untuk memutih bilamana *HotSpots* meluas, karena karang yang telah lemah dapat berkurang kemampuannya menghadapi naiknya SPL sebagai tekanan tambahan. Lebih lanjut lagi bahkan setelah SPL kembali normal, dampak manusia dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan karang baru.Tentunya, terumbu yang pernah dihadapkan pada gangguan manusia yang berlanjut seringkali menunjukkan kemampuan yang rendah untuk pulih (Brown, 1997). Dilain pihak, terumbu yang tidak diganggu oleh kegiatan manusia dapat memiliki kemampuan yang lebih baik untuk pulih, bila keadaan lingkungan optimal untuk pertumbuhan dan perkembangan karang.

Secara historis, terumbu karang telah mampu pulih dari gangguan alam berkala (contohnya topan, predator yang berlebihan, dan beragam penyakit). Justru gangguan kronis dari kegiatan manusialah yang leih merusak saat ini. Ini membawahi pentingnya sedapat mungkin menghilangkan seluruh dampak langsung negatif manusia untuk memberi terumbu kesempatan terbaik agar pulih dari pemutihan. Dampak tersebut dihasilkan dari serangkaian kegiatan diantaranya:

- Pembangunan pesisir untuk perumahan, *resort*, hotel, industri, pelabuhan dan pembangunan marina seringkali menyebabkan reklamasi daratan dan penggerukan tanah. Ini dapat meningkatkan sedimentasi (sehingga

Penangkapan ikan menggunakan bahan peledak masih terjadi di beberapa bagian dunia, secara sistematis merusak terumbu karang.

Foto: Lida Pet-Soede

Laguna dan rataan terumbu karang yang rusak pada skema reklamasi pantai, khususnya pada pulau-pulau dengan persediaan lahan sedikit.

Foto: Susie Westmacott.

Perencanaan pembangunan hotel yang buruk, seperti di Karibia ini, sering mengakibatkan erosi dan kerusakan terumbu-terumbu karang.

Foto: Susie Westmacott.

Pembuangan limbah dan bentuk-bentuk polusi lainnya adalah ancaman besar bagi terumbu karang.

Foto: Susie Westmacott.

Ilustrasi: Virginia Westmacott

Rangkaian kegiatan-kegiatan manusia yang menjadi ancaman bagi terumbu karang.

mengurangi cahaya dan menutupi karang) dan menimbulkan kerusakan fisik langsung bagi terumbu.

- Pengelolaan yang tidak berkelanjutan di daerah aliran sungai yang disesuaikan dan daerah pesisir, termasuk pengurangan lahan hutan, pertanian yang buruk dan praktek pemanfaatan lahan yang buruk, mengacu kepada pengaliran pestisida (yang membahayakan organisme terumbu karang), pupuk (yang menyebabkan bertambahnya nutrisi) dan sedimentasi.
- Eksploitasi berlebihan dapat mengakibatkan sejumlah perubahan pada terumbu karang. Penangkapan jenis ikan pemakan alga yang berlebihan dapat mengakibatkan pertumbuhan alga yang eksesif, penangkapan yang berlebihan dari jenis ikan yang berperan amat penting dalam ekosistem terumbu dapat mengakibatkan meledaknya populasi jenis lain dibagian manapun dari rantai makanan.
- Kegiatan perikanan yang merusak, seperti memakai alat peledak dan penggunaan jaring insang dan pukat dapat membuat kerusakan fisik yang ekstensif bagi terumbu karang dan mengakibatkan tingginya persentase kematian ikan yang belum dewasa (yaitu bibit ikan dewasa dimasa mendatang). Penggunaan sianida dan racun lain untuk menangkap ikan akuarium juga berdampak negatif.
- Pembuangan limbah industri dan rumahtangga meningkatkan tingkat nutrisi dan racun dilingkungan terumbu karang. Pembuangan limbah tak diolah langsung ke laut menambah nutrisi dan pertumbuhan alga yang berlebihan. Limbah kaya nutrisi dari pembuangan atausumber lain khususnya amat mengganggu, karena mereka meningkatkan perubahan besar dari struktur terumbu karang secara perlahan dan teratur. Alga mendominasi terumbu hingga melenyapkan karang pada akhirnya(Done, 1992; Hughes, 1994).
- Kegiatan kapal dapat berdampak bagi terumbu melalui tumpahan minyak dan pembuangan dari *ballast* kapal. Walaupun konsekuensinya kurang dikenal, hal ini berdampak lokal yang berarti. Kerusakan fisik secara langsung dapat terjadi karena kapal membuang sauh di terumbu karang dan pendaratan kapal tak disengaja.
- Banyak kegiatan lain yang terjadi langsung di terumbu karang menyebabkan kerusakan fisik bagi karang dan oleh karena itu mempengaruhi integritas struktur karang. Kerusakan seperti ini seringkali terjadi dalam hitungan menit tetapi tahunan untuk memperbaikinya. Sebagai tambahan dari kegiatan sebagaimana disebutkan diatas, kerusakan dapat pula disebabkan karena orang menginjak karang untuk mengumpulkan kerang dan organisme lain didataran terumbu karang atau di daerah terumbu karang yang dangkal, dan penyelam (*diving* maupun *snorkel*) berdiri diatas atau mengetuk-ketuk terumbu karang.

Untungnya, ancaman-ancaman ini dapat dikurangi atau dikontroldengan kekuasaan yang dimiliki oleh para pengelola dan pembuat keputusan. Dibanyak lokasi, terumbu karang mungkin menghadapi beberapa dari ancaman ini, kesemuanya mungkin dilakukan pada saat yang sama dan mempunyai dampak yang berbeda-beda tingkatannya. Oleh karenanya, adalah amat penting untuk menganalisa secara cermat situasi disetiap lokasi untuk menentukan prioritas dan mengembangkan rencana tindakan yang efektif. Pengelola dan para pembuat keputusan harus mengenali dampak manusia yang dapat dikurangi secara mudah, dan berakibat sebaik mungkin bagi terumbu. Ini melibatkan pertimbangan kapasitas dan finansial yang tersedia serta struktur pengelolaan yang ada, juga analisa kemungkinan pemulihan terumbu setelah pemutihan atau bentuk kerusakan lainnya. Oleh karena itu sebelum kita membicarakan pilihan strategi pengelolaan, kita harus mempertimbangkan keadaan umum dari terumbu karang dimasa mendatang.

Apakah yang Akan Terjadi di Masa Mendatang?

Gangguan terbesar bagi terumbu baik secara lokal maupun global menimbulkan pertanyaan mengenai masa depan terumbu karang:

- Apakah terumbu mampu pulih kembali setelah kematian massal, dan bila terjadi, kapan?
- Seperti apakah terumbu karang dimasa mendatang? Samakah seperti sebelumnya?
- Apa yang dapat kita harapkan dari perubahan iklim dunia?
- Apakah gangguan ini terulang kembali?

Ini adalah pertanyaan-pertanyaan yang sulit terjawab, tetapi penelitian terakhir mulai menyediakan beberapa jawaban.

Kemampuan pemulihan terumbu karang

Kemampuan pemulihan terumbu karang adalah kemampuan dari suatu koloni individual atau suatu sistem terumbu karang (termasuk semua penghuninya), untuk mempertahankan diri dari dampak lingkungan serta menjaga kemampuan untuk pemulihan dan berkembang (Moberg dan Folke, 1999). Tampaknya dampak yang merusak dan berkesinambungan secara perlahan-lahan dapat mengurangi secara progresif kemampuan pemulihan dari dampak-dampak tersebut. Ini dapat mengganggu pemulihan terumbu karang dari suatu gangguan dan kemungkinan menjadi penyebab dari dominasi karang menjadi sistem dominasi alga (Done, 1992; Hughes, 1994). Penelitian terhadap kemampuan pemulihan terumbu karang dan penghuninya masih terus dilakukan, karena sedikit yang diketahui tentang lamanya waktu pemulihan bagi populasi lain selain karang (McClanahan *et al*., *in press*). Sementara itu, tujuan logis bagi para pengelola dan pembuat keputusan adalah pemanfaatan prinsip-prinsip dasar dari penggunaan berkelanjutan dan pengelolaan yang cocok untuk melestarikan kemampuan pemulihan. Ini merupakan langkah-langkah proaktif untuk memaksimalkan daya tahan karang-karang dan terumbu karang terhadap gangguan dan mengangkat kemampuan pemulihan sampai batas maksimal setelah gangguan berlalu.

Sejarah gangguan bagi terumbu mempengaruhi struktur terumbu karang saat ini karena terumbu karang adalah ekosistem yang dinamis secara alamiah. Selama pemulihan, jenis biota berinteraksi dan merubah kelimpahan serta peranan dalam struktur komunitasnya. Hasilnya adalah pertumbuhan terumbu menjadi komunitas yang berbeda dari sebelumnya secara substansial akibat pemutihan dan tetap dalam ekosistem yang berkembang dan beragam.

Kembalinya ekosistem terumbu karang ke fungsi semula setelah kematian akibat pemutihan masal bergantung pada kesuksesan reproduksi dan rekolonisasi karang-karang yang tersisa dan dari karang-karang yang berada diluar populasi sumber terumbu (lihat Done, 1994, 1995). Karang bereproduksi secara seksual dan diluar kelamin (aseksual). Reproduksi seksual melibatkan pembuahan telur karang

Foto: Susie Westmacott

Foto: Ben Stobart

Karang-karang muda yang tumbuh di atas karang mati pada terumbu karang yang rusak (Kiri Pulau Bonaire, Laut Karibia; kanan Kepulauan Seychelles).

oleh sperma untuk membentuk larva yang berenang bebas. Larva-larva tersebut dapat beradaptasi dengan baik untuk distribusi serta tergantung dari jenis dan kondisinya dapat menjadi bibit dimana mereka berasal, didekat terumbu karang, atau terumbu karang yang ratusan kilometer jauhnya (Richmond, 1997). Distribusi ini membutuhkan arus laut yang tepat untuk membuahi karang di hilir dan penting untuk menjaga keragaman genetik antara populasi karang dan terumbu karang.

Peremajaan (*recruitment*) adalah suatu proses dimana karang yang masih muda mengalami penempelan larva dan bermetamorfosis menjadi bagian dari populasi dewasa dan komunitas terumbu karang. Setelah melewati tahap berenang bebas di kolom perairan, larva kemudian menempel pada substrat yang cocok; keberadaan substrat yang baik penting bagi kesuksesan peremajaan karang. Lokasi penempelan yang baik cenderung berkarakter seperti dibawah ini (Richmond, 1997):

- Tipe dasar perairan yang stabil – substrat bukan terdiri dari sedimen lepasan atau bahan yang tidak padat.
- Gerakan air di lokasi penempelan harus mendekati tenang, walaupun dalam kondisi-kondisi tertentu, gerakan air yang tinggi dapat mendorong pertumbuhan.
- Kadar garam secara umum harus diatas 32‰ dan dibawah 38–40‰.
- Ada sumber cahaya bagi zooxanthellae untuk berfotosintesis
- Sedimentasi terbatas di kolom air (air jernih lebih ideal) untuk mengurangi kemungkinan kekurangan dan ketidakcukupan transmisi sinar matahari.
- Ketiadaan alga makro (besar) (sebagai kebalikan dari *turf* alga) yang mampu bersaing tempat dengan karang dan membatasi penempelan larva.

Sekali menempel, karang harus bersaing dengan organisme lain yang berkembang lebih cepat seperti alga dan invertebrata yang mengeras dan menghindari dimangsa oleh ikan pemakan karang. Kegagalan reproduksi (contohnya, jika semua karang telah dewasa secara seksual mati akibat pemutihan) dan lokalisasi peremajaan akan memperlambat pemulihan karang-karang yang telah rusak (Richmond, 1997). Akan tetapi, tutupan karang masih mungkin kembali pada akhirnya melalui reproduksi aseksual.

Reproduksi aseksual terjadi bila patahan-patahan karang terlepas dari koloni induknya, biasanya dikarenakan dampak fisik dari, contohnya gelombang atau badai. Patahan sangat rapuh terhadap dampak fisik dan dapat dengan mudah kehilangan lapisan tipis dari jaringan hidup nya bila tergulung dari dasar perairan karena gerakan air. Akan tetapi, apabila patahan mendarat pada substrat yang tepat, maka ia dapat menempelkan kembali dirinya sendiri dan berkembang menjadi koloni baru.

Suatu terumbu dimana mayoritas karangnya telah mati tetapi telah berstruktur, dapat tetap menjadi substrat yang stabil dan tepat untuk karang-karang muda dan patahan untuk menempel dan tumbuh. Sehingga terjaganya karang-karang yang telah mati tetap berharga. Karang yang telah mati, rapuh terhadap organisme yang melubangi mereka dan melemahkan struktur terumbu karang. Gelombang yang kuat atau badai dapat merusakkan terumbu karang dalam kondisi tersebut, mengubah suatu struktur yang kompleks menjadi ladang kerikil yang tidak cocok untuk tempat penempelan karang. Akan tetapi, alga merah berkapur (*red coralline algae*) dapat membantu melengketkan terumbu, mengurangi keretakan dan menyediakan substrat yang cukup untuk penempelan larva.

Perubahan iklim dunia dan terumbu karang

Dalam 200 tahun terakhir, terumbu karang telah beradaptasi terhadap sejumlah perubahan; tetapi, selama waktu tersebut, tidak ada tekanan dari manusia. Terumbu karang saat ini menghadapi serangkaian ancaman kombinasi dari eksploitasi yang berlebihan, polusi dan khususnya perubahan iklim dunia. Kesemua ancaman tersebut saat ini meningkat jumlahnya, dan kegiatan-kegiatan manusia menyebabkan percepatan perubahan iklim dunia yang dapat membuat terumbu karang sulit beradaptasi.

Perubahan iklim dunia mempunyai 6 dampak utama bagi terumbu karang:

1. **Naiknya permukaan laut**
   Terumbu karang yang tidak bermasalah, kebanyakan mampu bertahan dengan naiknya permukaan laut yang telah diperkirakan kurang lebih 50 cm hingga tahun 2100 (Panel antar Pemerintahan untuk Perubahan Iklim/ IPCC, 1995). Dataran terumbu yang terbuka pada saat surut, yang membatasi pertumbuhannya keatas, dapat mengambil keuntungan dari kenaikan itu. Akan tetapi, karang yang telah melemah karena meningkatnya suhu atau faktor-faktor lain (lihat di bawah) mungkin tidak dapat tumbuh dan membangun kerangka tulang mereka secara normal. Apabila hal ini terjadi, pulau-pulau yang

Terumbu karang tumbuh subur dalam kondisi iklim, suhu, sinar ultra violet dan pola arus di waktu lalu.

Ilustrasi: Virginia Westmacott

Peningkatan suhu permukaan laut, badai, tingkat karbon dioksida dan sinar ultra violet, juga perubahan pola arus, menjadi sebab pemanasan global yang sekarang mengancam terumbu karang.

Ilustrasi: Virginia Westmacott

rendah (*low-lying*) tidak mendapat perlindungan dari terumbu karang disekitarnya seperti saat ini terhadap energi gelombang dan badai. Ini telah menjadi salah satu perhatian dari negara-negara seperti Maldiva di Samudera Hindia serta Kiribati dan Kepulauan Marshall di Samudra Pasifik, dimana daratan berketinggian rata-rata kurang dari 3 meter diatas permukaan air laut.

2. **Kenaikan Suhu**
   Kenaikan suhu laut 1–2°C diperkirakan terjadi tahun 2100 (Bijkma *et al.*, 1995). Di banyak daerah tropis bahkan telah terjadi kenaikan 0,5°C selama 2 dekade terakhir (Strong *et al.*, 2000). Tampaknya mungkin hanya perubahan kecil, tetapi ini dapat diartikan bahwa selama periode yang lebih hangat dari fluktuasi musim yang normal, suhu akan melebihi batas toleransi dari hampir semua jenis karang. Ini dapat menaikkan frekuensi pemutihan (Hoegh Guldberg, 1999). Suatu kenaikan suhu dapat berarti daerah yang saat ini berada diluar wilayah terumbu karang akan menjadi tepat untuk pertumbuhan karang, menghasilkan perpindahan geografis dari distribusi populasi pembangun terumbu karang. Memang membutuhkan waktu sebelum hal ini terbukti; dan bilamana hal ini terjadi, faktor-faktor lingkungan lain dengan posisi lintang yang lebih tinggi mungkin tidak kondusif untuk pertumbuhan terumbu karang. Lebih lanjut lagi, naiknya SPL mempengaruhi kepekaan zooxanthellae, contohnya sinar yang diperlukan untuk fotosintesis malah merusak sel-selnya (Hoegh-Guldberg, 1999). Karang malah dapat menjadi rapuh terhadap kenaikan radiasi sinar UV karena menipisnya lapisan ozon.

3. **Berkurangnya tingkat pengapuran**
   Emisi global dari gas rumah kaca meningkatkan konsentrasi karbon dioksida di atmosfir dan di lautan ke tingkat yang akhirnya mengurangi kemampuan terumbu karang untuk tumbuh dengan proses pengapuran normal. Tingginya konsentrasi karbon dioksida meningkatkan keasaman air, yang menurunkan tingkat pengapuran karang . Telah diperkirakan bahwa tingkat pengapuran dapat menurun kurang lebih 14–30% tahun 2050 (Hoegh-Guldberg, 1999). Ini akan mengurangi kemampuan terumbu untuk pulih dari peristiwa seperti pemutihan karang dan juga merusak kemampuan mereka menyesuaikan diri dengan kenaikan permukaan laut dan perubahan geologi.

4. **Perubahan pola sirkulasi lautan**
   Jika perubahan pola sirkulasi lautan dalam skala besar berkembang, hal ini dapat mengubah distribusi dan transportasi larva karang (Wilkinson dan Buddemeier, 1994). Hal ini dapat berdampak pada perkembangan dan distribusi terumbu karang diseluruh dunia.

5. **Pertambahan frekuensi kejadian cuaca yang merusak**
   Perubahan pola tahunan atmosfir dapat mengakibatkan berubahnya frekuensi dan intensitas badai dan angin puyuh, juga perubahan pola presipitasi. Meningkatnya badai dapat mengakibatkan peningkatan kerusakan tidak hanya pada terumbu karang, tetapi juga komunitas pesisir.

