

A wide-angle underwater photograph showing a diverse coral reef ecosystem. The water is clear and blue, with numerous small, colorful fish swimming around large, branching coral structures. The lighting is bright, suggesting a shallow depth.

Prof. Dr. Thamrin



KARANG dan **ZOOXANTHELLAE**

**KARANG
DAN ZOOXANTHELLAE**

Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002, tentang Hak Cipta

PASAL 2

- (1) Hak Cipta merupakan hak eksklusif bagi Pencipta atau Pemegang Hak Cipta untuk mengumumkan atau memperbanyak ciptaannya, yang timbul secara otomatis setelah suatu ciptaan dilahirkan tanpa mengurangi pembatasan menurut perundang-undangan yang berlaku.

PASAL 72

- (1) Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (Satu Juta Rupiah), atau paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp5.000.000.000,00 (Lima Miliar Rupiah).
- (2) Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

KARANG DAN ZOOXANTHELLAE

Prof. Dr. Thamrin

Penerbit
UR Press Pekanbaru
2017

KARANG DAN ZOOXANTHELLAE

Penulis:

Prof. Dr. Thamrin

Sampul & Tata Letak : Thamrin

Diterbitkan oleh UR Press, Desember 2017

Alamat Penerbit:

Badan Penerbit Universitas Riau

UR Press Jl. Pattimura No. 9, Gobah Pekanbaru 28132,
Riau, Indonesia

Telp. (0761) 22961, Fax. (0761) 857397

e-mail: unri_press@yahoo.co.id

Anggota IKAPI

Hak Cipta dilindungi Undang-undang

Dilarang mengutip atau memperbanyak

sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit

Isi di luar tanggung jawab percetakan

Cetakan Pertama : Desember 2017

ISBN 978-979-792-793-6

KATA PENGANTAR

Buku tentang organisme karang dan zooxanthellae ini adalah untuk menyediakan dan melengkapi tentang Terumbu Karang diantara buku-buku yang sudah ada. Bahan referensi ini juga untuk melengkapi pencinta yang berhubungan dengan wisata bawah air, seperti keindahan terumbu karang dan organisme yang menjadi penyebab kerusakan terumbu tersebut.

Dewasa ini yang berhubungan dengan pemutihan atau yang lebih dikenal dengan bleaching pada karang sudah hampir sepanjang tahun bisa ditemukan. Banyak faktor yang menyebabkan terjadinya bleaching, akan tetapi yang menonjol adalah yang berhubungan dengan pemanasan global. Pemanasan global cukup signifikan pengaruhnya karena dampak kematian menyeluruh bisa terjadi pada karang. Terutama yang bila pemanasan global terjadi dalam periode waktu yang panjang.

Pengembalian hewan karang dari bleaching sebenarnya juga tidak bermasalah sepanjang periode waktu tidak panjang. Hewan karang yang ditemukan di pantai Nirwana Sumatera Barat (bagian rata-rata terumbu) umpamanya, sepertinya spesies yang terdapat ditempat tersebut, dan kembali dengan normal setelah temperatur kembali ke sedia kala. Sepertinya spesies yang dijumpai di daerah tersebut telah terbiasa dengan fluasi temperatur demian besar, yaitu antara 30oC sampai 35oC, walaupun memang ada yang mati akan tetapi tidak signifikan.

Memang ada parameter yang ikut menyebabkan degrassi terumbu karang, seperti penangkapan ikan yang tidak ramah lingkungan, penangkapan ikan dengan alat perusak dan lain-lain. Akan tetapi secara alami yang menyebabkan kematian organisme karang dalam skala besar tetap berasal dari peristiwa global warming.

Dengan mengetahui penyebab kerusakan alami terumbu karang ini diharapkan akan bisa membantu pencinta atau kolega yang mencintai terumbu karang dalam mengambil langkah-langkah yang diperlukan. Seperti tetap menjaga perairan tetap bersih dari polusi, baik yang berasal dari daratan atau yang berasal dari dalam

sendiri. Kemudian yang menyebabkan pengaruh antropogenik juga perlu dipertimbangkan, seperti kotoran atau sampah yang akan dapat cepat menyebabkan kematian organisme karang.