Jika perubahan berlanjut seperti yang telah diperkirakan, pemutihan karang dapat menjadi hal biasa dalam kurun waktu 30–50 tahun (Hoegh-Guldberg, 1999). Peningkatan frekuensi pemutihan dapat memaksa karang untuk beradaptasi. Adaptasi dapat timbul dalam 2 cara :

- Karang berubah secara fisiologis menjadi lebih toleran terhadap suhu tinggi.
- Kemungkinan terjadinya kematian populasi atau jenis karang dan zooxanthellae yang tidak mampu mengatasi suhu yang lebih tinggi- dan jenis yang kurang toleran ini akan menghilang (Warner *et al.*, 1996; Hoegh-Guldberg, 1999).

Informasi lebih lanjut dari skenario adaptasi potensial dijelaskan dalam Hoegh-Guldberg (1999).

Terumbu secara keseluruhan adalah ekosistem tangguh, sebagaimana telah dibuktikan dengan sejarah geologi. Gangguan besar dimasa lalu telah menyebabkan hilangnya beberapa jenis jenis karang, tetapi yang lain berhasil berevolusi menjadi jenis baru. Karang yang telah menjadi struktur fosil seringkali terlihat di tebing, kadang-kadang jauh di daratan. Terumbu seringkali harus mengalami perubahan besar dalam struktur dan komposisi seiring dengan waktu, sementara yang tersisa dikenal sebagai terumbu karang(Veron, 1995). Oleh karena itu, pengelolaan terumbu karang secara hati-hati—bahkan yang telah rusak sekalipun—adalah sungguh bernilai, karena dapat membantu kesempatan bertahan dari sistem hidup lama ini.

Kenapa Terumbu Karang yang Rusak Tetap Harus Dikelola?

Pengelola dan para pihak yang terkait telah menanyakan cara menangani terumbu karangyang telah rusak dan putih, seperti:

- Tindakan apa yang harus diambil untuk membantu dan mempercepat pemulihan terumbu karangkarena pemutihan yang berhubungan dengan kematian?
- Bagaimana cara meyakinkan pembuat keputusan dan pemerintah akan nilai dari usaha mempertahankan taman laut dan usaha pelestarian menghadapi penurunan terumbu karangkarena pemutihan?
- Haruskah berinvestasi dalam proyek rehabilitasi terumbu karangyang riskan dan mahal?
- Apa dampak sosioekonomi dari pemutihan dan dapatkah dampak tersebut dikurangi?
- Apa yang dapat dilakukan untuk mempersiapkan pemutihan dimasa mendatang?

Foto: Edmund Green

Terumbu karang yang 'sehat' dapat menyokong keanekaragaman ikan karang – "*French grunts*" (*Haemulon flavolineatum*) di Kepulauan Turks dan Caicos, Laut Karibia.

Kotak 1. Pemulihan setelah ledakan populasi Bintang laut berduri.

Bintang laut berduri /BLD (*Acanthaster planci*) telah merusak daerah yang cukup besar di kawasan Great Barrier Reef (GBR) di Australia dan daerah terumbu karanglain di Pasifik. Catatan pertama dari kemunculan tiba-tiba BLD (ribuan hingga puluhan ribu) dimulai dari akhir tahun 1950-an, dimana sejumlah besar BLD diobservasi di Kepulauan Ryukyu, Jepang. Tak lama setelah itu, awal tahun 1960-an, ledakan dilaporkan terjadi di Pulau Green dan beberapa daerah tetangga GBR. Pada saat ledakan BLD lebih jauh ke selatan dari terumbu karang disekitar Townsville 10 tahun kemudian, bagian utara dari GBR telah pulih kembali. Tadinya dikhawatirkan struktur terumbu karang akan hancur total, menyebabkan terbukanya pantai utara Queensland akan kenaikan tingkat gelombang dan erosi. Tapi hal ini tidak terjadi. Sementara ledakan BLD mungkin telah merusak beberapa individu karang, tetapi mereka tidak merusak terumbu karangitu sendiri. Selama ledakan terakhir di akhir tahun 1970-an dan 1980-an, BLD telah merusak kurang lebih 17% dari 2900 terumbu karang di GBR. Dari semua itu, hanya 5% dari terumbu karang yang dikategorikan rusak parah.

Studi kaitan yang dilakukan di GBR dan di Guam menunjukkan tutupan karang memakan waktu 12–15 tahun untuk kembali seperti keadaan semula. Walaupun tutupan karang kembali lagi setelah masa tersebut, komposisi komunitas karang telah berubah, dan terumbu karangkini lebih banyak terdiri dari yang tumbuh dengan cepat seperti karang bercabang (contohnya *Acropora*) dan karang meja. Pemulihan komposisi jenis semula dan keanekaragamannya diharapkan dapat lebih lama karena penggantian dari karang masif yang lambat tumbuh dan panjang masa hidup nya (contohnya *Porites*) dapat mencapai waktu 500 tahun untuk setiap individu karang yang besar. Akan tetapi, pemulihan total akan terjadi bila tidak terdapat gangguan.

Sumber: Bradbury dan Seymour (1997), CRC Reef Research (1997) dan Moran (1997)

Foto: Edmund Green

Bintang laut berduri (*Acanthaster planci*).

Kotak 2. Pemulihan terumbu karang di Teluk Kaneohe, Hawaii.

Teluk Kaneohe, Hawaii adalah sebuah contoh kemampuan pemulihan sistem terumbu karangyang baik yang telah bertahan dari dampak manusia dan menunjukkan bahwa sekali sumber gangguan utama berkurang, pemulihan adalah mungkin. Meningkatnya erosi tanah, sedimentasi, penambangan karang, kanalisasi sungai dan pembuangan limbah terjadi mulai tahun 1940-an hingga 1970-an. Serangkaian dampak termasuk banjir dan air larian dari erosi serta perubahan pemanfaatan lahan karena manusia, semuanya itu merusak terumbu karang di Teluk Kaneohe.

Setelah melimbahi selama 25 tahun, 2 pembuangan besar dialihkan dari teluk tersebut tahun 1977 dan 1978. Terjadi perubahan yang sebanding dari dasar laut yang didominasi oleh alga hijau (*Dictyosphaeria cavernosa*) dan penyaring- atau pemakan deposit, ke habitat yang cenderung mendekati "taman-taman karang" sebagaimana digambarkan oleh wisatawan terdahulu. Tutupan karang melebihi 2 kali lipat sejak 15 tahun terakhir. Walaupun pemulihan telah melambat sejak saat itu, tetapi cerita Teluk Kaneohe menggambarkan kemampuan terumbu karang untuk pulih bilamana tekanan manusia dikurangi.

Sumber: Hunter dan Evans (1995)

Seperti telah dijelaskan dibagian sebelumnya, terumbu karang yang telah rusak mempunyai potensi untuk pulih. Terumbu karang telah rusak karena topan, badai dan kegiatan manusia, tetapi telah pulih kembali pada saat dampak tersebut dihentikan atau dikurangi. Kemampuan pemulihan ini dapat dikatakan untung karena banyak orang bergantung pada terumbu karang untuk kehidupan mereka. Ekonomi Maldiva, contohnya, secara tradisional adalah perikanan dan pariwisata, keduanya berhubungan langsung dengan terumbu karang, yang telah rusak karena pemutihan. Oleh karena itu, ada beberapa alasan untuk melangsungkan usaha pengelolaan untuk:

- Memastikan kondisi yang optimal bagi pemulihan terumbu karang
- Memastikan perikanan yang berkelanjutan.
- Memastikan kelangsungan industri pariwisata

Pemulihan terumbu karang beragam macamnya mulai dari terumbu karang yang satu ke yang lain sesuai dengan keunikan setiap lokasi. Dengan keadaan yang tepat, terumbu karang dapat kembali pulih ke komunitas yang beraneka, penyedia keuntungan langsung untuk perikanan, pariwisata dan rekreasi dan juga keuntungan tak langsung, seperti perlindungan pesisir dan penelitian ilmiah (lihat Kotak 1).

Pengelolaan yang hati-hati dapat membantu, dengan mengurangi dampak negatif seperti yang terjadi di Teluk Kaneohe di Hawaii (lihat Kotak 2) atau dengan memperbaiki keadaan bagi pemulihan. Pemulihan hanya terjadi bila tekanan tambahan akibat kegiatan manusia dibatasi. Kondisi yang optimal untuk pemulihan ekosistem terumbu karangsecara maksimal meliputi:

- Permukaan dasaran yang padat, bebas alga dimana larva karang dapat menempel dan tumbuh; bilamana karang mati selama pemutihan, batu yang mereka tinggalkan menjadi substrat yang potensial untuk peremajaan.
- Daerah bebas penangkapan ikan yang berlebihan, sedimentasi, polusi, pupuk, limbah tak diolah dan bahan-bahan lain yang dapat mengurangi pertumbuhan dan mempengaruhi kelangsungan peremajaan karang; kualitas air yang baik dan pengurangan dampak fisik yang mampu menunjang pertumbuhan dan peremajaan karang.
- Keberadaan karang dewasa yang matang secara seksual didaerah tersebut sebagai penyedia larva baru, kemampuan terumbu karang yang tak terganggu, jauh dari terumbu karang yang rusak, untuk menyediakan larva akan bergantung dari arus laut yang sesuai dan kesehatan terumbu karang induk. Karang lokal yang tersisa dapat pula menjadi sumber larva di daerah tersebut.
- Perlindungan dari penangkapan ikan yang berlebihan untuk mempertahankan populasi ikan yang sehat, ikan herbivora akan memakan alga dan menjaga karang yang mati sebagai substrat bagi kolonisasi karang.

Kondisi-kondisi ini dapat dimaksimalkan dengan pengelolaan yang terencana dengan baik. Dengan menggunakan latar belakang informasi yang telah kita tinjau ulang sejauh ini, kini kita dapat berbicara tentang strategi pelestarian terumbu karangdalam konteks DPL, perikanan, pariwisata dan PPT.

Daerah Perlindungan Laut dan Terumbu yang Rusak

Setelah kematian yang mengikuti beberapa peristiwa pemutihan, khususnya tahun 1998, tidak pernah terjadi lagi pemusnahan total seluruh karang hidup dimanapun. Bahkan pada kasus terburuk sekalipun, koloni yang terpisah dan terumbu-terumbu karang kecil yang tak beraturan berhasil hidup. Lebih lanjut lagi, peremajaan karang baru seringkali terlihat dalam kurun waktu 1 tahun setelah peristiwa tersebut. Ini merupakan titik awal pemulihan karang dan harapan di masa mendatang.

Peranan daerah perlindungan laut (DPL)

DPL dapat memegang peranan yang semakin penting bagi pelestarian dan pengelolaan terumbu karang nantinya dengan cara:

- Melindungi daerah terumbu karang yang tidak rusak yang dapat menjadi sumber larva dan sebagai alat untuk membantu pemulihan.
- Melindungi daerah yang rapuh untuk *HotSpot*, contohnya karena kenaikan air dingin dari bawah laut dimasa mendatang, nantinya.
- Melindungi daerah yang bebas dari dampak manusia dan cocok sebagai substrat bagi penempelan karang dan pertumbuhan kembali.
- Memastikan bahwa terumbu karang tetap menopang kelangsungan kebutuhan masyarakat sekitar yang bergantung padanya.

Daerah dimana karang telah mampu bertahan hidup pada peristiwa penghangatan air dapat menjadi kunci penting bagi persediaan larva karang guna mengisi daerah yang berkurang. Terumbu karang yang berpotensi sebagai penyedia larva seringkali dikenal sebagai terumbu karang sumber (*source reefs*), sedangkan terumbu karangyang menerima larva melalui arus laut seringkali disebut terumbu karang penampung (*sink reefs*). Kadang terumbu karang menjadi penampung pada suatu masa dalam setahun dan sumber di kala lain dimana arus muson berbalik pada musim yang berbeda-beda.

Sumber terumbu karang menjadi *upstream* dari terumbu karang yang rusak jika arus laut memegang peranan penting dalam pemindahan larva dan pemulihan terumbu. Kantung-kantung karang hidup pada terumbu karang yang rusak dapat pula sebagai sumber larva karang. Karang ini dapat saja dapat bertahan karena mereka berada dalam terumbu karang yang lebih dalam dengan perubahan suhu lebih sedikit, di laguna, dimana mereka terbiasa dengan fluktuasi suhu harian yang besar; atau dilindungi oleh fenomena lautan tertentu, seperti naiknya air dingin dari bawah laut. Sumber larva yang potensial ini harus diketahui, dikelola secara tepat dan dilindungi dari kerusakan lebih lanjut, khususnya bilamana dipengaruhi oleh manusia, dalam rangka meningkatkan pemulihan dan membantu kemampuan pemulihan dari individu koloni karang dan sistem terumbu karang secara keseluruhan.

Beberapa faktor penentu apakah suatu terumbu karang merupakan sumber larva karang yang baik:

- Keberadaan koloni karang besar yang mampu memproduksi larva dalam jumlah banyak.
- Keragaman karang yang tinggi, yang mampu meningkatkan kesempatan kolonisasi yang cepat bagi jenis cepat tumbuh dan bagi jenis lambat tumbuh.
- Keberadaan dampak manusia terhadap terumbu karang seminim mungkin, sehingga dapat memaksimalkan kesempatan reproduksi karang dan kelangsungan hidup larva .
- Terjadinya naiknya air dingin dari bawah laut, yang membantu transportasi dan kelangsungan hidup larva karang.
- Keberadaan angin besar dan arus laut yang melintasi terumbu karang sumber dan menuju ke arah terumbu karang penampung.

Tindakan-tindakan pengelolaan

1. **Pengidentifikasian wilayah-wilayah terumbu karang yang kurang rusak dan meninjau ulang sistem zonasi dan batasan-batasan.**
   Survei terumbu-terumbu karang dikawasan DPL adalah keharusan yang amat penting untuk dilakukan, untuk mengidentifikasi terumbu karang sehat dan yang dapat menyumbang bagi pemulihan wilayah tersebut secara keseluruhan. Dimana situs-situs ini kurang terlindungi, perhatian harus diberikan untuk memperbaiki sistem zonasi dan/atau batasan DPL secara keseluruhan. Menciptakan zona baru atau merubah batasan DPL

Daerah-daerah karang hidup akan berfungsi sebagai sumber larva bagi daerah yang terkena pemutihan.

Ilustrasi: Virginia Westmecott

Taman Laut Ste. Anne di Seychelles merupakan salah satu wilayah laut yang dilindungi dan menjadi korban dari peristiwa pemutihan 1998.

Foto: Susie Westmacott.

Kotak 3. Dampak pemutihan karang di DPL Seychelles.

Pemutihan karang berdampak cukup gawat bagi DPL Seychelles dimana tutupan karang hidup menurun hingga kurang dari 10% dari sebagian besar terumbu karang disekeliling pulau-pulau bagian dalam (Turner *et al*., 2000b). Pendanaan bagi pengelolaan taman kini bergantung sepenuhnya dari tiket masuk pengunjung dan jika jumlah pengunjung menurun maka pendapatan otorita taman laut akan berkurang pula.

Pengunjung taman laut Ste Anne dan Taman Laut Curieuse telah menurun sejak 1996 (pra-peristiwa pemutihan). Otorita Taman Laut saat ini sedang mencari atraksi baru bagi pengunjung untuk memastikan pemasukan yang cukup bagi kelangsungan taman-taman tersebut. Pusat pengunjung sedang direncanakan, tempat penangkaran kura-kura Aldabra raksasa sedang dibangun dan daerah untuk piknik disempurnakan. Sebagai tambahan, kegiatan di DPL-seperti lintas alam dan kegiatan pengamatan burung- sedang dikembangkan. Terjadi beberapa tanda pemulihan pada terumbu-terumbu karang tetapi pengelolaan taman yang efektif akan sangat penting untuk proses selanjutnya.

Sumber: Westmacott dan Lawton (2000)

mungkin diperlukan, bilamana hal ini diperbolehkan oleh undang-undang. Keperluan lainnya mungkin untuk menciptakan daerah perlindungan yang baru sama sekali bagi terumbu-terumbu karangsehat yang tidak termasuk dalam DPL, walaupun hanya sementara saat daerah sekitarnya yang terdegradasi memulihkan diri. Oleh karena itu, pendekatan zonasi dan perundangundangan yang luwes sangat diperlukan selama periode pemulihan.

2. **Menjamin bahwa DPL dikelola secara efektif.**
Terumbu-terumbu karangyang rusak di DPL kemungkinan pulih lebih cepat jika mereka dikelola secara tepat dan tidak diberikan beban tambahan seperti contohnya kunjungan wisatawan yang banyak sekali. Sejumlah buku pegangan untuk panduan dan pengelolaan tersedia untuk membantu dalam hal ini (contohnya Kelleher, 1999; Salm dan Clark, 2000). Kursus-kursus pelatihan untuk para pengelola DPL kini tersedia luas dan program-program pembangunan kapasitas juga sedang dikembangkan dibanyak daerah (contohnya Samudera Hindia barat (Francis *et. al*., 1999) Keterlibatan masyarakat akan meningkatkan efektifitas dan kesuksesan pengelolaan DPL (Walters *et. a*l., 1998), sebagaimana dimasukkannya DPL kedalam kerangka PPT . Pengelola DPL harus turut serta dalam perencanaan dan pelaksanaan PPT untuk mempromosikan perlunya terumbu karang dan mendorong terciptanya keadaan yang akhirnya mengarah kepada pemulihan terumbu karang. Kerusakan terumbu-terumbu karang mempengaruhi jumlah wisatawan ke DPL, sebagaimana juga kehidupan orang-orang yang bergantung pada DPL sebagai pekerja, seperti naturalis, pramuwisata, dan karyawannya (lihat Kotak 3). Jika DPL bergantung pada pendapatan dari wisatawan, pengelolaan dari aspek ini haruslah ditinjau ulang dan dievaluasi kemungkinan untuk mempromosikan atraksi lain selain terumbu karang.

3. **Mengembangkan pendekatan lebih strategis untuk mendirikan sistem DPL.**
Untuk pengembangan sistem DPL skala nasional dan regional, pendekatan lebih strategis mungkin diperlukan untuk memperhatikan terumbu karang sumber dan penampung dan pola penyebaran larva karang. Penelitian terhadap pola arus penyebaran larva akan sangat berguna, akan tetapi pola penyebaran untuk jarak jauh yang tidak tepat tidak boleh menghalangi pendirian daerah perlindungan; yang masih akan berfungsi sebagai terumbu karang sumber untuk pembaharuannya dan penyebaran yang terlokalisir (Roberts, 1998). Karena penyebaran larva karang terjadi melewati batasan-batasan nasional dan politik maka kerjasama internasional dan regional amat diperlukan. Permasalahan penyebaran larva yang "lintas batas" sepenting masalah lintas batas dalam hal polusi laut dan perikanan, yang diatur oleh perjanjian regional dan internasional.

Pertimbangan strategis penting lainya adalah konsep melindungi terumbu karang (*bet-hedging*) melawan kemungkinan pemutihan dengan cara pendirian sistem yang mencakup penyebaran geografis yang luas dan keanekaragaman jenis-jenis terumbu karang. Bila suatu sistem DPL mencakup jangkauan geografis penuh maka kemungkinan besar terumbu-terumbu karang sehat yang terlindung dengan baik akan selamat bilamana *HotSpot* berkembang tak terduga diseluruh wilayah tersebut. Sistem DPL harus memasukkan semua jenis-jenis habitat setara dengan profil terumbu karang(contohnya rataan terumbu karang, tubir, laguna, dan celah laguna) dengan alasan yang sama.

Perikanan dan Pemutihan Karang

Terumbu karang membantu perikanan dalam nilai besar, termasuk ikan dan jenis invertebrata. Pemanfaatan oleh manusia dapat timbul dalam skala komersial besar atau dalam skala *artisanal* kecil. Tujuan utama dari beberapa perikanan adalah mengumpulkan makanan, sementara perikanan lainnya dapat berkaitan dengan pengumpulan barang-barang cinderamata dan perdagangan akuarium. Kesemua bidang usaha ini dapat terpengaruh oleh pemutihan karang. Sementara kebanyakan penelitian perikanan saat ini masih terfokus pada ikan yang dapat dimakan, kita dapat saja menggunakan teori mutakhir untuk mengurangi dampak potensial pemutihan dan degradasi terumbu karangpada perikanan terumbu karangsecara garis besar. Setelah mengkaji ulang teori-teori dasar perikanan kami akan menerapkan prinsip pencegahan untuk membuat beberapa usulan dalam garis besar.

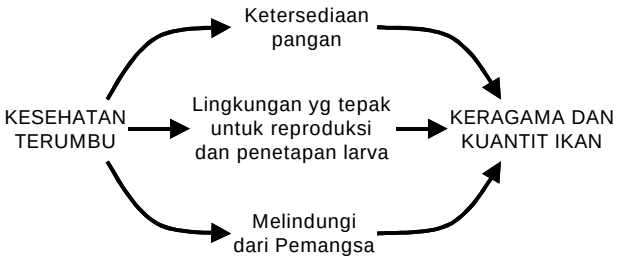
Dampak pemutihan karang bagi perikanan dapat mengikuti teori umum interaksi habitat ikan terhadap terumbu karang (Pet-Soede, 2000). Terpisah dari peledakan itu sendiri, beberapa faktor memberi sumbangan terhadap komposisi komunitas ikan di terumbu, yang kesemuanya berhubungan dengan struktur fisik dan kompleksitas terumbu karangitu.

Pertama-tama, kompetisi untuk makanan adalah faktor penting dalam menentukan keanekaragaman dan kelimpahan ikan. Pada terumbu karang sehat, keragaman dan kuantitas makanan adalah tinggi dan ini berdampak positif langsung pada keragaman dan kelimpahan ikan (Robertson dan Gaines, 1986). Pada terumbu karang yang kurang sehat, karang mati akan cepat ditumbuhi oleh alga secara berlebihan, alga kemudian dimakan oleh herbivora seperti ikan kakatua (*parrotfish*, *Scarus* spp.), dan populasi jenis-jenis ini dapat meningkat. Pemakanan dalam jumlah besar oleh jenis-jenis ini kadangkala merusak struktur terumbu, menyebabkan erosi kerangka karang, tetapi mereka juga membatasi pertumbuhan alga. Meningkatnya populasi ikan bernilai komersial ini juga merupakan keuntungan ekonomis.

Kedua, terumbu karang menyediakan lingkungan yang tepat untuk kegiatan reproduksi dan penempatan larva ikan dan ini akan turut menentukan struktur komunitas ikan dewasa nantinya (Medley *et al*., 1983; Eckert, 1987; Lewis, 1987). Terumbu karang berstruktur kompleks yang sehat akan memaksimalkan jumlah keragaman dan kuantitas ruangan guna kesuksesan reproduksi.

Akhirnya, terumbu karang menyediakan naungan dan perlindungan dari para predator, khususnya bagi ikan berjenis kecil dan ini mempengaruhi pola kelangsungan hidup dan kelimpahannya saat dewasa (Eggleston, 1995). Secara garis besar, terumbu karang sehat berdampak positif bagi ketiga faktor tersebut (makanan, reproduksi dan naungan) dan imbalannya adalah peningkatan keragaman dan kelimpahanikan.

Mata rantai antara terumbu yang sehat dan keanekaragaman dan kelimpahanikan.



Bagaimana perubahan hasil perikanan pada terumba karang yang rusak

Penelitian terakhir menyarankan bahwa pemutihan karang tidak cepat berdampak bagi tangkapan ikan (Kotak 4). Sebagiannya dikarenakan fakta bahwa komunitas ikan terumbu karang bereaksi lambat terhadap perubahan lingkungan, dan sebagian karena beberapa perikanan bergantung pada rangkaian tunggal terumbu karang. Kematian karang yang setelah pemutihan akan, akhirnya, mempengaruhi suatu perikanan seiring dengan degradasi struktur terumbu karang dan kemungkinan-kemungkinan yang dapat terjadi adalah (Pet-Soede, 2000):

- Dimana tidak terdapat karang mati, walaupun pemutihan telah terlokalisir atau ekstensif, sangat kecil kemungkinan terjadi perubahan pada perikanan, baik pada komposisi penangkapan atau tingkat tangkapan.
- Dimana pemutihan telah terlokalisir dan kematian karang rendah, perubahan lokal mungkin terjadi pada struktur komunitas ikan terumbu karang, khususnya jika jenis karang tertentu telah terpengaruh. Hasil penurunan keragaman karang dan kompleksitas habitat

Karang hidup (kiri) menjadi habitat yang tepat bagi keragaman dan kelimpahan komunitas ikan, tidak seperti karang yang rusak (kanan).

Ilustrasi: Virginia Westmacott

Foto: Kristian Teleki

Di Kenya, dhow adalah kapal penangkap ikan khusus bagi nelayan lokal yang kehidupannya tergantung pada kesehatan terumbu karang.

Kotak 4. Dampak pemutihan pada perikanan terumbu karang di Kenya.

Sejak pemutihan tahun 1998, terjadi dampak penting kecil dari jumlah biomas tangkapan dan komposisi perikanan terumbu karang baik dalam DPL maupun daerah tak terlindungi lainnya di Kenya. Penurunan yang meningkat perlahan pada keseluruhan kelimpahanikan telah dicermati sejak monitoring dimulai 1995 karena dampak pengaruh manusia dan bukannya dipicu oleh pemutihan dan kematian karang. Satu pengecualian adalah kenaikan populasi ikan butana yang diamati di beberapa DPL. Ini mungkin karena reaksi jangka pendek terhadap naiknya tutupan alga (*alga cover*). Akan tetapi, dampak pemutihan hanya dapat dibuktikan saat erosi meningkat dan hilangnya struktur tiga dimensi terumbu karang, yang diprediksi akan terjadi 2–10 tahun mendatang. Tentunya, pada saat penulisan, pengamatan-pengamatan tersebut menyatakan terjadinya penurunan populasi ikan butana.

Sumber: McClanahan dan Pet-Soede (2000)

dapat mempengaruhi komposisi tangkapan lokal dan tingkat tangkapan.

- Dimana pemutihan terjadi secara ekstensif dan menyebabkan kematian karang masal, dapat terjadi perubahan penting dibidang perikanan, dengan perubahan berjangka lebih panjang berkaitan dengan hilangnya kompleksitas habitat dan keanekaragaman melalui erosi karang mati. Jenis pemakan karang, seperti ikan kepe-kepe (*butterflyfish*), dan yang khusus memanfaatkan karang sebagai naungannya, seperti beberapa ikan damsel (*damselfish*) dapat dipastikan sebagai kelompok ikan yang pertama kali akan menurun. Akan tetapi, beberapa laporan menyatakan bahwa perubahan yang pertama kali mungkin pada kuantitas pemakan alga seperti ikan kepe-kepe dan ikan butana (*surgeonfish*), sebagai hasil dari pertumbuhan alga yang berlebihan pada karang-karang mati (Goreau *et al.*, 2000; McClanahan dan Pet-Soede, 2000) (Lihat Kotak 4).
- Dampak tambahan potensial, walau belum dapat dipastikan, adalah pemutihan karang menyebabkan kenaikan keracunan ciguatera. Racun Ciguatera diproduksi oleh alga mikroskopik bersel tunggal (*dinoflagellates*) yang tumbuh sangat baik pada permukaan alga terumbu karangyang lebih luas dan lunak. Saat ikan memamah alga, racun terkumpul dalam tubuh mereka dan menyebabkan keracunan pada manusia. Fenomena ini sehubungan dengan gangguan pada ekosistem terumbu karang, mungkin dikarenakan peningkatan pertumbuhan alga besar yang berlebihan (yang menyediakan wilayah permukaan lebih luas bagi pertumbuhan *dinoflagellate*) pada terumbu karang yang terdegradasi (UNEP, 1999a; Quod *et al.*, 2000).

Perubahan pada suatu terumbu karang sebagai hasil kematian karang dapat mempengaruhi hasil perikanan, jenis perikanan dan ruang distribusi dari usaha perikanan:

- Penurunan kemaksimalan hasil melalui reduksi dari makanan dan lingkungan yang tepat bagi reproduksi ikan dan tempat berlindungnya. Konsekuensinya dapat bervariasi sesuai dengan jenis perikanan.
  - Dalam perikanan yang bergantung sepenuhnya pada ikan terumbu karang, tingkat tangkapan mungkin berkurang dan komposisi tangkapan dapat berubah menjadi jenis herbivora. Ikan-ikan ini acapkali ber nilai jual lebih rendah, sehingga pendapatan nelayan berkurang. Komunitas nelayan dengan sedikit pilihan sumber pendapatan bisa saja kesulitan untuk kelangsungan hidupnya.
  - Perikanan yang menargetkan ikan besar yang berenang bebas dan mencari makanannya didekat

Foto: Kristian Teleki

Masyarakat lokal yang bergantung pada penangkapan ikan-ikan karang, seperti perusahaan pengeringan ikan ini di Kepulauan Seychelles, mungkin harus mencari alternatif lain untuk kehidupannya apabila terumbu karang yang rusak mempengaruhi sumber pendapatan mereka.

terumbu karang akan mengalami penurunan tangkapan jika jenis tersebut pindah kedaerah yang lebih baik untuk mencari mangsanya.

  – Perikanan dengan target jenis ikan kecil yang berenang bebas dan menempati daerah terumbu karang atau laguna pada kurun waktu tertentu dalam hidupnya, mungkin akan mengalami penurunan tangkapan saat terumbu karang menghilang.
  – Perikanan multi-jenis dan multi-alat, yang umum di Samudera Hindia dan daerah terumbu karang lainnya, mungkin cukup fleksibel dalam beradaptasi pada perubahan persediaan ikan dan sumber mata pencaharian mereka.Jangka waktu yang cukup lama dalam perubahan persediaan ikan dapat memudahkan adaptasi ini.

- Perubahan struktur terumbu karang mendorong penggunaan metode penangkapan ikan yang merusak, seperti *trawling*, yang sebelumnya tidak dipakai karena kerusakan peralatan memancing yang disebabkan oleh terumbu karang.
- Perubahan tata ruang pada karakteristik habitat terumbu karang dapat mengakibatkan nelayan memindahkan usaha perikanan mereka kedaerah lain untuk beberapa jenis ikan target.

Tindakan-tindakan pengelolaan

Bahkan pada saat pemutihan tidak terjadi, pengelolaan perikanan yang berkelanjutan adalah suatu tantangan, dengan banyaknya jumlah orang yang terlibat, banyak diantaranya tanpa sumber pendapatan atau protein alternatif. Banyak komunitas lokal akan memiliki sedikit pilihan mata pencaharian dan kecil kemungkinan untuk beradaptasi dengan kondisi baru ini. Meningkatnya pengertian, kerjasama dan perasaan memiliki dalam komunitas setempat adalah amat penting. Sementara ketidakpastian tentang dampak nyata pemutihan karang bagi perikanan berlangsung, langkah pencegahan dapat diambil dengan memberikan perhatian khusus bagi tindakan-tindakan sebagai berikut:

1. **Mendirikan zona dilarang memancing dan pembatasan alat perikanan** untuk melindungi tempat berkembang biak dan menyediakan tempat berlindung bagi ikan**.**
2. **Mempertimbangkan ukuran perlindungan tertentu untuk:**
   - Pemakan alga, seperti ikan kakatua dan ikan butana yang berperan penting untuk mempertahankan substrat yang tepat bagi penempelan larva karang**.**
   - Ikan pemakan karang, seperti ikan kepe-kepe dan ikan damsel (*damselfish*) yang ditangkap untuk perdagangan akuarium, mungkn berkurang populasinya karena habitat dan sumber makanannya telah menurun.

   Pertimbangan dapat diberikan untuk mengimplementasikan suatu kesepakatan untuk menghentikan pengumpulan beberapa jenis pada terumbu karangyang rusak parah karena pemutihan, sampai tiba waktunya untuk memulihkan terumbu karang.
3. **Memberlakukan peraturan yang melarang praktik penangkapan ikan yang merusak** (seperti dengan peledak, jaring insang (*gill net*), pukat cincin (*purse seine*), sianida dan racun lain) yang dapat merusak terumbu karang.
4. **Memonitor komposisi dan ukuran** penangkapan untuk mengevaluasi kesuksesan strategi pengelolaan dan mengimplementasikan strategi baru jika diperlukan.
5. **Mengembangkan mata pencaharian pilihan bagi komunitas nelayan bila diperlukan.**
6. **Membatasi masuknya nelayan baru ke daerah penangkapan ikan dengan sistem pemberian ijin.**
7. **Mengatur pengambilan biota-biota terumbu karang untuk akuarium dan cindera mata.** Peraturan yang mengatur kegiatan-kegiatan ini ada di beberapa negara dan harus digalakkan CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) membantu mengontrol perdagangan internasional dengan memberikan ijin eksport seluruh karang batu dan beberapa kerang (contohnya kima raksasa). Negara-negara peserta CITES pun harus melaksanakan kewajiban mereka.

Pariwisata dan Pemutihan Karang

Menyelam dan *snorkelling* adalah hal yang segera terpikir saat dikaitkan dengan pariwisata yang berhubungan dengan terumbu karang, tetapi daerah terumbu karang juga bermanfaat untuk pariwisata pantai, pelayaran kapal pesiar, yacht, memancing dan olahraga air lainnya. Dengan berubahnya terumbu karang yang mungkin dikarenakan pemutihan, ada kekhawatiran para pihak yang bergantung pada industri pariwisata dan pengelola DPL:

- Bagaimana reaksi wisatawan terhadap terumbu karang yang memutih?
- Bagaimana industri pariwisata beradaptasi dengan masalah pemutihan?
- Bagaimana pariwisata dapat dikelola untuk mengurangi kerusakan lanjutan terhadap terumbu karang yang memutih?

Pemutihan tahun 1998 sejauh ini belum berdampak terlalu besar bagi pariwisata (Westmacott *et al.*, 2000a). Tentunya, operator selam melaporkan bahwa wisatawan masih tetap menikmati keindahan terumbu karang bahkan saat kejadian puncaknya sekalipun- dan beberapa bahkan mengomentari apa yang dianggap sebagai karang yang "bersih". Dampak nyata pemutihan terhadap kunjungan wisatawan mungkin tidak terlihat hanya dalam waktu beberapa tahun saja, dan mungkin terlihat pada saat terumbu karang telah terdegradasi parah. Bagaimanapun, pengamatan di Samudera Hindia menduga beberapa kemungkinan dampak yang akan timbul nantinya dari peristiwa tahun 1998 (lihat Kotak 5).

Wisatawan mungkin bereaksi dengan banyak cara terhadap pemutihan dan terumbu karang yang rusak. Jika mereka menyadari pemutihan (dari media, dari mulut ke mulut, atau sumber informasi lain), mereka mungkin memilih untuk tidak mengunjungi daerah yang terpengaruh, hal mana menyebabkan penderitaan industri pariwisata disemua tingkat. Penyelam dan *snorkellers* yang paling berpengalaman mengetahui perubahan pada terumbu- khususnya perubahan dari warna-warna terang menjadi abu-abu kusam atau kecoklatan. Beberapa akan mengunjungi sekali dan tidak akan pernah datang lagi seperti yang lalu-lalu. Mereka yang awam dengan olahraga ini mungkin tidak menyadari permasalahan tersebut. Orang-orang ini dan yang tidak tertarik pada kegiatan yang berhubungan langsung dengan terumbu karang, mungkin tetap mengunjungi daerah yang terkena. Kemungkinan lainnya adalah wisatawan tetap mengunjungi daerah tersebut tetapi mereka tidak mengunjungi terumbu karang, sehingga dalam kasus ini industri selam dan *snorkelling* akan menderita.

Tindakan-tindakan pengelolaan

1. **Mempertahankan populasi ikan sehat bagi para penyelam dan *snorkellers*.**
   Ikan yang beraneka ragam dan warna-warni merupakan atraksi utama bagi penyelam dan *snorkeller*, dan terumbu karang yang terdegradasi akhirnya akan menurunkan jumlah ikan keseluruhan. Metode penyelesaiannya dijelaskan pada bagian "PERIKANAN DAN PEMUTIHAN KARANG". Sehubungan dengan pariwisata, tindakan-tindakan ini meliputi:

- Mengurangi tekanan dari penangkapan ikan di sekeliling daerah penyelaman dan *snorkelling*.
- Mendirikan zona dilarang memancing dimana penyelaman dan *snorkelling* diperbolehkan.
- Mengadakan pemisahan antara zona untuk penyelaman dan *snorkelling* dengan zona penangkapan ikan guna mengurangi konflik.

Kotak 5. Dampak pemutihan karang bagi pariwisata di Samudera Hindia.

Survei di Samudera Hindia tahun 1999, setahun setelah peristiwa pemutihan, menyatakan bahwa pemutihan berdampak bagi pariwisata lebih sedikit dari perkiraan. Tingkat keprihatinan para wisatawan terhadap pemutihan tampaknya berkaitan dengan negara asal mereka dan tingkat publisitas dinegara asalnya mengenai masalah tersebut.