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
BAB I. PENDAHULUAN	1
BAB II. PENGERTIAN TERUMBU, TERUMBU KARANG DAN KARANG	8
2.1. Terumbu.....	8
2.2. Terumbu Karang.....	9
2.3. Karang	14
2.3 Zooxanthellae	18
BAB III. MANFAAT TERUMBU KARANG	25
BAB IV. KONDISI TERUMBU KARANG	34
BAB V. ORGANISME PEMBANGUN TERUMBU KARANG	39
BAB VI. KESIMPULAN	46
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Kondisi daerah terumbu karang di Pulau Weh di Provinsi Aceh	2
Gambar 2.	Distribusi terumbu karang dunia. Warna merah merupakan daerah terumbu karang	4
Gambar 3.	Sketsa tipe secara umum bentuk terumbu karang	11
Gambar 4.	Zooxanthellae saat di dalam jaringan karang <i>Acropora millepora</i> (Cervino et al. 2003) (a), dan (b) close up zooxatdi luar tubuh karang <i>Goniastrea aspera</i> (Foto oleh Thamrin)	19
Gambar 5.	Koloni karang yang terpisah dari tempatnya menempel dijadikan untuk menjaga pantai dari hantaman ombak	32
Gambar 6.	Peristiwa bleaching pada karang <i>Acropora</i> . A) Kelompok koloni karang <i>Acropora salitalyensis</i> yang sebagian coloninya mengalami bleaching, dan B) Koloni <i>A. solitalyensis</i> yang sebagian besar polipnya mengalami bleaching dilihat dari dekat(Foto oleh S. Nojima).....	44

Bab 1

PENDAHULUAN

Boleh dikatakan semua ekosistem yang berada di Negara ini tanpa terkecuali sedang menuju kehancuran, baik yang berada di darat maupun di laut. Salah satu ekosistem yang menjadi perhatian dunia saat ini dikenal dengan nama terumbu karang. Terumbu karang merupakan ekosistem bawah laut yang sangat indah dan mengagumkan. Bahkan Barnes dan Hughes (1995) mengungkapkan bahwa terumbu karang sebagai surga di alam nyata. Disamping memiliki nilai estetika yang sangat tinggi juga memiliki keanekaragaman hayati terbesar serta memiliki produktifitas paling berlimpah diantara ekosistem yang ada di bumi.

Ekosistem ini sebagian berada dalam keadaan kritis. Secara global diperkirakan bahwa sekitar 10% terumbu karang telah hancur, banyak dalam posisi sulit untuk kembali kekeadaan semula, dan sekitar 20% memiliki kondisi sedang menurun menjelang 20 tahun ke depan. Paling kurang dua pertiga terumbu karang dunia berkemungkinan secara ekologi akan hancur menjelang periode cucu kita, kecuali kalau kita mengimplementasikan manajemen yang efektif dan memprioritaskan terhadap ekosistem ini (Coral Reefs, 2000). Penyebab kerusakan tersebut sebagian besar disebabkan perbuatan manusia, sebagai mana diungkapkan Allah SWT (Alqur'an, Surat Arrum, ayat 41) sekian abat yang lalu bahwa

“Telah terjadi kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).

Terumbu karang dan karang masih minim difahami masyarakat awam dan bahkan oleh masyarakat kita yang sudah berpendidikan sekalipun. Diantara Saintis Indonesia sendiri juga masih ada yang memakai istilah yang berbeda terhadap karang, seperti Sukarno (2001) yang menggunakan istilah “bunga karang”. Sehingga menambah daftar nama yang berbeda terhadap nama hewan tersebut. Karang sebagai hewan pembentuk utama terumbu karang masih ada yang menganggap sebagai benda mati (batu). Tetapi bagi nelayan, terumbu karang sudah lama mereka pahami sebagai daerah tujuan penangkapan ikan utama karena ekosistem perairan dangkal laut tropis tersebut memiliki jumlah dan jenis ikan serta organisme laut lainnya yang berlimpah (Gambar 1).