Di Zanzibar, 28% dari penyelam yang diwawancarai tahu tentang pemutihan, bandingkan dengan 45% di Mombasa, Kenya. Walaupun terumbu karang dikedua daerah tersebut sudah memutih, kematian karang hanya terlihat sedikit di Zanzibar, dibandingkan dengan wilayah Mombasa yang tingkat kematiannya lebih dari 50%. Kurang dari 5% penyelam dan *snorkeller* yang diwawancarai dikedua tempat itu berkata bahwa mereka tidak mau menyelam ataupun *snorkelling* karena pemutihan. Berdasarkan jumlah turis yang berkata bahwa aktivitas mereka akan terganggu, telah diperkirakan kerugian finansial potensial senilai US$ 13–20 juta di Mombasa dan US$ 3–5 juta di Zanzibar. Waktu yang akan menentukan apakah ini adalah estimasi realistis.

Di Maldiva, 48% turis yang diwawancarai berkata bahwa hal yang paling mengecewakan dari liburan mereka adalah karang yang mati. Akan tetapi, kedatangan turis naik berkesinambungan sebesar 8% selama 1998 dan 1999, bandingkan dengan 7% selama 1996 dan 1997. Kedatangan wisatawan di Maldiva yang terus meningkat ini sebagiannya adalah jenis wisatawan lain pengganti penyelam. Bahkan sebelum pemutihan terjadi, Kepulauan Maldiva telah mengambil tindakan aktif untuk mendorong pariwisata dengan mempromosikan pulau-pulaunya sebagai tujuan bulan madu. Ini berarti bahwa pemutihan tidak mempengaruhi industri pariwisata. Akan tetapi hasil dari kenaikan kapasitas tempattidur hotel tahun 1997 yaitu prediksi pertumbuhan wisatawan sebesar 10% antara 1998–1999. Jika pemutihan karang ternyata merupakan penyebab kenaikan hanya 8% dan bukannya 10%, dapat dikalkulasikan bahwa pemutihan merugikan secara finansial sebesar US$3 juta.

Sumber: Cesar *et al.* (2000) dan Westmacott *et al.* (2000b)

Di Kepulauan Maladewa (*Maldives*), dimana penyelaman merupakan sumber pendapatan yang besar bagi penduduk setempat, industri pariwisata memegang peranan penting dalam mendukung pengelolaan terumbu karang.

Foto: Susie Westmacott

- Menghentikan praktik penangkapan ikan yang merusak yang menurunkan populasi ikan dan merusak keunikan pesona bawah air.

2. **Melibatkan wisatawan dalam permasalahan pemutihan.** Banyak penyelam dan *snorkeller* ingin terlibat dalam kegiatan pelestarian terumbu karang dan akan menyambut baik kesempatan untuk berpartisipasi pada prakarsa-prakarsa yang berhubungan dengan pemulihan terumbu karang yang memutih. Rencana-rencana pengamatan ikan dan program-program monitoring terumbu karang amatir kian meningkat, contohnya organisasi REEF (Yayasan Pendidikan Lingkungan Terumbu/*Reef Environmental Education Foundation*) dan CEDAN (Pelestarian, pendidikan, pengetahuan penyelaman dan penelitian laut/*Conservation, Education, Diving, Awareness and Marine-research*), keduanya berbasis di Amerika, dan organisasi lainnya yang beroperasi dalam skala internasional (seperti *Coral Cay Conservation, Frontier, Raleigh, Earthwatch, Reef Check*). Contohnya di Taman Laut Bonaire, Kepulauan Netherland Antilles yang mendapat kunjungan tahunan dari REEF dan CEDAN dimana kunjungan-kunjungan tersebut membentuk kesatuan bagian dari program

Pantai yang bersih dan indah akan membantu kelangsungan pariwisata di daerah dimana terumbu-terumbu karangnya telah rusak.

Foto: Kristian Teleki

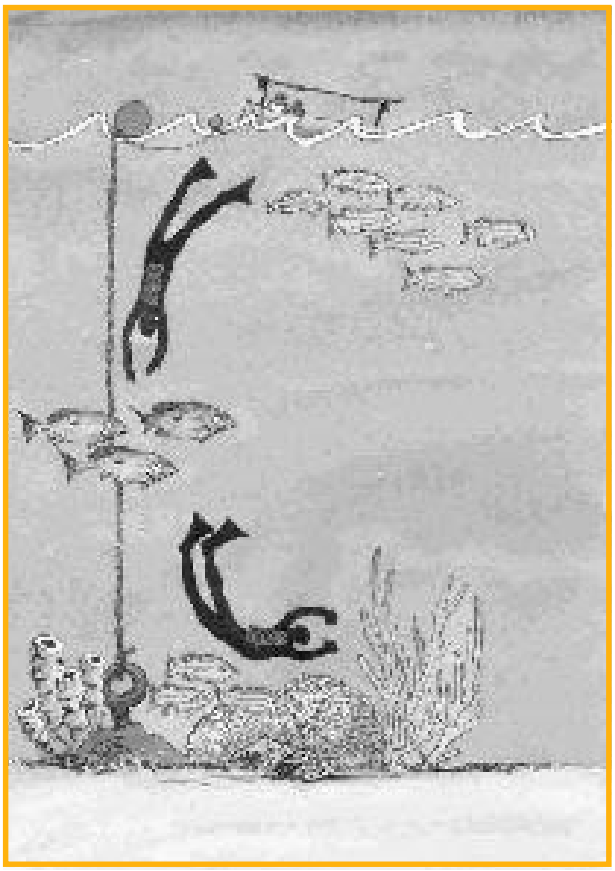
monitoring taman nasional tersebut (lihat bagian MONITORING DAN PENELITIAN dan REFERENSI DAN SUMBER BAHAN-BAHAN).

3. **Diversifikasi industri pariwisata.**
Dalam rangka memonitor perubahan pada kunjungan wisata ke terumbu karang, survei berkala wajib dilakukan, contohnya, di ruang tunggu keberangkatan bandara saat wisatawan sedang menunggu penerbangan mereka. Beberapa negara telah melaksanakan survei tersebut dengan pelaksananya adalah departemen yang bertanggung jawab untuk pariwisata. Pertanyaan-pertanyaan survei dapat dikhususkan pada penyelaman dan *snorkelling* dan kegiatan lain yang berhubungan langsung dengan terumbu karang atau bahkan kegiatan pariwisata lain yang lebih luas. Monitoring perubahan pasar pariwisata akan mengindikasikan apakah pemasaran kegiatan pariwisata alternatif diperlukan untuk mempertahankan industri. Kegiatan wisata kedaerahan, contohnya, dapat menjadi fokus sementara terumbu-terumbu karang rusak diberi kesempatan memulihkan diri; akan tetapi, perhatian harus diberikan untuk menjamin bahwasanya kegiatan pembangunan pesisir itu sendiri tidak menambah kerusakan pada terumbu karang. Perhatian yang lebih besar harus diberikan pada nilai tata ruang suatu daerah, pantai bersih, air yang jernih untuk olahraga air, dsb. Mencari situs baru atau tempat menyelam alternatif mungkin juga diperlukan (contohnya dengan pemandangan bawah air yang lebih dramatis atau populasi ikan yang besar).

4. **Mengurangi dampak kegiatan pariwisata secara umum.**
Pada terumbu karang yang telah terdegradasi dan memutih, pengelolaan kegiatan pariwisata sekelilingnya amat diperlukan. Dampak-dampak berikut ini, antara lainnya, harus dikurangi atau dihilangkan (lihat juga Ancaman lain bagi terumbu, DPL, Pengelolaan Pesisir dan Perikanan Terpadu):

- Kontak langsung dari penyelaman atau *snorkelling* (karena berjalan atau mengetuk-ketuk terumbu); menyediakan informasi bagi para penyelam dan mendidik mereka tentang bahaya potensial yang dapat mereka timbulkan mungkin berguna untuk menghilangkan kerusakan tersebut. Sebagai tambahan, menawarkan para penyelam lokakarya gratis keseimbangan pengapungan/*buoyancy* mungkin dapat pula membantu mengontrol keseimbangan pengapungan mereka dibawah air, melarang pemakaian sarung tangan, dan melarang menyentuh organisme-organisme terumbu karang secara sengaja.
- Situs menyelam atau terumbu karang yang digunakan terlalu sering; merelokasi situs penyelaman atau membatasi jumlah penyelam di tempat menyelam yang terkenal, kesemuanya dapat mengurangi kerusakan pada

Pelampung menghindarkan kerusakan pada terumbu karang akibat jangkar kapal.



Ilustrasi: Virginia Westmacott

Kotak 6. Meminta penyelam untuk membantu biaya pelestarian terumbu karang.

Penyelam menunjukkan "kesediaan untuk membayar" bagi terumbu karang berkualitas bagus. Di Maldiva, sebuah survei setelah peristiwa pemutihan tahun 1998 menunjukkan bahwa setiap turis mau membayar biaya tambahan sebesar US$ 87 dari biaya liburannya agar dapat mengunjungi terumbu karang yang sehat dibandingkan dengan yang terdegradasi. Sekitar 400.000 wisatawan mengunjungi Maldiva dalam satu tahun, ini berarti keseluruhannya bernilai US$ 19 juta selama 1998 dan 1999 (Cesar *et al*., 2000).

Survei serupa di Zanzibar tahun 1996 (pra pemutihan) dan 1999 (paska pemutihan) menunjukkan kesediaan menyumbang untuk pengelolaan terumbu karang sebesar US$2/penyelam pada tahun 1999 dibandingkan US$ 30 di tahun 1996. Perubahan ini dapat dihubungkan tidak hanya dengan penurunan kualitas terumbu karang (penurunan 20% pada tutupan karang batu/*hard coral cover* mulai Nopember 1997 sampai Nopember 1998 pada situs tertentu (Muhando, 1999)), tetapi juga dengan faktor-faktor lain seperti tipe pengunjung negara tersebut. Perbedaan yang terdapat pada penyelam yang diwawancarai tahun 1996 dengan tahun 1999 yaitu yang terakhir adalah penyelam kurang berpengalaman; pendapatan dan variabel sosio-ekonomi lainnya sebanding, berarti perbedaan kesediaan untuk membayar dapat dihubungkan dengan kualitas terumbu karang dan/atau tingkat pengalaman mereka. Di Mombasa, penyelam rata-rata mau membayar US$ 43 guna memelihara kualitas terumbu., pengalaman mereka lebih banyak dibanding mereka yang diwawancarai di Zanzibar, dan mempunyai jammenyelam lebih lama. Faktor-faktor ini dapat dimasukkan dalam kesediaan mereka untuk membayar lebih daripada penyelam di Zanzibar.

Sumber: Westmacott *et al.* (2000b)

daerah terumbu karang sedang dalam proses pemulihan.

- Kerusakan fisik dari kapal yang menjangkar (pelayaran penyelaman, nelayan, pesiar, dan lain-lain) dapat dikelola dengan menunjuk zona penjangkaran, menyediakan pilihan, seperti *mooring*, dan memberlakukan peraturan-peraturan lain sehubungan dengan penjangkaran ramah lingkungan.
- Kontaminasi dari pembuangan limbah dekat pantai (contohnya limbah dari *resort*); mungkin lebih tepat bila *resort* pantai memproses air buangan atau mendaur ulang untuk pemeliharaan taman mereka sehingga nutrisi-nutrisi buangan dapat dipergunakan oleh tanaman.
- Sedimentasi dan polusi konstruksi bangunan (contohnya dermaga kecil dan dermaga besar, pelabuhan dan marina); tersedia bimbingan untuk rupa-rupa kegiatan konstruksi dan pelaksanaannya, dan berbagai metode telah dikembangkan untuk mengurangi dampak tersebut. Hal ini dapat ditingkatkan dan diimplementasikan dengan membuatkan syarat-syarat untuk menyetujui perencanaan pengevaluasian dampak lingkungan melalui sistem peraturan dan perijinan dan juga dengan insentif.

5. Mendorong wisatawan untuk menyumbang dana untuk usaha pemulihan dan pengelolaan.

Mengelola terumbu karang, yang sehat maupun yang tengah pulih dari kerusakan, membutuhkan sumber pendanaan yang memadai dimana merupakan sesuatu kekurangan dari negara-negara yang terpengaruh paling kritis. Indusri pariwisata yang menggantungkan diri atau memanfaatkan terumbu karang secara ekstensif yang terdapat di banyak daerah, harus menyumbang bagi pengelolaan perlindungan terumbu karang. Penyelam-penyelam perorangan dan wisatawan dapatmembantu dengan membayar biaya masuk taman dan dengan menyumbang. Seperti ditunjukkan pada Kotak 6, wisatawan seringkali mau menyumbang dalam jumlah cukup kalau mereka yakin uang tersebut akan dipergunakan untuk pelestarian terumbu karang. Profil sosio-ekonomis para pengunjung, juga kualitas terumbu karang dan atraksi-atraksi lain merupakan faktor-faktor penting kala menghitung jumlah yang mau dibayar oleh para wisatawan untuk kegiatan pengelolaan terumbu karang tersebut. Oleh karena itu survei harus dilaksanakan di setiap daerah untuk menentukan faktor-faktor tersebut sebelum biaya penggunaan diberlakukan.

6. Menyebarluaskankan informasi kepada umum melalui pendidikan dan propaganda lainnya.

Industri pariwisata dapat memegang peranan penting dalam pendidikan dan kegiatan-propaganda lainnya. Hal-hal ini termasuk:

- Brosur-brosur tentang “apa yang boleh dan yang tidak” saat menikmati terumbu karang dan mengenai hubungan antara perubahan iklim dan pemutihan karang, yang dimasukkan dalam paket-paket informasi yang disediakan oleh hotel bagi para tamunya.
- Poster-poster informatif dan warna-warni yang dijual di toko-toko wisata setempat atau kantor-kantor taman.
- Kursus pelatihan bagi pekerja-pekerja wisata untuk mengajarkan wisatawan tentang biologi dan ancaman bagi terumbu karang.
- Tur kapal gratis dari DPL dan pengajaran dengan slide bagi para anggota komunitas, khususnya mereka yang berkecimpung secara ekstensif dengan para wisatawan, sehingga mereka mempunyai rasa tanggung jawab terhadap terumbu karangnya dan akan membantu mengajarkan para wisatawan yang ditemui.

Pengelolaan Pesisir Terpadu dan Pemutihan Karang

Terumbu karang, khususnya terumbu karang tepi, seringkali ditemui dekat pesisir dan terletakmungkin hanya beberapa meter dari garis pantai. Pertumbuhan populasi yang cepat dan naiknya permintaan untuk industri, pariwisata, perumahan, pelabuhan dan tanjung menghasilkan perkembangan pesisir yang ekstensif. Seperti telah disebutkan sebelumnya, ini berdampak besar bagi terumbu karang dan sama seperti dampak manusia lainnya, pasti mencegah pemulihan terumbu karang yang memutih. Kesehatan ekosistem yang berdekatan, seperti rumput laut dan bakau, juga berperan penting bagi kesehatan terumbu karang. Berikutnya, mempertahankan nilai estetika pesisir, termasuk pantai dan air yang bersih, dan tata ruang yang tak terganggu, akan menjadi amat penting bila terumbu karang tidak menarik lagi bagi wisatawan. Solusi bagi masalah-masalah tersebut membutuhkan perhatian khusus bagi perencanaan dan peraturan pengembangan pesisir dan pembuangan limbah, dan mungkin lebih baik dialamatkan sebagai pengelolaan pesisir terpadu (Integrated Coastal Management/ICM).

ICM mempertimbangkan zona pesisir dan pemisah daerah aliran sungai (*watershed*) yang berhubungan, dalam suatu unit dan usaha-usaha untuk mengintegrasikan pengelolaan semua sektor terkait (Bijlsma *et al.*, 1993; Post dan Lundin, 1996; Cicin-Sain dan Knecht, 1998). Banyak negara telah melaksanakan untuk pertamakalinya atau mengimplementasikan program-program ICM di tingkat lokal dan/atau nasional. Belize, contohnya, telah menemukan kerangka kerja khusus yang bermanfaat untuk

Kotak 7. Mengelola *Belize Barrier Reef* dengan pendekatan ICM.

Belize merupakan salah satu ekosistem terumbu karang yang paling ekstensif di kawasan barat, terdiri dari satu terumbu karang penghalang terbesar di dunia, tiga atol dan jaringan kerja kompleks dari terumbu karang dekat pantai. Daerah ini telah terkena beberapa peristiwa pemutihan baru-baru ini walaupun secara umum negara ini beruntung karena mempunyai beberapa terumbu karang yang tersehat diKaribia. Taman Laut *Great Barrier Reef* di Australia adalah contoh potensial untuk pengelolaan dari terumbu karang dan ekosistem terkait di negara itu. Akan tetapi, kebutuhan pengelolaan aktivitas pemanfaatan lahan disadari lebih fundamental, dan pendekatan ICM diadopsi sebagai kerangka kerja umum.

Program ICM telah dilaksanakankan sejak 1990 dan struktur institusional telah didirikan sebagai koodinator kegiatan pengelolaan di zona pesisir. Ukuran-ukuran diletakkan sebagai bagian dari Perencanaan Pengelolaan Kawasan Pesisir nasional yang langsung menguntungkan terumbu karang, termasuk: skema zonasi wilayah pesisir, menyertakan DPL; ukuran-ukuran pengelolaan penangkapan ikan; program *mooring buoy* nasional; garis-garis haluan peraturan dan kebijaksanaan; kebijaksanaan untuk industri lepas pantai dan pengapalan; penelitian dan program monitoring; kampanye pendidikan dan kesadaran masyarakat; ukuran-ukuran bagi partisipasi masyarakat; dan mekanisme kelangsungan kemampuan finansial.

Sumber: Gibson *et al.*, 1998

Pohon bakau yang ditanam kembali dapat meningkatkan perlindungan alami pesisir untuk menahan erosi dan dapat mengurangi sedimentasi ke terumbu terdekat, seperti disini, di Mauritius.

Foto: Susie Westmacott.

Foto: Susie Westmacott.

Pengelolaan pesisir yang terpadu melibatkan perencanaan matang dan zonasi konstruksi dan kegiatan lainnya, seperti lokasi dermaga untuk menghindari erosi.

menyelamatkan terumbu karang (Kotak 7). Di Tanzania (negara lain dimana terumbu karang merupakan sumber penting dan juga telah dipengaruhi oleh pemutihan), kebijaksanaan ICM skala nasional sedang dikembangkan dan situs setempat untuk program khusus ICM sedang diimplementasikan untuk menguji rencana dan mekanisme koordinasi dilapangan (Francis *et al.*, 1997). Negara-negara di bagian barat Samudera Hindia telah menunjukkan komitmen politik khusus untuk mendirikan program-program ICM melalui sejumlah pertemuan tingkat menteri (Lindén dan Lundin, 1997).

Buku ini telah meliput DPL, perikanan dan pariwisata dalam bagian-bagian yang berbeda, kesemuanya adalah elemen-elemen penting penunjang keberhasilan program ICM. Permasalahan lain termasuk:

- Polusi bersumber dari daratan.
- Konstruksi dan kegiatan-kegiatan lain pada daerah pesisir dan sepanjang pemisah daerah aliran sungai (*watershed*).

Struktur-struktur pemecah ombak yang mahal seringkali dipakai untuk mencegah erosi, tetapi pemulihan terumbu karang sebagai penghalang air yang alami mungkin merupakan strategi jangka panjang yang lebih baik.

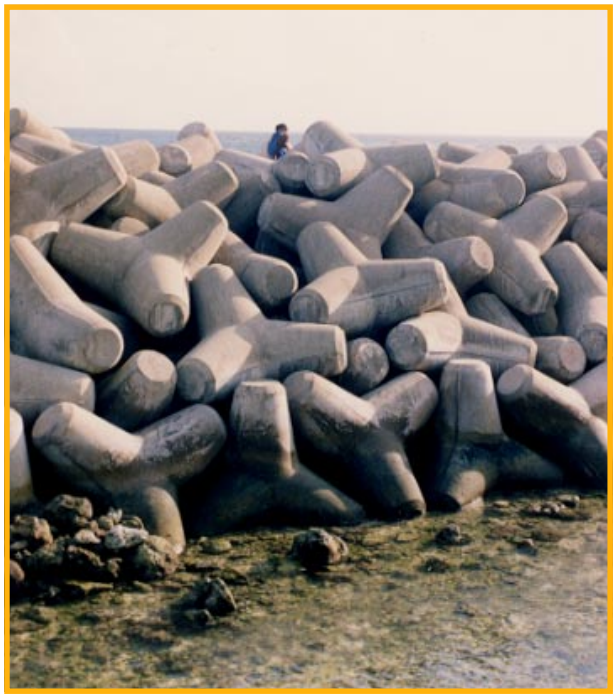


Foto: Susie Westmacott.

- Pertanian, perhutanan dan praktek pemanfaatan tanah di daerah pesisir dan sepanjang pemisah daerah aliran sungai.
- Pertambangan lepas pantai dan industri migas.
- Kegiatan berkaitan dengan pengangkutan air dan segala bentuk pengapalan.

Adalah mustahil membahas disini setiap permasalahan yang harus diperhatikan untuk suatu program ICM yang efektif, tetapi penting untuk dicatat bahwa semuanya diperlukan bagi kesuksesan pengelolaan terumbu karang dan untuk menciptakan kondisi yang dapat memaksimalkan pemulihan ekosistem terumbu karang yang rusak.

Tindakan-tindakan pengelolaan

Kebutuhan utama adalah menyelesaikan pengembangan dan implementasi dari kebijaksanaan dan program-program ICM berskala nasional dan lokal. Kesuksesan ICM membutuhkan kesadaran prinsip-prinsip partisipasi para pihak yang terkait dan peningkatan kerjasama antara para kelompok pengguna; prinsip pencegahan; dan monitoring dan evaluasi dari intervensi pengelolaan untuk memastikan bahwa hal tersebut diadaptasi sebagai reaksi atas perubahan kesehatan ekosistem (ini khususnya penting untuk ekosistem yang rapuh seperti terumbu karang).

Bimbingan untuk ICM tersedia dari banyak sumber (contohnya Clark, 1996; Post dan Lundin, 1996; Ehler *et al.*, 1997; Hatziolos, 1997; Cicin-Sain dan Knetch, 1998; WWF/IUCN, 1998). Bagaimanapu kebijaksanaan dan program-program ICM membutuhkan perhatian khusus yang lebih besar untuk menciptakan kondisi untuk memulihkan terumbu karang dan pemeliharaan kesehatan bagi terumbu karang yang belum rusak.

Oleh karena itu, tindakan-tindakan berikut perlu ditekankan:

1. **Menerapkan sistem DPL dalam kerangka kerja ICM**, yang perlu diperhatikan adalah pengetahuan tentang inter-koneksi (*inter-connectedness*), kepekaan dan kemampuan pulih terumbu karang yang berbeda.
2. **Mengimplementasikan ukuran-ukuran untuk meningkatkan penangkapan ikan yang dikelola berkelanjutan** dan keterpaduan dari semua ini dalam garis besar perkembangan ekonomi daerah pesisir.
3. **Pengembangan dan implementasi** dari alat perencanaan, garis-garis acuan, peraturan dan ukuran-ukuran insentif

dan mekanisme-mekanisme lain untuk mempromosikan konstruksi ramah lingkungan dan bentuk lain dari pemanfaatan tanah dan pembangunan pesisir.

4. **Peraturan bagi polusi bersumber dari daratan**. Polusi alam ini harus ditangani secara internasional, regional, nasional dan lokal serta banyak prakarsa sedang direncanakan. Pengelola terumbu karang dan pembuat keputusan dapat membantu mempromosikan teknologi baru dan mendorong metode-metode temuan baru untuk limbah buangan ramah lingkungan, seperti pemanfaatan lahan basah untuk menyaring keluar limbah kaya nutrisi, dan "kering" atau kompos kotoran.
5. **Pengelolaan pengapalan dan pengangkutan lain untuk mengurangi kerusakan pada terumbu karang dan ekosistem yang berasosiasi dengan penjangkaran, pendaratan (*grounding*), tumpahan minyak dan limbah buangan**. Seperti polusi bersumber dari daratan, topik ini tidak dapat tercakup secara lengkap disini, pengelola dan pembuat keputusan dapat merujuk pada sumber informasi yang diberikan diakhir buku ini. Kerangka kerja legal yang baik untuk peraturan pengapalan komersial kini tersedia sebagai hasil dari Organisasi Maritim Internasional. Akan tetapi, tidak semua negara mempunyai peraturan dalam negeri, sumber-sumber ataupun kapasitas untuk mengembangkan dan mengimplementasikan ukuran-ukuran yang diperlukan. Ini termasuk reaksi langsung dan segera; untuk penumpahan minyak, peraturan-peraturan *dumping*, kondisi fasilitas pelabuhan bagi pembuangan limbah, rencana rute pelayaran dan navigasi yang tepat atau pemilihan daerah-daerah yang peka (seperti terumbu karang) dengan pengaturan khususnya untuk pengapalan (contohnya *Particularly Sensitive Sea Areas*, or PSSAs/ Area Laut yang sensitif tertentu). Peraturan kegiatan-kegiatan dari pengangkutan kecil juga perlu. Pengelola harus meningkatkan pendirian *mooring buoys*, perkembangan etika kerja dan pelatihan untuk pekerja kapal untuk praktek pengoperasian yang aman dan ramah lingkungan.
6. **Perlindungan garis pantai terhadap erosi**. Erosi pesisir dapat meningkat jika terumbu karang yang sebelumnya melindungi pantai dari ombak dan badai, dirusak. Erosi beberapa meter dilaporkan terjadi di pantai dibeberapa daerah Seychelles dimana terumbu karangtelah terkena pemutihan (Souter *et al.*, 2000). Ini dapat mengarahkan kita pada pengenalan jalan keluar teknis yang mahal pelaksanaannya namun tidak selalu dapat mengatasi erosi. Membiarkan daratan beradaptasi terhadap perubahan melalui proses alami (pelaksanaan lembut) mungkin merupakan pendekatan yang lebih baik, sebagaimana juga mempromosikan pemulihan terumbu karang yang rusak (lihat Tindakan Restorasi) untuk menciptakan kembali fungsi dermaga alami mereka.

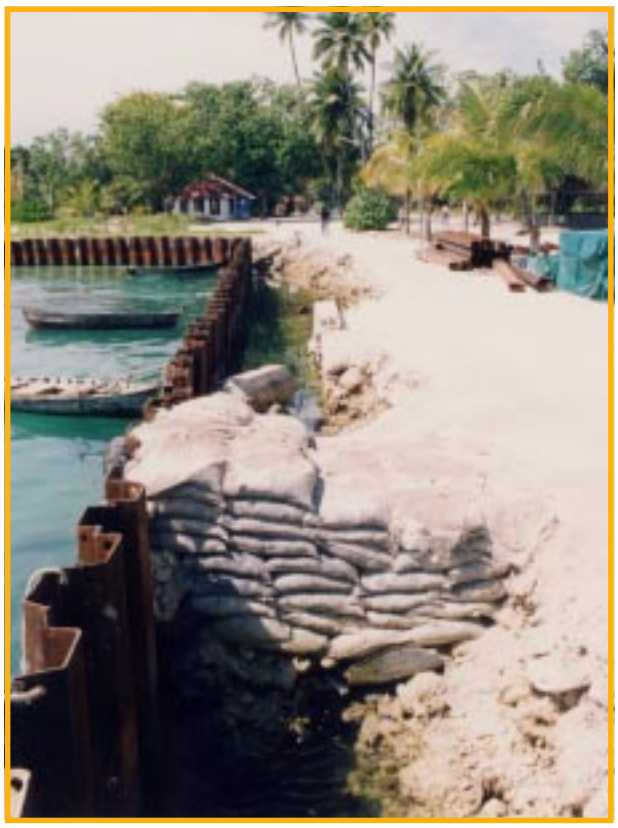


Foto: Susie Westmacott.

Sedimentasi selama pembangunan pelabuhan dapat dikurangi melalui penggunaan "revetments", contohnya di Kepulauan Maladewa (*Maldives*).

Tehnik-tehnik Restorasi

Tehnik-tehnik restorasi dapat dipergunakan untuk membantu dan mempercepat pemulihan terumbu karang yang rusak dengan meningkatkan atau menambah proses alamiah dari kemampuan pemulihan karang.

Skala keterlibatan adalah satu hal yang patut dipertimbangkan saat memutuskan untuk merestorasi kondisi terumbu karang terpengaruh dampak pemutihan yang mematikan. Banyak usaha rehabilitasi terbukti tidak efektif atau layak dalam skala besar (km^2), baik secara ekonomis maupun ekologis. Tidak masuk akal bila restorasi yang mahal dilakukan pada saat faktor kerusakan tetap terjadi. Selanjutnya, proses pemulihan alamiah mungkin sudah terjadi dan dapat terganggu dengan kegiatan restorasi ini dan malah dapat lebih merugikan dari pada menguntungkan. Penilaian dilakukan secara hati-hati sebelum menentukan apakah intervensi aktif dapat lebih berguna. Dalam banyak kasus, pemulihan alamiah lebih baik daripada "penyembuhan" yang riskan dan mahal.

Oleh karena itu, tehnik-tehnik restorasi dan rehabilitasi terumbu karang yang aktif (seperti pada contoh dibawah) telah dicoba didaerah-daerah terlokalisir dan berskala sangat kecil (kurang dari 100 m^2). Metode-metode seperti ini hanya akan merubah sebagian kecil dan berdampak minimal umum bagi terumbu karang, bahkan di negara-negara kecil. Bagaimanapun, metode ini dapat berguna bagi daerah-daerah seperti taman karang kecil yang bernilai tinggi bagi kunjungan wisata.

Sejumlah pendekatan yang berbeda telah diteliti saat ini:

Menghilangkan tekanan-tekanan

Ini harus selalu menjadi prioritas utama karena akan mendorong proses pemulihan alami. Metode-metode perbaikan kondisi untuk pertumbuhan karang dengan menghilangkan tekanan yang ada dan berpotensi untuk terjadi yang menghambat penempelan, keselamatan hidup dan pertumbuhan karang-karang telah dijelaskan dalam bagian sebelumnya.

Peningkatan ketersediaan substrat untuk penempelan larva

Walaupun telah mengalami peristiwa pemutihan, karang mati berguna sebagai landasan untuk penempelan larva, ketersediaan substrat yang cocok dapat berkurang karena pertumbuhan alga yang berlebihan. Karena alasan inilah maka polusi yang bersumber dari daratan penyebab penambahan nutrisi harus diminimalkan dan populasi ikan pemakan alga harus dipertahankan. Peningkatan ketersediaan substrat untuk penempelan larva hanya dibutuhkan sekali yaitu pada saat struktur terumbu karang telah terdegradasi. Solusi-solusi untuk peningkatan ketersediaan substrat bervariasi dari yang mudah hingga ke tahap yang sulit dan dari yang murah hingga yang mahal. Banyak diantaranya masih dipelajari:

- Banyak peneliti sedang menguji coba praktek dari peletakkan substrat buatan di dasar laut, seperti blok beton (Clark dan Edwards (1999) – lihat Kotak 8), reruntuhan (Wilhelminson *et al.*, 1998) atau struktur lain (Rilov dan Benayahu, 1998; ReefBall, 2000). Terumbu-terumbu karang buatan seperti ini mungkin dapat memberi keuntungan tambahan yaitu menyediakan tempat berlindung bagi ikan terumbu karang (Whitmarsh, 1997). Perhatian harus diberikan untuk menghindari polusi atau kerusakan lanjutan bagi lingkungan sekitar sebagai hasil dari pemilihan bahan-bahan atau rancangan struktur tersebut. Contohnya, besi bekas atau barang sampah lainnya tidak boleh dipakai walau mungkin tampaknya ini merupakan solusi pembuangan sampah yang gampang. (van Treek dan Schumacher, 1998). Biaya pemasangan terumbu karang buatan atau substrat buatan untuk daerah yang luas seharusnya dilarang untuk terumbu karang yang terdegradasi dalam daerah perluasan yang besar.
- Pertimbangan diberikan untuk menstabilkan atau memindahkan bahan-bahan substrat mudah lepas (contohnya patahan-patahan karang) dan memindahkan alga (Mc Clanahan *et al.*, 1999) dan organisme-organisme lain yang mungkin menghuni tempat larva atau merusak rekrut-rekrut muda.
- Penggunaan elektrolisis untuk menyimpan materi berbahan dasar kalsium diatas permukaan buatan masih dalam tahap eksperimen awal. Arus-arus listrik menyebabkan mineral-mineral kalsium dan magnesium jatuh dari air laut ke bahan konduksi seperti kawat ayam. Kerangka kerja yang dihasilkan terutama terdiri dari kalsium karbonat dan serupa seperti terumbu batu kapur (Hilbertz *et al.*, 1977). Para pelaku aktif sedang menguji hal ini untuk penempelan alamiah bagi larva karang dan untuk transplantasi karang-karang (lihat dibawah) (contohnya, Hilbertz, 1981; van Treeck dan Schuhmacher, 1998, 1999; Schillak dan Meyer, 1999; Meyer dan Schillak, 2000). Teknologi ini mungkin dapat

Kotak 8. Rehabilitasi Terumbu Karang di Kepulauan Maldiva.

Karang-karang sudah menjadi sumber utama bahan-bahan konstruksi di Maldiva selama bertahun-tahun dan terumbu karang yang berada didekat Male, ibukotanya, telah hancur. Dalam suatu studi kasus, blok-blok beton ditempatkan pada terumbu-terumbu karang yang rusak untuk mengevaluasi tehnik-tehnik restorasi yang berbeda-beda.

Proses pemulihan alami ternyata sangat efisien. Dalam kurun waktu 6 bulan, larva karang telah menempel pada blok-blok dan dalam waktu satu tahun, tercatat kepadatan 31 rekrut/m^2. Karang juga ditransplantasikan pada blok-blok dari terumbu karang disekitarnya, tetapi tingkat keselamatannya hanya sebesar 50% setelah dua tahun. Tampaknya bilamana tersedia permukaan yang cocok untuk penempelan karang dan kualitas air yang mendukung bagi perkembangan karang, rekrutmen alami dapat memberikan hasil terhadap restorasi substansi terumbu karang dalam waktu 3–4 tahun, tanpa transplantasi.

Sumber: Clark dan Edwards (1999)

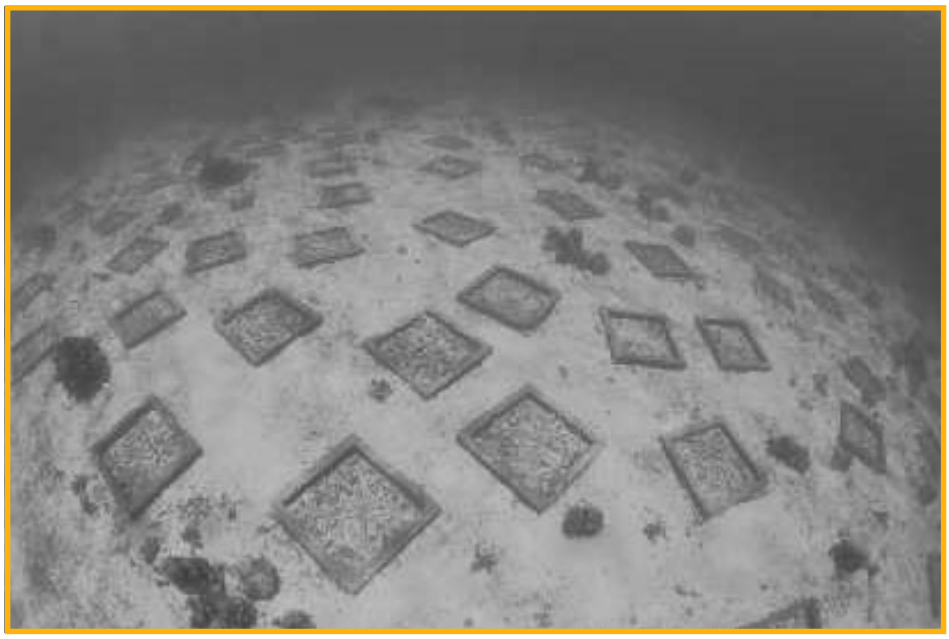


Foto: Thomas Heeger

Budidaya karang di Pulau Olango, Filipina: pengurungan kecil disekelilingnya melindungi patahan-patahan karang yang ditransplantasi.

Para wanita dari desa setempat mempersiapkan patahan-patahan karang untuk ditransplantasi ke dalam kurungan.

Foto: Thomas Heeger

Kotak 9. Budidaya karang di Filipina.