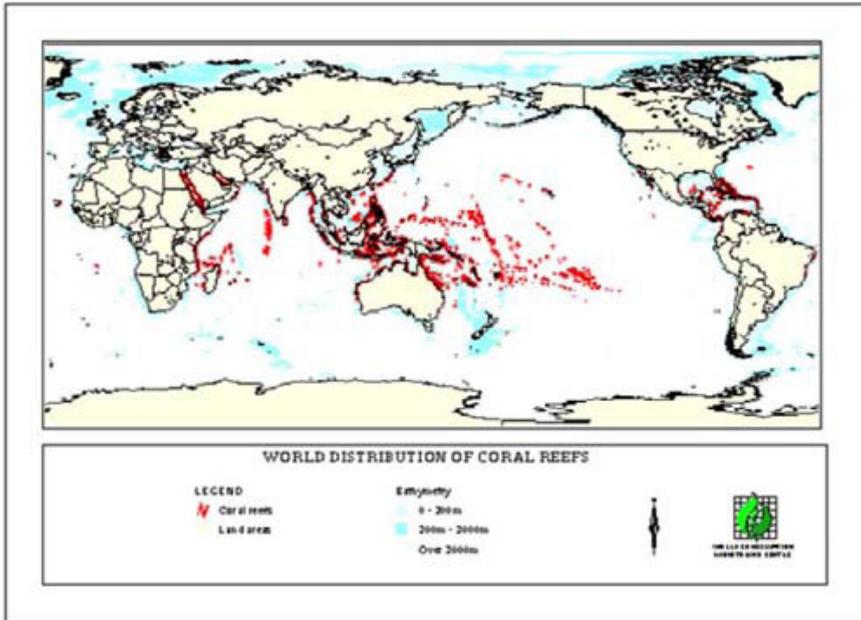


Gambar 1. Kondisi daerah terumbu karang di Pulau Weh di Aceh Provinsi Aceh.

Terumbu karang dikenal sebagai habitat di bawah laut yang paling indah dan menawan serta dikenal sebagai salah satu

ekosistem yang paling spektakuler dimana memiliki komunitas yang paling kaya di planet ini. Ekosistem yang sebagian besar terdapat di daerah tropis ini menempati lingkungan laut dalam jumlah luas yang sangat terbatas, tidak sampai 0,5 % dari total luas dasar laut keseluruhan. Akan tetapi memiliki kemampuan jauh melebihi luas yang dimilikinya, dengan jumlah organisme yang menempati perairan tersebut diperkirakan mencapai 25 % dari jumlah jenis organisme laut keseluruhan (Gambar 2). Hampir seluruh filum organisme yang dijumpai di dunia terdapat pada daerah terumbu karang, yaitu sekitar 32 dari 33 filum pengelompokkan organisme yang ada. Dibandingkan dengan ekosistem lainnya, terumbu karang memiliki kelimpahan jenis organisme empat kali lebih banyak dari hutan tropis yang merupakan ekosistem yang memiliki kelimpahan jenis organisme yang berada pada posisi kedua setelah ekosistem terumbu karang.

Kondisi Ini menimbulkan pertanyaan bagaimana terumbu karang mengatur dan mendukung sampai 650 karang dan 1000 spesies ikan dalam satu lokasi (Connolly et al. 2003; Bellwood et al. 2005). Untuk organisme-organisme yang berasosiasi dengan terumbu karang saja diperkirakan mencapai 700 spesies (Hamilton and Brakel 1984). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa biodiversitas lokal adalah sebuah produk biodiversitas regional (Caley & Schluter 1997; Karlson et al. 2004), dan komposisi spesies mungkin mengikuti secara relatif aturan kelompok sederhana (Bellwood & Hughes 2001). Pada sebuah tingkatan komunitas dimana spesies mampu berinteraksi antara satu dengan lainnya, mekanisasi hidup berdampingan (coexistence) masih ada celah untuk pertanyaan, meski banyak teori dan kemajuan secara empiris (Chesson 2000; Hubbell 2001). Namun dalam tulisan ini tidak akan mengulas lebih dalam tentang kelimpahan, melainkan mengarah pada peran karang dan zooxanthellae terhadap terumbu karang.



Gambar 2. Distribusi terumbu karang dunia. Warna merah merupakan daerah terumbu karang.

Kondisi Ini menimbulkan pertanyaan bagaimana terumbu karang mengatur dan mendukung sampai 650 karang dan 1000 spesies ikan dalam satu lokasi (Connolly et al. 2003; Bellwood et al. 2005). Untuk organisme-organisme yang berasosiasi dengan terumbu karang saja diperkirakan mencapai 700 spesies (Hamilton and Brakel 1984). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa biodiversitas lokal adalah sebuah produk biodiversitas regional (Caley & Schluter 1997; Karlson et al. 2004), dan komposisi spesies mungkin mengikuti secara relatif aturan kelompok sederhana (Bellwood & Hughes 2001). Pada sebuah tingkatan komunitas dimana spesies mampu berinteraksi antara satu dengan lainnya, mekanisme hidup berdampingan (coexistence) masih ada celah untuk pertanyaan, meski banyak teori dan kemajuan secara empiris (Chesson 2000; Hubbell 2001). Namun dalam tulisan ini tidak akan mengulas lebih

dalam tentang kelimpahan, melainkan mengarah pada peran karang dan zooxanthellae terhadap terumbu karang.

Terumbu karang berkembang dengan sangat baik pada daerah dangkal perairan pantai laut tropis dimana perairan jernih, bersih dan hangat. Pada perairan-perairan laut tertentu ditemukan menyebar sampai ke daerah sub-tropis. Topografi terumbu karang yang kompleks dan memiliki nutrisi yang sangat besar menyebabkan komunitas terumbu karang menjadi salah satu ekosistem paling subur di dunia (Hughes 1991, Lewis 1991). Namun beberapa survey terumbu karang mengungkapkan bahwa banyak spesies yang memiliki harga yang sangat tinggi telah punah, atau hadir dalam jumlah yang sangat terbatas pada sebagian besar terumbu karang (Hodgson, 1999).

Tahun 1997 dijadikan tahun terumbu karang dunia, dan penetapan ini pada intinya bertujuan untuk memulihkan terumbu karang sekaligus untuk mengembalikan keseimbangan ekosistem ini sehingga tercipta kembali gudang keanekaragaman hayati untuk dimanfaatkan masyarakat secara berkelanjutan. Namun 10 tahun kemudian menunjukkan pengrusakan terus berlanjut. Nasional Geografi Versi Bahasa Indonesia Edisi April 2007 mengeluarkan edisi khusus tentang “penurunan perikanan dunia”. Diantara topik yang dibahas termasuk penghancuran terumbu karang dengan menggunakan bom dan penangkapan ikan yang berlebihan (overfishing) yang menyebabkan 90 % ikan-ikan ekonomis penting menjadi punah.

Terumbu karang memainkan peranan dalam berbagai aspek, berperan sangat penting dan sangat vital, berfungsi sebagai sumber pendapatan penduduk/nelayan, sumber bahan makanan dan berfungsi sebagai penjaga/pelindung pantai dari gempuran ombak untuk jutaan manusia disamping berperan sebagai tempat tujuan wisata bawah laut nan menawan. Pada akhir-akhir ini hasil penelitian menunjukkan bahwa terumbu karang memberikan keuntungan tahunan mencapai puluhan milyar Dolar AS untuk menopang perekonomian dunia (Cesar et al, 2003). Dari hari ke hari penambahan penduduk

semakin meningkat, dan seiring dengan itu juga semakin banyak yang menggantungkan kehidupan/pendapatan dari daerah terumbu karang. Sebaliknya luas terumbu karang dari waktu ke waktu justru semakin berkurang dan kondisinya juga semakin menurun.

Diperkirakan sekitar 10 % terumbu karang dunia telah mengalami degradasi dari sekian banyak yang telah mengalami recovery dari kerusakan. Keadaan ini diperkirakan akan terus menurun menjelang 20 tahun mendatang. Sementara sekitar 75 % terumbu karang dunia diperkirakan akan hancur secara ekologi menjelang generasi ketiga manusia ke depan (Coral reefs, 2000). Untuk keberlanjutan organisme ini tidak mau tidak harus dikelola dengan manajemen yang tepat bila tidak menginginkan ekosistem yang berpusat di negara ini mengalami kepunahan.