Tahun 1997 pembudidayaan karang yang hemat biaya yang bertujuan utama untuk merehabilitasi terumbu karang didirikan dengan bantuan penduduk desa Barangay Caw-oy, Kepulauan Olango, Cebu, Filipina. Enam ribu patahan berasal dari karang dipotong dari karang sekitarnya dan ditransplantasikan kepada terumbu yang memiliki persentase penutupan karang yang rendah. Setelah empat bulan, 87% patahan karang selamat dan populasi ikan pada budidaya tersebut dilaporkan meningkat. Budidaya itu juga sebagai mata pencaharian bagi penduduk setempat melalui penjualan koloni karang untuk rehabilitasi terumbu karang rusak didaerah-daerah lain di Filipina. Keuntungan diperuntukkan bagi proyek-proyek setempat seperti beasiswa, ruang P3K dan penerangan jalan.

Biaya rehabilitasi 1 hektar terumbu karang menggunakan 2 patahan/m^2 (tingkat tutupan 12.5%) adalah US$ 2,100. Karena kemungkinan pendapatan dari 1 hektar terumbu karang yang sehat di Filipina diperkirakan berkisar antara US$ 319–1,113 pertahun (White dan Cruz-Trinidad, 1998) dengan metode ini rehabilitasi akan berpotensi ekonomi yang berkepanjangan setelah beberapa tahun. Hal ini akan menjadi kenyataan khususnya bila nelayan-nelayan setempat mempunyai mata pencaharian alternatif yang lebih baik dalam pembudidayaan karang dan berpindah dari tehnik penangkapan ikan yang merusak.

Sumber : Heeger *et al.*, (1999, 2000)

dipakai dalam skala kecil untuk menstimulasi pertumbuhan karang pada bagian minor dari terumbu karang tetapi karena biaya pelaksanaannya tinggi maka kurang cocok untuk skala besar.

Transplantasi karang-karang dari satu daerah ke daerah yang lain

Karang dapat dipindahkan dari sebuah terumbu karang dan ditranplantasikan pada substrat alam pada terumbu yang telah rusak (Lindahl, 1998) atau pada substrat buatan seperti blok beton (Clark dan Edwards, 1995). Namun sepertinya ini adalah metode yang mahal (kecuali tersedia pekerja sukarelawan untuk pekerjaan transplantasi ini) dan seringkali mempunyai tingkat kesuksesan yang rendah, karena karang yang ditransplantasi cenderung lebih rentan terhadap tekanan (lihat Edwards dan Clark, 1999). Sumber untuk transplantasi karang harus dipilih secara hati-hati guna menghindari kerusakan bagi terumbu lainnya. Sumber yang paling baik mungkin terumbu-terumbu karang yang sudah pasti akan terusak parah dimasa mendatang akibat penggerukan pasir, reklamasi pantai, pembuangan cairan limbah atau kegiatan-kegiatan yang tidak tercegah atau bila tak ada jalan keluar.

Pembudidayaan Karang

Beberapa upaya telah dilakukan untuk membudidayakan karang, terutama di Asia Tenggara (lihat Kotak 9) (Franklin *et al.*, 1998). Lain seperti transplantasi pada karang langsung, untuk budidaya karang maka patahan ditransplantasikan pada lokasi yang terlindung dan tumbuh menjadi ukuran tertentu sebelum dipakai untuk tujuan lain. Pembudidayaan karang yang sukses dapat berguna sebagai sumber karang untuk merehabilitasi terumbu yang rusak dan dapat dipakai sebagai atraksi bawah air bagi *snorkeller* (Alcock, 1999). Diperlukan penyelidikan lebih lanjut mengenai budidaya karang untuk memotong biaya dan meninggikan tingkat kesuksesan. Penelitian di Australia menunjukkan tingkat kematian dapat ditekan antara 2–5% dan penghilangan biomassa dari koloni karang donor sampai dengan 50% tidak mempengaruhi pertumbuhannya (Alcock, 1999).

Tindakan-tindakan pengelolaan

Karena restorasi karang secara aktif umumnya mahal dan tidak selalu berhasil, pengelola harus menilik situasinya secara cermat sebelum melaksanakan program tersebut dan mempertimbangkan beberapa faktor yaitu:

1. Apa **tujuan** proyek restorasi? Apakah terumbu karangyang direstorasi untuk pelestarian keanekaragaman, pariwisata, perikanan, perlindungan terhadap erosi pesisir atau hanya untuk penelitian saja? Tujuan tersebut akan membantu penentuan pemakaian metode.
2. Apa **skala** dari proyek restorasi tersebut? Apakah daerah yang terdegradasi merupakan lokasi tertentu (yaitu ditempat kapal biasa membuang jangkar atau berlabuh), sebagian atau seluruh komplek terumbu? Jika daerah yang rusak adalah luas (contohnya sehabis pemutihan besar-besaran), perhatian khusus harus diberikan seperti pada arah mana restorasi akan dilakukan dalam hal pola-pola arus (mendorong pembibitan karang ke hilir tetapi menghindari sumber-sumber polusi dari hulu) dan terbukanya kemungkinan pengrusakan akibat gelombang, sumber-sumber polusi dan kekeruhan air.
3. Ketika tujuan dan skala telah ditentukan, evaluasi **biaya** proyek perlu dilakukan dengan memperhatikan penggunaan dana yang seefektif mungkin (lihat Spurgeon 1998 untuk detil).
4. Bagaimana **tingkat kesuksesan** dari metode yang akan dipakai? Metode manakah yang paling **hemat biaya** untuk daerah tersebut? Penting!, penggunaan metode tidak boleh menambah kerusakan terumbu.
5. Apa yang akan menjadi **kemampuan bertahan** jangka panjang dari program ini? Untuk menjamin kesuksesan, kesinambungan proyek harus cukup lama sehingga kemajuan restorasi dapat dimonitor.
6. Apakah **komunitas setempat dan pengguna terumbu karang** dapat dilibatkan? Partisipasi aktif dari mereka yang mata pencahariannya terkait dengan terumbu karang akan meningkatkan peluang keberhasilan (lihat Kotak 9).

Monitoring dan Penelitian

Monitoring

Program monitoring yang dirancang dengan baik adalah perangkat sangat penting untuk mengikuti perubahan-perubahan pada terumbu karang yang memutih dan untuk mengawasi kondisi umum dari terumbu yang tidak terkena dampak pemutihan. Monitoring harus dimulai secara sederhana, adaptif dan fleksibel, dan dirancang sesuai dengan tujuan pengelolaan. Organisasi-organisasi setempat, universitas dan LSM dapat melaksanakan beberapa kegiatan monitoring yang terbaik. Kelompok-kelompok ini fleksibel dalam merancang program monitoring mereka sendiri sesuai dengan kapasitasnya masing-masing dan mampu bekerja dengan penduduk setempat, yang merupakan faktor penting penentu kelangsungan jangka panjang dari program monitoring tersebut. Kini tersedia sejumlah program-program monitoring terumbu karang regional maupun global disertai dengan panduan, buku pegangan dan pelatihan. Pengelola terumbu karangjuga dapat menilik beberapa program monitoring suhu global seperti yang tengah dijalankan oleh NOAA. Dua program prinsipil tersebut yang memberi perhatian khusus terhadap pemutihan adalah:

- **Jaringan Monitoring Terumbu Karang Dunia (*Global Coral Reef Monitoring Network* (*GCRMN*))**
  GCRMN memfokuskan diri pada monitoring ditingkat pemerintahan (atau profesional). Setelah lengkap, maka jaringan global ini terdiri dari 15 jaringan kerja regional, atau simpulnya, di enam region diseluruh dunia yang independen. Melalui jaringan-jaringan kerja regional ini, GCRMN mempromosikan metode monitoring ilmiah yang dapat diandalkan dan dibantu oleh pelatihan. Contohnya dua simpul telah didirikan di Samudera Hindia- satu di Sri Langka, melayani negara-negara di Asia Tenggara, dan satu di Mauritius, meliputi negara-negara kepulauan di selatan Samudera Hindia. Data yang terkumpul disimpan dalam basis data regional dan dipergunakan dalam laporan-laporan nasional dari status terumbu. Hasil nasional digabungkan menjadi laporan "*Status of the Reefs*" diterbitkan setiap dua tahun; laporan status pertama dibuat tahun 1998 (Wilkinson, 1998). GCRMN kini sedang mengembangkan pedoman untuk mengevaluasi parameter-parameter sosio-ekonomi yang relevan dengan terumbu karang, yang mana akan sangat berguna di bidang pemutihan karang.

Foto: ARVAM

Pengkajian petutupan karang setelah pemutihan menggunakan transek garis.

Foto: Erik Meesters

Pertumbuhan karang baru, seperti rekrutmen karang baru, diukur dengan kuadrat.

- **Pengecekan terumbu (*Reef Check*)**
  Pengecekan terumbu karang adalah suatu protokol untuk mengevaluasi terumbu karang secara cepat dan dirancang khususnya untuk para non-profesional dan sukarelawan. Pertama kali dilaksanakan tahun 1997, kini dilaksanakan tahunan diseluruh dunia dan melibatkan sejumlah besar sukarelawan penyelam SCUBA dan para *snorkeller* yang antusias di lebih dari 40 negara. Suatu jaringan kerja di koordinir secara regional, nasional dan lokal yang memadukan tim-tim penyelam rekreasi yang berpengalaman dengan ilmuwan kelautan profesional. Para ilmuwan ini bertanggung jawab untuk pelatihan, memimpin survei dan memastikan keakuratan pengoleksian data. Metode pengecekan terumbu karang memanfaatkan organisme-organisme indikator pilihan atas usulan GCRMN. Metodologi ini dapat dipelajari dalam satu hari dan melibatkan sistem kualitas kontrol yang ketat. Oleh karena itu, pengecekan terumbu karang ini mewakili monitoring protokol dari GCRMN yang berbasiskan masyarakat. Informasi lebih lanjut dapat dilihat di Hodgson (1999, 2000) dan di situs internet Pengecekan Terumbu (lihat bagian *REFERENSI DAN SUMBER BAHAN-BAHAN*).

Terdapat sejumlah permasalahan penting yang harus diperhatikan dalam pengembangan program monitoring sehubungan dengan pemutihan atau kerusakan serius lainnya bagi terumbu:

1. Program monitoring regional atau nasional apakah yang terdapat didaerah itu? Ini sebaiknya menghubungi situs internet atau langsung kepada koordinator program (lihat bagian *REFERENSI DAN SUMBER BAHAN-BAHAN*). Metode pengecekan terumbu tersedia di situs internet mereka dan GCRMN menguraikan garis besar protokolnya secara "*on-line*". Keduanya mungkin dapat dipergunakan untuk memfasilitasi pendanaan atau dukungan permulaan. Organisasi-organisasi atau program-program lain secara regional mungkin juga dapat memberikan asistensi.
2. Apakah tujuan program monitoring? Hal ini harus didefinisikan secara jelas karena dapat mempengaruhi

pemilihan metode. Metode itu sendiri harus mudah, tetapi fleksibel dan adaptif sehingga saat sumber-sumber tersedia, informasi secara lengkap dapat dikumpulkan atau dapat dipergunakan metode yang lebih canggih.

3. Langkah pertama adalah pengevaluasian cepat dari daerah yang mengalami pemutihan atau rusak dimana hasilnya dapat dibandingkan dengan data pra-dampak yang ada.
4. Data biologi, fisik dan sosio-ekonomi harus dikumpulkan agar pemulihan dalam hubungannya dengan bidang lingkungan dan sosial yang lebih luas. Data biologi menggambarkan kesehatan ekosistem dan mungkin termasuk tutupan karang dan keanekaragaman, kelimpahanikan dan kepadatan lamun. Penghitungan temperatur, kekeruhan air, sedimentasi dan nutrisi harus termasuk dalam data fisik. Data sosio-ekonomi termasuk parameter-parameter berjangkauan luas, seperti jumlah nelayan dan tangkapan, tingkat kunjungan dan jumlah penyelam, tingkat pendapatan, tingkat pengangguran dan pembuangan limbah. Perhatian khusus harus diberikan dalam memilih metode untuk monitoring sosio-ekonomi dan adalah penting untuk mencari saran untuk komponen penting ini dari suatu program monitoring.
5. Metode monitoring yang dipilih harus sesuai dengan ketersediaan finansial dan SDM serta membutuhkan kemampuan yang sesuai dengan kapasitas manusianya. Suatu tingkat monitoring yang lebih mudah yang dapat diandalkan dan akurat tentunya lebih baik daripada tidak ada monitoring sama sekali atau program yang sulit yang melebihi kemampuan kapasitas organisasi dan menghasilkan data yang tidak dapat diandalkan. Umumnya, pengumpulan informasi dasar yang diperlukan untuk melacak perubahan karena pemutihan tidak dibutuhkan pekerja yang sangat terlatih.
6. Pemilihan lokasi monitoring harus memperhatikan strategi pengelolaan yang dipakai di daerah dilindungi maupun yang tidak, dan apakah lokasi tersebut dapat dikatakan terumbu sumber (source) atau terumbu penampung (sink).
7. Waktu yang memadai harus tersedia dalam program kerja baik untuk pengumpulan dan analisis data. Data yang dikumpulkan harus dibandingkan dengan data yang terkumpul sebelumnya dan harus disumbangkan untuk program monitoring regional dan global yang sesuai.

Dibanyak negara, kekurangan kapasitas pada badan pengelola merupakan hambatan utama untuk mendirikan program monitoring. Beberapa program global dan regional menyelenggarakan kursus-kursus pelatihan yang dibutuhkan dan mungkin pula dapat menyediakan dana. Pengelola terumbu setidaknya harus mencari jalan lain untuk memperoleh informasi yang sama. Ini dapat termasuk:

- Mempekerjakan penduduk setempat seperti nelayan dan operator selam. Contohnya LSM *Reef Care* di Kepulauan Antilles telah mendayagunakan komunitas setempat untuk mengawasi penyebaran *Trididemnum solidum*, gangguan bagi terumbu karang di Curaçao dan Bonaire (van Veghel, 1993, Bak *et al.*, 1996).
- Menggunakan sukarelawan baik ilmuwan terlatih ataupun penyelam rekreasi; ini merupakan kapasitas monitoring tambahan dengan biaya yang amat rendah walaupun mungkin penyelam rekreasi tidak mempunyai tingkat keakuratan, kehandalan dan kedetilan yang sama dengan ilmuwan terlatih. Pemilihan sukarelawan secara cermat dan metode yang mereka pakai juga penting (Wells, 1995). Program-program sukarelawan lebih baik daripada tidak ada monitoring sama sekali dan saat dirancang dan diuji secara hati-hati, mereka mampu menyediakan pengelola dengan data yang akurat dan dapat diandalkan untuk mendukung pengelolaan yang efektif. Contohnya meliputi *Coral Cay Conservation* (Mumby *et al.*, 1996), Frontier (Darwall dan Dulvey, 1996), dan REEF (Schmitt dan Sullivan, 1996) (lihat Bagian *Referensi dan Sumber bahan-bahan* untuk detil kontak).

Penelitian

Masih banyak yang harus kita pelajari tentang fenomena pemutihan karang dan dampak potensialnya bagi terumbu karang dan orang-orang yang bergantung kepadanya. Pengelola terumbu dan pembuat keputusan dapat mendorong ilmuwan, laboratorium-laboratorium laut, LSM dan institusi pemerintahan agar melaksanakan studi-studi untuk menjembatani jurang pemisah antara pengetahuan kita dan pemutihan karang. Untuk memprediksikan (dan menyelesaikan) dampak-dampak dari pemutihan karang, akan sangat membutuhkan pengertian cukup terhadap:

- Biologi pemutihan karang, termasuk fisiologi karang/ simbiosis zooxanthellae dan bagaimana kondisinya terganggu saat pemutihan terjadi.
- Faktor-faktor genetik yang dapat menentukan kerentanan beberapa jenis karang dan zooxanthellae terhadap pemutihan.
- Pola pemutihan spasial dan sementara, klimatologi dan faktor oseanografi penentu pola tersebut.
- Potensi pemulihan karang dan ekosistem terumbu karang setelah pemutihan.
- Peranan terumbu karang sebagai habitat penting bagi keanekaregaman jenis laut dan sumber daya alam.
- Status terkini dari terumbu karang yang sehat dan ancaman-ancaman lain terhadap terumbu karang.
- Implikasi sosio-ekonomi pemutihan karang bagi komunitas manusia yang bergantung pada terumbu karang dengan berbagai servis alaminya.

Untuk semua penelitian, pekerjaan yang berkaitan dengan pemutihan harus direncanakan secara hati-hati untuk memaksimalkan sumber-sumber yang langka dan penggunaan metode yang sesuai dengan tujuan studi. Apabila memungkinkan, program-program penelitian harus dirancang berkolaborasi antara pengelola terumbu karangdan para pihak terkait lainnya, dan keahlian setempat dan nasional harus dimanfaatkan. Program penelitian regional mungkin dapat menyediakan bantuan finansial dan tehnis.

Menangani Tema Perubahan Iklim Dunia – Tantangan Sangat Penting

Usulan-usulan yang dimuat dalam buku ini akan membantu pengelola untuk mempersiapkan diri menghadapi kejadian pemutihan atau membantu pemulihan terumbu karang setelah pemutihan dan dampak lain yang telah timbul; akan tetapi, permasalahan pemutihan karang akan meningkat tajam jika pemanasan global terus berlanjut. Menurut IPCC, rata-rata SPL di daerah tropis diramalkan naik sekitar 1–2°C dalam waktu satu abad mendatang (Watson *et al.*, 1996). Peristiwa pemutihan 1998 telah menunjukkan bahwa pelestarian terumbu karang tidak dapat lagi tercapai tanpa perhatian terhadap sistem iklim global.