Sebagai ekosistem yang memiliki keanekaragaman jenis (hewan dan tumbuhan) yang berlimpah, terumbu karang juga mendatangkan ketabjukan karena dikendalikan oleh kelompok hewan yang sangat sederhana yang dikenal dengan nama "karang" (coral), dan organisme ini termasuk salah satu kelompok hewan yang masih primitif. Karang dalam memenuhi kebutuhan hidupnya ditopang kelompok tumbuhan bersel tunggal mikro-algae yang dikenal dengan nama umum zooxanthellae. Hampir 100 % kebutuhan sebagian besar hewan karang sebagai inang ditopang oleh zooxanthellae sebagai simbiosis. Sehingga kehidupan dan keberlanjutan hewan karang dikendalikan oleh mikro-algae ini yang bila keadaan lingkungan tidak menguntungkan akan meninggalkan karang sebagai inang.

Peranan zooxanthellae yang tidak kalah pentingnya adalah dalam menentukan ada tidaknya terumbu karang pada suatu perairan. Karena zooxanthellae disamping berperan dalam memberi warna pada karang juga menentukan keberlanjutan karang sebagai mana disebutkan di atas. Untuk mengetahui bagaimana hubungan antara organisme yang berlainan jenis ini, karang sebagai hewan tingkat rendah setingkat avertebrata ini (karang) dengan tumbuhan bersel tunggal zooxanthellae sebagai tumbuhan tingkat rendah sehingga sampai berperan sangat penting dalam menentukan ada tidaknya

terumbu karang pada suatu perairan dirasa perlu diuraikan lebih rinci hubungan simbiosis mutualisme yang diperankan kedua organisme yang berasal dari jenis dan kelompok yang berbeda tersebut.

Melihat kondisi terumbu karang dalam keadaan kritis dan dalam perjalanan menuju kepunahan dapat menggugah Saintis, Pemerintah dan seluruh lapisan masyarakat yang berhubungan dengan ekosistem ini lebih serius mencari solusinya. Pihak-pihak yang sebelumnya terlalu mengejar keuntungan pribadi dengan cara cepat tanpa mempertimbangkan akibat yang ditimbulkan harus menyadari dan menghentikan perbuatannya. Bila tidak sumberdaya alam yang sangat esensial yang terlanjur rusak sebelum dimanfaatkan secara optimal bangsa ini secara perlahan dan pasti akan semakin kritis, atau lebih jauh akan punah.

Bab 2

PENGERTIAN TERUMBU, TERUMBU KARANG DAN KARANG

Terumbu, terumbu karang dan karang adalah tiga istilah dengan pengertian yang berbeda sama sekali. Terumbu adalah hasil yang dihasilkan dioroduksi karang, sementara terumbu karang adalah skosistem yang dibentuk ekosistem ini, dan karang adalah organisme yang membentuk keduanya.

2.1. Terumbu

Terumbu adalah sebuah istilah secara umum menerangkan sebuah gundukan, atau substrat keras, yang berkembang dan tumbuh menuju permukaan laut (Hughes, 1991; Hallock, 1996). Kerangka ini boleh jadi diperoleh secara abiotik, dari batuan dasar, boulders, kerikil dan pasir, atau dalam istilah terumbu buatan, dari blok konkrit, ban, dan lain sebagainya. Terumbu bisa juga dibangun secara biologi dari material skeleton dari berbagai organisme, sebagian besar terdiri dari karang batu.

2.2. Terumbu karang

Terumbu karang didefinisikan sebagai struktur karbonat pada atau dekat permukaan laut dicirikan oleh sebuah kelimpahan besar tumbuhan dan hewan berasosiasi dengan struktur terumbu, sebagai mana kecepatan pertumbuhan produksi primer pada daerah perairan yang memiliki nutrisi yang miskin (Lewis, 1981; Hatcher et al., 1989). Beragam definisi terumbu karang dapat ditemukan dalam berbagai literatur; keadaan ini selalu berdasarkan faktor seperti kerangka, sedimen, dan kelimpahan makhluk hidup (Stoddart, 1978).

Istilah *bioherm* digunakan untuk seluruh bentuk gundukan atau struktur seperti bingkai yang tumbuh sampai dekat ke permukaan laut tanpa memperhatikan sumber (Hallock, 1997). Untuk tujuan diskusi peran terumbu dalam produktivitas laut secara global, batas luar terumbu karang dapat didefinisikan sebagai dasar zona photic atau daerah transisi sampai kurang dari 80% sedimen dari terumbu (Crossland et al., 1991). Menurut definisi ini, daerah terumbu secara global lebih kurang 600.000 km², 0.17% dari luas laut secara keseluruhan, atau 15% dari luas perairan dangkal sampai kedalaman 30 m (Smith, 1978).