Tahun 1998, Konferensi CBD ke-4 menyatakan keprihatinan yang mendalam terhadap peristiwa pemutihan karang yang meningkat tajam dan ekstensif dengan hubungannya kepada perubahan iklim dunia. Sebagai jawabannya, Sekretaris Eksekutif CBD menyelenggarakan Konsultasi Ahli untuk Pemutihan Terumbu Karang bulan Oktober 1999. Mereka menghasilkan suatu laporan dan seperangkat usulan bagi daerah-daerah prioritas untuk ditindak. Laporan ini disajikan pada Badan Tambahan CBD untuk Usulan Ilmiah, Tehnik dan Teknologi/ *CBD's Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice (SBSTTA-5)* yang selanjutnya berkembang menjadi rancangan tindakan. SBSTTA kemudian menyampaikan usulan mereka kepada Konferensi Kelima Pihak-Pihak dalam CBD (COP-5) yang (di May 2000) mengajukan usulan para ahli dan menyampaikan suatu keputusan untuk:

- Memadukan terumbu karang ke dalam elemen sumber laut dan kehidupan pesisir menjadi program kerja mereka.
- Mendesak para pihak, pemerintahan lain dan badan lain yang terkait untuk mengembangkan studi kasus terhadap pemutihan karang dan untuk mengimplementasikan ukuran-ukuran tanggapan termasuk program-program penelitian, pembangunan kapasitas, partisipasi komunitas dan pendidikan.
- Mengimplementasikan rencana kerja khusus untuk pelestarian terumbu karang bekerja sama dengan organisasi seperti *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*, *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, *International Coral Reef Initiative (ICRI)*, dan *Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN)*.
- Mendesak UNFCCC untuk mengambil langkah-langkah yang diperlukan untuk mengurangi akibat perubahan iklim dan menangani tema dampak sosio-ekonomi terhadap negara-negara yang paling terpengaruh oleh pemutihan karang.

Terdapat hubungan yang jelas antara masalah pemutihan karang dan tujuan UNFCCC. Pasal 2 dari UNFCCC menyatakan secara jelas tentang pentingnya ekosistem alami dan mendesak para pihak untuk mengangkat tema perubahan iklim dunia dengan cara yang dapat membuat ekosistem beradaptasi secara alamiah terhadap perubahan iklim. Melalui resolusi Oktober 1999, ICRI mendorong UNFCCC untuk membicarakan fenomena pemutihan karang. Bulan Nopember 2000, Konferensi UNFCCC ke - 6 akan mempertimbangkan tindakan-tindakan untuk mengatasi dampak merugikan dari perubahan iklim, untuk mengadakan transfer teknologi dan untuk mengembangkan program-program pembangunan kapasitas.

Foto: Edmund Green

Terumbu yang sehat dan beraneka ragam di Kepulauan Turks and Caicos, Laut Karibia.

Konsentrasi usaha diperlukan untuk memastikan bahwa kemajuan di daerah-daerah tersebut terus berlanjut. Menangani perubahan iklim membutuhkan komitmen nasional dan individu untuk mengubah gaya hidup sekarang yang membawa kepada perubahan seluruh dunia. Sebagai anggota dari komunitas global, kita harus angkat suara guna membantu usaha internasional untuk mengurangi emisi-emisi dari gas rumah kaca yang berbahaya. Pengelola terumbu karang dan para ilmuwan harus menyerahkan laporan-laporan berkala mengenai pemutihan karang untuk pembuat keputusan setempat dan untuk delegasi mereka di Konvensi, menyatakan keprihatinan terhadap dampak perubahan iklim bagi terumbu karang dan ekosistem lain, dan menyerukan perhatian yang berkelanjutan terhadap masalah tersebut di forum-forum internasional.

Referensi dan Sumber Bahan-bahan

Pemutihan karang, perubahan iklim dan pemulihan terumbu

Referensi

Bijlsma, L., Ehler, C.N., Klein, R.J.T., Kulshrestha, S.M., McLean, R.F., Mimura, N., Nicholls, R.J., Nurse, L., Perez Nieto, H., Stakhiv, E.Z., Turner, R.K. and Warrick, R.A. 1995. Coastal zones and small islands. In R.T. Watson, M.C. Zinyowera and R.H. Moss (eds) *Climate change 1995 – Impacts, adaptations and mitigations of climate change: scientific-technical analyses: the second assessment report of the Inter-Governmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.: 6–12.

Bradbury, R. and Seymour, R. 1997. Waiting for COTS. Proceedings of the Eighth International Coral Reef Symposium, 24–29 June 1996, Panama 2: 1357–1362.

Brown, B.E. 1987. Worldwide death of corals: natural cyclic events or man-made pollution? *Marine Pollution Bulletin* 18(1): 9–13.

Brown, B.E. 1997. Coral bleaching: causes and consequences. *Coral Reefs* 16 (suppl): S129–S138.

Brown, B.E., Dunne, R.P., Ambarsari, I., Le Tissier, M.D.A. and Satapoomin, U. 1999. Seasonal fluctuations in environmental factors and variations in symbiotic algae and chlorophyll pigments in four Indo-Pacific coral species. *Marine Ecology Progress Series* 91: 53–69.

Bryant, D., Burke, L., McManus, J. and Spalding, M. 1998. Reefs at Risk: A Map Based Indicator of Potential Threats to the World's Coral Reefs. World Resources Institute (WRI), Washington, D.C. 56 pp. Available online: www.wri.org/indictrs/reefrisk.htm

Convention on Biological Diversity (CBD). 1999. Jakarta Mandate on Marine and Coastal Biological Diversity Page. Expert consultation on bleaching, Manila, Philippines, 11–13 October 1999. Available online: www.biodiv.org/jm.html

CRC Reef Research Centre. 1997. Exploring Reef Science Page – Crown of Thorns Starfish on the Great Barrier Reef: the facts. Exploring Reef Science fact sheet: March Update 1997. Available online: www.reef.crc.org.au/4news/Exploring/feat15.html

Done, T.J. 1992. Phase shifts in coral reef communities and their ecological significance. *Hydrobiologia* 247 (1–3): 121–132.

Done, T.J. 1994. Maintenance of biodiversity of coral reef systems through the management for resilience of populations. In Munro JL and Munro PE (eds) The Management of Coral Reef Resource Systems. ICLARM Conference Proceedings 44: 64–64.

Done, T.J. 1995. Ecological criteria for evaluating coral reefs and their implications for managers and researchers. *Coral Reefs* 14(4): 183–192.

Fitt, W.K., McFarland, F.K., Warner, M.E. and Chilcoat, G.C. 2000. Seasonal patterns of tissue biomass and densities of symbiotic dinoflagellates in reef corals and relation to coral bleaching. *Limnology and Oceanography* 45(3): 677–685.

Glynn, P.W. 1990. *Global Ecological Consequences of the 1982–83 El Niño – Southern Oscillation*. Elsevier, Amsterdam. 563 pp.

Glynn, P.W. 1993. Coral reef bleaching: ecological perspectives. *Coral Reefs* 12: 1–17.

Glynn, P.W. 1996. Coral reef bleaching: facts, hypothesis and implications. *Global Change Biology* 2(6): 495–509.

Goreau, T.J. and Hayes, R.L. (1994) Coral bleaching and ocean hotspots. *Ambio* 23(3): 176–180.

Goreau, T.J., McClanahan, T., Hayes, R. and Strong, A.E. 2000. Conservation of coral reefs after the 1998 global bleaching event. *Conservation Biology* 14(1): 5–15.

Hodgson, G. 1999. A global assessment of human effects on coral reefs. *Marine Pollution Bulletin* 38(5): 345–355.

Hoegh-Guldberg, O. 1999. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and Freshwater Research* 50(8): 839–866.

Hoegh-Guldberg, O. and Jones, R. 1999. Photoinhibition and photoprotection in symbiotic dinoflagellates from reef-building corals. *Marine Ecology Progress Series* 183: 73–86.

Hughes, T.P. 1994. Catastrophes, phase shifts and large scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science* 265(5178): 1547–1551.

Hunter, C.L. and Evans, C.W. 1995. Coral reefs in Kaneohe Bay, Hawaii – 2 centuries of Western influence and 2 decades of data. *Bulletin of Marine Science* 57(2): 501–515.

Huppert, A. and Stone, L. 1998. Chaos in the Pacific's coral reef bleaching cycle. *American Naturalist* 152(3): 447–459.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1995. IPCC Second Assessment – Climate Change 1995: Summary for Policy Makers. Available online: www.ipcc.ch/pub/sarsum1.htm

Jameson, S.C., McManus, J.W. and Spalding, M.D. 1995. *State of the Reefs: Regional and Global Perspectives*. Washington, D.C. ICRI, U.S. Department of State. 24 pp.

Jones, R., Hoegh-Guldberg, O., Larkum, A.W.L. and Schreiber, U. 1998. Temperature induced bleaching of corals begins with impairment of dark metabolism in zooxanthellae. *Plant Cell and Environment* 21(12):1219–1230.

Linden, O. and Sporrong, N. 1999. *Coral Reef Degradation in the Indian Ocean: Status Reports and Presentations 1999*. CORDIO / SAREC Marine Science Program, Stockholm. 108 pp.

Masalu, D.C.P. 2000. Coastal and marine resource use conflicts and sustainable development in Tanzania. *Ocean and Coastal Management* 43: 475–494.

McClanahan, T.R., Done, T.J. and Polunin, N.V.C. In press. Resiliency of coral reefs. In L. Gunderson, C.S. Holling, B-O. Jansson and C. Folke (eds) Resilience and the Behaviour of Large Scale Ecosystems. John Wiley and Sons, New York.

Moberg, F. and Folke, C. 1999. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics* 29: 215–233.

Moran, P. 1997. Crown of Thorns Starfish – Questions and Answers. Online Reference Series, Australian Institute of Marine Science. Available online: www.aims.gov.au/pages/reflib/cot-starfish/pages/cot-000.html

Muscatine, L. 1990. The role of symbiotic algae in carbon and energy flux in reef corals. In Z. Dubinsky (ed.) *Coral Reefs: Ecosystems of the World*, Volume 25. Elsevier Science, Amsterdam: 75–87.

Mumby, P.J. 1999. Bleaching and hurricane disturbances to populations of coral recruits in Belize. *Marine Ecology Progress* Series 190: 27–35.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2000. Oceanic Research and Applications (ORA) Division – Marine Applications Science Team – Coral Reef Bleaching Page. Available online: www.orbit-net.nesdis.noaa.gov/orad/coral_bleaching_index.html

Richmond, R.H. 1997. Reproduction and recruitment in corals: critical links in the persistence of coral reefs. In C. Birkeland (ed.) *Life and Death of Coral Reefs*. Chapman and Hall, New York: 175–197.

Rowan, R. and Knowlton, N. 1995. Intraspecific diversity and ecological zonation in coral algal symbiosis. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 92(7): 2850–2853.

Rowan, R., Knowlton, N., Baker, A. and Jara, J. 1997. Landscape ecology of algal symbionts creates variation within episodes of coral bleaching. *Nature* 388(6639): 265–269.

Salvat, B. 1987. Human Impacts on Coral Reefs: Facts and Recommendations. Antenne Museum EPHE French Polynesia. 253 pp.

Schick, J.M., Lesser, M.P. and Jokiel, P.L. 1996. Ultraviolet radiation and coral stress. *Global Change Biology* 2(6):527–545.

Sebens, K.P. 1987. Coelenterata. In T.J. Pandian and F.J. Vernberg (eds) *Animal Energetics*. Academic Press, San Diego, California: 55–120.

Spencer, T., Teleki, K.A., Bradshaw, C. and Spalding, M.D. 2000. Coral bleaching in the Southern Seychelles during the 1997–1998 Indian Ocean warming event. *Marine Pollution Bulletin* 40(7): 569–586.

Strong, A.E., Kearns, E.J. and Gjovig, K.K. 2000. Sea surface temperature signals from satellites – an update. *Geophysical Research Letters* 27(11): 1667–1670.

Turner, J.R., Klaus, R., Hardman, E., Fagoonee, I., Daby, D., Baghooli, R. and Persands, S. 2000a. The reefs of Mauritius. In D. Souter, D. Obura and O. Linden (eds) *Coral Reef Degradation in the Indian Ocean: Status Report 2000.* CORDIO/SAREC Marine Science, Sweden CORDIO Programme.

UNEP. 1999a. *Western Indian Ocean Environment Outlook*. United Nations Environment Programme. 79 pp.

UNEP. 1999b. *Pacific Environment Outlook*. United Nations Environment Programme. 65 pp.

UNEP. 1999c. *Caribbean Environment Outlook*. United Nations Environment Programme. 74 pp.

Veron, J.E.N. 1995. *Corals in Space and Time: The Biogeography and Evolution of the Scleractinia.* Cornell University Press, Ithica, New York. 321 pp.

Warner, M.E., Fitt, W.K., and Schmidt, G.W. 1996. The effects of elevated temperature on the photosynthetic efficiency of zooxanthellae in hospite from four different species of reef coral: a novel approach. *Plant, Cell and Environment* 19 (3): 291–299.

Wells, S. and Hanna, N. 1992. *Greenpeace Book of Coral Reefs*. Blandford, U.K. 160 pp.

Wilkinson, C.R. 1993. Coral reefs are facing widespread extinctions: can we prevent these through sustainable management practices? Proceedings of the Seventh International Coral Reef Symposium, 22–27 June 1992, Guam 1: 11–21.

Wilkinson, C.R. 1998. *Status of Coral Reefs of the World: 1998.* Australian Institute of Marine Science, Cape Ferguson, Queensland, Australia. 184 pp.

Wilkinson, C.R. and Buddemeier, R.W. 1994. Global Climate Change and Coral Reefs: Implications for People and Reefs. Report of the UNEP-IOC-ASPEI-IUCN Global Task Team on Coral Reefs. IUCN Gland, Switzerland. 124 pp.

Wilkinson, C.R., Linden, O., Cesar, H., Hodgson, G., Rubens, J. and Strong, A.E. 1999. Ecological and socioeconomic impacts of 1998 coral mortality in the Indian Ocean: an ENSO impact and a warning of future change? *Ambio* 28: 188–196.

Williams, E.H. and Bunkley-Williams, L. 1990. The worldwide coral reef bleaching cycles and related sources of coral mortality. *Atoll Research Bulletin* 335: 1–71.

Sumber-sumber tambahan

Aronson, R.B., Precht, W.F., MacIntyre, I.G. and Murdoch, T.J.T. 2000. Coral bleach-out in Belize. *Nature* 405(6782): 36.

Birkeland, C. 1997. *Life and Death of Coral Reefs.* New York: Chapman and Hall. 536 pp.

Brown, B.E. and Ogden, J.C. 1993. Coral bleaching. *Scientific American* 268(1): 64–70.

Cesar, H.S.J. 2000. *Collected Essays on the Economics of Coral Reefs*. Sida Press, Stockholm, Sweden.

Convention on Biological Diversity. 2000. Report of the Expert Consultation on Coral Bleaching. UNEP/CBD/SBSTTA/5/INF/11. Available online: www.biodiv.org/jm.html

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., Oneill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. and VandenBelt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387(6630): 253–260.

Davidson, O.G. 1998. *The Enchanted Braid: Coming to Terms with Nature on the Coral Reef*. John Wiley and Sons Inc., New York. 269 pp.

de Fontaubert, A.C., Downes, D.R. and Agardy, T. 1996. *Biodiversity in the Seas: Implementing the Convention on Biological Diversity in Marine and Coastal Habitats*. Gland, Switzerland: World Conservation Union. 86 pp.

Eakin, C.M. 1996. Where have all the carbonates gone? A model comparison of calcium carbonate budgets before and after the 1982–1983 El Niño at Uva Island in the eastern Pacific. *Coral Reefs* 15(2): 109–119.

ICRI. 1998. *Renewed Call for Action: International Coral Reef Initiative 1998*. Great Barrier Reef Marine Park Authority, Queensland. 40 pp.

Souter, D., Obura, D. and Linden, O. 2000. *Coral Reef Degradation in the Indian Ocean: Status Report 2000.* CORDIO/SAREC Marine Science, Sweden.

Spalding, M. and Grenfell, A.M. 1997. New estimates of global and regional coral reef areas. *Coral Reefs* 16(4): 225–230.

UNEP/IUCN. 1988a. *Coral Reefs of the World. Volume 1: Atlantic and Eastern Pacific.* UNEP Regional Seas Directories and Bibliographies. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK/UNEP, Nairobi, Kenya. 373 pp.

UNEP/IUCN. 1988b. *Coral Reefs of the World. Volume 2: Indian Ocean, Red Sea and Gulf.* UNEP Regional Seas Directories and Bibliographies. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK/UNEP, Nairobi, Kenya. 389 pp.

UNEP/IUCN. 1988c. *Coral Reefs of the World. Volume 3: Central and Western Pacific.* UNEP Regional Seas Directories and Bibliographies. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK/UNEP, Nairobi, Kenya. 329 pp.

Pengelolaan terumbu karang yang putih dan telah rusak kritis

Referensi

Alcock, D. 1999. Building coral viewing platforms on tourist pontoons. CRC Reef Research Centre Exploring Reef Science Page. Available online: www.reef.crc.org.au/4news/Exploring/feat49.html

Bak, R.P.M., Lambrechts, D.Y.M., Joenje, M., Nieuwland, G. and VanVeghel, M.L.J. 1996. Long-term changes on coral reefs in booming populations of a competitive colonial ascidian. *Marine Ecology Progress Series* 133(1–3): 303–306.

Bijlsma, L., Crawford, M., Ehler, C., Hoozemans, F., Jones, V., Klein, R., Miermet, B., Mimura, N., Misdorp, R., Nicholls, R., Ries, K., Spradley, J., Stive, M., de Vrees, L. and Westmacott, S. 1993. *World Coast Conference Report*. World Coast Conference 1993, Noordwijk, the Netherlands, 1–5 November 1993. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, National Institute for Coastal and Marine Management, Coastal Zone Management Centre, The Hague, Netherlands. 115 pp.

Cesar, H., Waheed, A., Saleem, M. and Wilhelminson, D. 2000. Assessing the impacts of the 1998 coral reef bleaching on tourism in Sri Lanka and Maldives. In D. Souter, D. Obura and O. Linden (eds) *Coral Reef Degradation in the Indian Ocean: Status Report 2000*.CORDIO/SAREC Marine Science, Sweden CORDIO Programme.

Cicin-Sain, B. and Knecht, R.W. 1998. *Integrated Coastal and Ocean Management: Concepts and Practices*. Island Press, USA. 517 pp.

Clark, J.R. 1996. Coastal Zone Management Handbook. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. 694 pp.

Clark, S. and Edwards, A.J. 1995. Coral transplantation as an aid to reef rehabilitation: evaluation of a case study in the Maldives Islands. *Coral Reefs* 14(4): 201–213.

Clark, S. and Edwards, A.J. 1999. An evaluation of artificial reef structures as tools for marine habitat rehabilitation in the Maldives. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 9: 5–21.

Darwall, W.R.T. and Dulvey, N.K. 1996. An evaluation of the suitability of non-specialist volunteer researchers for coral reef fish surveys. Mafia Island, Tanzania – a case study. *Biological Conservation* 78(3): 223–231.

Done. T.J. 1992. Phase shifts in coral reef communities and their ecological significance. *Hydrobiologia* 247 (1–3): 121–132.

Eckert, G.J. 1987. Estimates of adult and juvenile mortality for labrid fishes at One Tree Reef, Great Barrier Reef. *Marine Biology* 95(2): 167–171.

Edwards, A.J. and Clark, S. 1999. Coral transplantation: a useful management tool or misguided meddling? *Marine Pollution Bulletin* 37(8–12): 474–487.

Eggleston, D.B. 1995. Recruitment in Nassau grouper *Epinephelus striatus*: post-settlement abundance, microhabitat features, and ontogenetic habitat shifts. *Marine Ecology Progress Series* 124(1–3): 9–22.

Ehler, C.N., Cicin-Sain, B., Knecht, R.W., South, R. and Weiher, R. 1997. Guidelines to assist policy makers and managers of coastal areas in the integration of coastal management programs and national climate-change action plans. *Ocean and Coastal Management* 37(1): 7–27.

English, S., Wilkinson, C. and Baker, V. 1997. *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. Australian Institute of Marine Science, Queensland, Australia. 390 pp.

Franklin, H., Muhando, C.A. and Lindahl, U. 1998. Coral culturing and temporal recruitment patterns in Zanzibar, Tanzania. *Ambio* 27(8): 651–655.

Francis, J., Semesi, A.K. and Daffa, J. 1997. Integrated coastal zone management in Tanzania. In O. Lindén and C.G. Lundin (eds) *The Journey from Arusha to Seychelles: successes and failures in integrated coastal zone management in Eastern Africa and island states*. Proc. Second Policy Conference on Integrated Coastal Zone Management in Eastern Africa and Island States, Seychelles, 23–25 October 1996: 195–211.

Francis, J., van Zwol, C., Sadacharan, D. and Mohamed, S. 1999. *Marine Protected Areas Management: a framework for capacity building in the Western Indian Ocean region*. Proceedings of the Regional Planning Workshop on the Training Needs for Marine Protected Areas Management. Zanzibar, Tanzania, 31 May–3 June, 1999. Coastal Zone Management Center, The Netherlands, The World Bank, and the Institute of Marine Sciences, University of Dar es Salaam, Tanzania. 49 pp.

Gibson, J., McField, M. and Wells, S. 1998. Coral reef management in Belize: and approach through integrated coastal zone management. *Ocean and Coastal Management* 39: 229–244.

Goreau, T.J., McClanahan, T., Hayes, R. and Strong, A.E. 2000. Conservation of coral reefs after the 1998 global bleaching event. *Conservation Biology* 14(1): 5–15.

Hatziolos, M.E. 1997. A World Bank framework for ICZM with special emphasis on Africa. *Ocean and Coastal Management* 37(3): 281–294.

Heeger, T., Cashman, M. and Sotto, F. 1999. *Coral farming as alternative livelihood, for sustainable natural resource management and coral reef rehabilitation*. Proceedings of Oceanology International 99, Pacific Rim, Singapore: 171–186.

Heeger, T., Sotto, F., Gatus, J.J. and Laron, C. 2000. *Community-based coral farming for reef rehabilitation, biodiversity conservation and as a livelihood option for fisherfolk*. Proc. ADSEA, SEAFDEC Philippines.

Hilbertz, W.H., Fletcher, D. and Krausse, C. 1977. Mineral accretion technology: applications for architecture and aquaculture. *Industrial Forum* 8: 75–84.

Hilbertz, W.H. 1981. The electrodepostion of minerals in seawater for the construction and maintenance of artificial reefs. In D.Y. Aska (ed.) *Artificial Reefs: Conference Proceedings*. Florida Sea Grant College: 123–148.

Hodgson, G. 1999. A global assessment of human effects on coral reefs. *Marine Pollution Bulletin* 38(5): 345–355.

Hodgson, G. 2000. Coral reef monitoring and management using Reef Check. *Integrated Coastal Zone Management* 1(1): 169–179.

Hughes, T.P. 1994. Catastrophes, phase shifts and large scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science* 265(5178): 1547–1551.

Kelleher, G. 1999. *Guidelines for marine protected areas*. IUCN, Gland, Switzerland. 107 pp.

Lewis, A.R. 1997. Recruitment and post-recruit immigration affect the local population size of coral reef fishes. *Coral Reefs* 16(3): 139–149.

Lindahl, U. 1998. Low-tech rehabilitation of degraded coral reefs through transplantation of staghorn corals. *Ambio* 27(8): 645–650.

Lindén, O. and Lundin, C.G. 1997. *The Journey from Arusha to Seychelles: successes and failures of integrated coastal zone management in Eastern Africa and island states*. Proc. 2nd Policy Conference on Integrated Coastal Zone Management in Eastern Africa and Island States, Seychelles, 23–25 October, 1996.

McClanahan, T.R., Hendrick, V., Rodrigues, M.J. and Polunin, N.V.C. 1999. Varying responses of herbivorous and invertebrate-feeding fishes to macroalgal reduction on a coral reef. *Coral Reefs* 18(3): 195–203.

McClanahan, T.R. and Pet-Soede, L. 2000. Kenyan coral reef fish, fisheries and economics – trends and status after the 1998 coral mortality. In S. Westmacott, H. Cesar and L. Pet-Soede (eds) *Socioeconomic Assessment of the Impacts of the 1998 Coral Reef Bleaching in the Indian Ocean*. Resource Analysis and Institute for Environmental Science (IVM) Report to the World Bank, African Environmental Division for the CORDIO programme.

Medley, P.A., Gaudian, G. and Wells, S. 1993. Coral reef fisheries stock assessment. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 3(3): 242–285.

Meyer, T. and Schillak, L. 2000. Mineral substrates for artificial reefs – a new technology for integrated coastal zone management: experiences and approaches; *Integrated Coastal Zone Management* 1(1): 233–238.

Muhando, C. 1999. Assessment of the extent of damage, socioeconomic effects, mitigation and recovery in Tanzania. In O. Lindén and N. Sporrong (eds) *Coral Reef Degradation in the Indian Ocean: Status Reports and Presentations* 1999 CORDIO/SAREC Marine Science Program, Stockholm: 43–47.

Mumby, P.J., Harborne, A.R., Raines, P.S. and Ridley, J.M. 1995. A critical assessment of data derived from Coral Cay Conservation volunteers. *Bulletin of Marine Science* 56(3): 737–751.

Pet-Soede, L. 2000. The effects of coral bleaching on fisheries in the Indian Ocean. In S. Westmacott, H. Cesar and L. Pet-Soede (eds) *Socioeconomic Assessment of the Impacts of the 1998 Coral Reef Bleaching in the Indian Ocean*. Resource Analysis and Institute for Environmental Science (IVM) Report to the World Bank, African Environmental Division for the CORDIO programme.

Post, J.C. and Lundin, C.G. 1996. *Guidelines for integrated coastal zone management*. The World Bank, USA. 16 pp.

Quod, J.P., Turquet, J., Conejero, S., Ralijaona, C. 2000. Ciguatera risk assessment in the Indian Ocean following the 1998 coral bleaching event. In D. Souter, D. Obura and O. Lindén (eds) *Coral Reef Degradation in the Indian Ocean: Status Report 2000*. CORDIO/SAREC Marine Science, Sweden CORDIO programme.

ReefBall. 2000. ReefBall Homepage. Available online: www.reefball.com

Rilov, G. and Benayahu, Y. 1998. Vertical artificial structures as an alternative habitat for coral reef fishes in disturbed environments. *Marine Environmental Research* 45(4–5): 431–451.

Roberts, C. 1998. Source, sinks and the design of marine reserve networks. *Fisheries* 23(7): 16–19.

Robertson, D.R. and Gaines, S.D. 1986. Interference competition structures habitat use in a local assemblage of coral reef surgeonfishes. *Ecology* 67(5): 1372–1383.

Salm, R.V. and Clark, J.R. 1984. *Marine and Coastal Protected Areas: A Guide for Planners and Managers*. IUCN, Gland, Switzerland. 302 pp.

Schillak, L. and Meyer. T. 1999. *ARCON – a new technology for the submerse production of artificial reefs as tool for the management of sublittoral habitats*. Proceedings of the 7th International Conference on Artificial Reefs and Related Aquatic Habitats (7th CARAH), 7–11 October 1999, San Remo, Italy: 318–328.

Schmitt, E.F. and Sullivan, K.M. 1996. Analysis of a volunteer method for collecting fish presence and abundance data in the Florida Keys. *Bulletin of Marine Science* 59(2): 404–416.

Souter, D., Obura, D. and Linden, O. 2000. *Coral Reef Degradation in the Indian Ocean: Status Report 2000.* CORDIO/SAREC Marine Science, Sweden.

Spurgeon, J. 1999. The Socioeconomic costs and benefits of coastal habitat rehabilitation and creation. *Marine Pollution Bulletin* 37(8–12): 373–382.

Turner, J.R., Klaus, R., Hardman, E., Fagoonee, I., Daby, D., Baghooli, R. and Persands, S. 2000a. The reefs of Mauritius. In D. Souter, D. Obura and O. Linden (eds) *Coral Reef Degradation in the Indian Ocean: Status Report 2000.* CORDIO/SAREC Marine Science, Sweden CORDIO Programme.

Turner, J.R., Klaus, R. and Engelhardt, U. 2000b. The reefs of the Seychelles Granitic Islands. In D. Souter, D. Obura and O. Linden (eds) *Coral Reef Degradation in the Indian Ocean: Status Report 2000.*CORDIO/SAREC Marine Science, Sweden CORDIO Programme.

UNEP. 1999a. *Western Indian Ocean Environment Outlook*. United Nations Environment Programme. 79 pp.

van Treeck, P. and Schuhmacher, H. 1998. Mass diving tourism – a new dimension calls for new management approaches. *Marine Pollution Bulletin* 37(8–12): 499–504.

van Treeck, P. and Schuhmacher, H. 1999. Artificial reefs created by electrolysis and coral transplantation: An approach ensuring the compatibility of environmental protection and diving tourism. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 49 (suppl): 75–81.

van Veghel, M.L.J. and De Meyer, K. 1993. Abundance and temporal dynamics of the tropical compound ascidian *Trididemnum solidum* along the coast of Bonaire. Reef Care, Curaçao and the Bonaire Marine Park. 12 pp.

Walters, J.S., Maragos, J., Siar, S. and White, A.T. 1998. *Participatory Coastal Resource Assessment: A Handbook for Community Workers and Coastal Resource Managers.* Coastal Resource Management Project and Silliman University, Cebu City, Philippines. 113 pp.

Watson, R.T., Zinyowera, M.C. and Moss, R.H. 1996. Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York, New York. 889 pp.

Wells, S.M. 1995. *Reef Assessment and Monitoring using Volunteers and Non-Professionals*. University of York and Coral Cay Conservation, U.K. 57 pp.

Westmacott, S. and Lawton, C. 2000. The impact of coral bleaching on tourism in Seychelles. In S. Westmacott, H. Cesar and L. Pet-Soede (eds) *Socioeconomic Assessment of the Impacts of the 1998 Coral Reef Bleaching in the Indian Ocean.* Resource Analysis and Institute for Environmental Science (IVM) Report to the World Bank, African Environmental Division for the CORDIO programme.

Westmacott, S., Cesar, H. and Pet-Soede, L. 2000a. *Socioeconomic Assessment of the Impacts of the 1998 Coral Reef Bleaching in the Indian Ocean.* Resource Analysis and Institute for Environmental Science (IVM) Report to the World Bank, African Environmental Division for the CORDIO programme.

Westmacott, S., Ngugi, I. and Andersson, J. 2000b. Assessing the impacts of the 1998 coral reef bleaching on tourism in Tanzania and Kenya. In S. Westmacott, H. Cesar and L. Pet-Soede (eds) *Socioeconomic Assessment of the Impacts of the 1998 Coral Reef Bleaching in the Indian Ocean.* Resource Analysis and Institute for Environmental Science (IVM) Report to the World Bank, African Environmental Division for the CORDIO programme.

White, A.T. and Cruz-Trinidad, A. 1998. The values of the Philippine coastal resources: why protection and management is critical? Coastal Resource Management Project, Cebu City, Philippines. 69 pp.

Whitmarsh, D. (1997) Artificial reefs: the law and the profits. *Marine Pollution Bulletin* 34(1): 2–3.

Wilhelmsson, D., Ohman, M.C., Stahl, H. and Shelsinger, Y. 1998. Artificial reefs and dive tourism in Eilat, Israel. *Ambio* 27(8): 764–766.

Wilkinson, C. 1998. *Status of Coral Reefs of the World: 1998.* Australian Institute of Marine Science, Queensland, Australia. 184 pp.

Sumber-sumber tambahan

Brown. B.E. 1997. Integrated Coastal Management: South Asia. Department of Marine Sciences and Coastal Management, University of Newcastle, Newcastle upon Tyne, UK.

Conand, C., Bigot, L., Chabanet, P. and Quod, J.P. 1997. Manuel méthodologique pour le suivi de l'état de santé des récifs coralliens du Sud-Ouest de l'océan Indien. Manuel technique PRE-COI/UE. 27 pp.

McClanahan, T.R., Glaesel, H., Rubens, J. and Kiambo, R. 1997. The effects of traditional fisheries management on fisheries yields and the coral-reef ecosystems of southern Kenya. *Environmental Conservation* 24(2): 105–120.

Pastorok, R.A. and Bilyard, G. 1985. Effects of sewage pollution on coral reef communities. *Marine Ecology Progress Series* 21(1–2): 175–189.

Pickering, H., Whitmarsh, D. and Jensen, A. 1998. Artificial reefs as a tool to aid rehabilitation of coastal ecosystems: investigating the potential. *Marine Pollution Bulletin* 37(8–12): 505–514.

Russ, G.R. and Alcala, A.C. 1996. Do marine reserves export adult fish biomass? Evidence from Apo Island, central Philippines. *Marine Ecology Progress Series* 132(1–3): 1–9.

Rogers, C.S., Garrison, G., Grober, R., Hillis, Z.M. and Franke, M.A. 1994. Coral Reef Monitoring Manual for the Caribbean and Western Atlantic. United States National Park Service, U. S. Virgin Islands.

Polunin, N.V.C. and Roberts, C.M. 1996. *Reef Fisheries*. London, Chapman and Hall. 477 pp.

Situs Internet

Caribbean Coastal Marine Productivity Program (CARICOMP): isis.uwimona.edu.jm/centres/cms/caricomp

CARICOMP 1999 Report: www.unesco.org/csi/pub/papers/papers3.htm

CEDAM: www.cedam.org

Convention on Biological Diversity: www.biodiv.org/jm.html

Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES): www.cites.org

Coral Assessment protocols and methods: www.coral.noaa.gov/methods.html

Coral Cay Conservation: www.coralcay.org

Coral Health, Assessment and Monitoring Page: www.coral.aoml.noaa.gov

Coral Reef Degradation in the Indian Ocean (CORDIO): www.cordio.org

Earthwatch: www.earthwatch.org

Frontier: www.frontierprojects.ac.uk

Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN): www.coral.noaa.gov/gcrmn

ICM Bibliography by Island Resources Foundation: www.irf.org/irczrefs.html

ICM websites collected by Newcastle University: www.ncl.ac.uk/tcmweb/tcm/czmlinks.htm

International Coral Reef Initiative (ICRI): www.environnement.gouv.fr/icri

International Maritime Organisation (IMO): www.imo.org

Jakarta Mandate on Marine and Coastal Biological Diversity: www.biodiv.org/jm.html

Ocean hot spots: www.psbsgi1.nesdis.noaa.gov:8080/PSB/EPS/SST/climohot.html

Raleigh International: www.raleigh.org.uk

Reef Base: www.cgiar.org/iclarm/resprg/reefbase/framet

Reef Check: www.reefcheck.org

REEF: Reef Environmental Education Foundation: www.reef.org

Reef Keeper International: www.reefkeeper.org/

Alamat-alamat Penting

CORDIO (Coral Reef Degradation in the Indian Ocean)
Contact person: Dr. Olof Lindén
Timmermon,
61060 Tystberga, Sweden
Tel: + 46 156 31077
Fax: + 46 156 31087
olof.linden@cordio.org
www.cordio.org

Coral Reef Alliance (CORAL)
2014 Shattuck Avenue,
Berkeley, CA 94704-1117 U.S.A.
Tel: +1 510 848 0110
Fax: +1 510 848 3720
Toll-free: 1-888-CORAL REEF
info@coral.org
www.coral.org

IUCN Eastern African Regional Office
Contact person: Sue Wells
P.O. Box 68200,
Nairobi, Kenya
Tel: +254 2 890605
Fax: +254 2 890615
smw@iucnearo.org
www.iucn.org

IUCN Washington
Contact person: John Waugh
1630 Connecticut Ave., N.W. – Third Floor,
Washington, D.C. 20009, U.S.A.
Tel: +1 202 387 4826
Fax: +1 202 387 4823
jwaugh@iucnus.org
www.iucnus.org

The Secretariat of the Convention on Biological Diversity
World Trade Center
393 St Jacques Street, Office 300,
Montreal, Quebec, Canada H2Y 1N9
Tel: +1 514 288 2220
Fax: +1 514 288 6588
secretariat@biodiv.org
www.biodiv.org

Secretariat for Eastern African Coastal Area Management (SEACAM)
874, Av. Amílcar Cabral, 1st floor,
Caixa Postal 4220,
Maputo, Mozambique
Tel: +258 1 300641/2
Fax: +258 1 300638
seacam@virconn.com
www.seacam.mz

U.S. Agency for International Development (USAID)
Ronald Reagan Building
Washington, D.C. 20523-0016, U.S.A.
Tel: +1 202 712 4810
Fax: +1 202 216 3524
pinquiries@usaid.gov
www.usaid.gov

World Bank CORDIO programme
contact person: Indu Hewawasam
Environment Group – Africa Region,
The World Bank,
1818 H Street,
N.W. Washington D.C. 20433, U.S.A.
Tel: +1 202 473 5559
Fax: +1 202 473 8185
ihewawasam@worldbank.org
www.worldbank.org

World Conservation Monitoring Centre
219 Huntingdon Road,
Cambridge CB3 0DL, U.K.
Tel: +44 1223 277314
Fax: +44 1223 277136
www.wcmc.org.uk

World Wide Fund for Nature (WWF)
WWF International,
Ave du Mont Blanc,
CH 1196 Gland, Switzerland
Tel: +41 22 364 9111
Fax: + 41 22 364 5358
www.panda.org