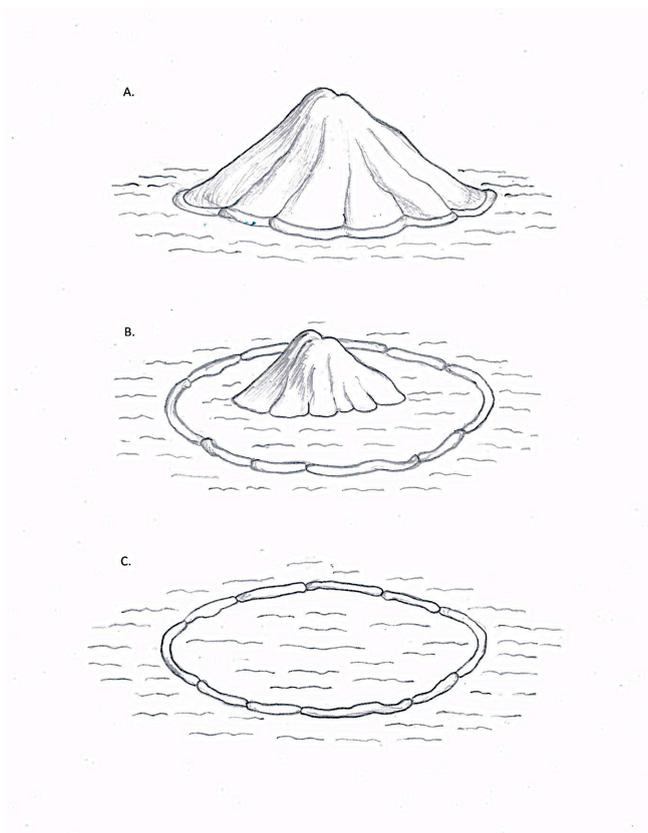
Terumbu dari segi topografi dan struktur dibangun oleh makhluk hidup, berkembang dan tumbuh menuju permukaan perairan serta dicirikan oleh kemampuannya menahan stres yang diakibatkan oleh tekanan secara hidrodinamika. Terumbu adalah salah satu keistimewaan bangunan bawah laut, dan terdiri dari skeleton organisme-organisme yang menghasilkan zat kapur. Organik khas terumbu adalah sebuah hasil respon aktif biologi secara relatif terbatas pada proses kimia, fisika, geologi dan biologi yang saling berhubungan (Fagerstrom, 1987). Sejalan dengan pertumbuhan terumbu, keadaan ini secara berkelanjutan memodifikasi lingkungannya. Fenomena ini tergambar secara relatif berupa bungkusan padat dan organisme menetap di dasar, berkoloni atau organisme bersifat hidup mengelompok memiliki pertumbuhan tinggi.

Karang pembentuk terumbu selalu mengacu pada pembentuk utama kerangka terumbu karena skeletonnya terdiri dari struktur primer terumbu karang. Organisme calcareous lain, seperti coralline algae berperan dalam mengikat sedimen dan menyemen struktur terumbu. Pada daerah dimana kekuatan gelombang sangat kuat, coralline algae sangat penting dan bahkan mungkin lebih penting dari organisme karang dalam proses konstruksi terumbu, yang menyebabkan beberapa ilmuawan menyimpulkan terumbu sebagai “terumbu biotik” (Littler and Littler, 1985). Sedimen pada daerah terumbu terutama diperoleh dari proses fisika, seperti energi gelombang dan degradasi organik seperti bioeroders dari beberapa sponges dan bivalva pembentuk terumbu. Sebagai kesimpulan terumbu terdiri dari organisme-organisme yang memproduksi dan mengikat substrat keras, sebagai mana organisme-organisme yang bekerja untuk mengikis dan menghancurkannya.

Berdasarkan bentuknya terumbu karang dibagi menjadi 3, walaupun beberapa saintis ada yang membagi menjadi 5 atau lebih. Namun pada beberapa bentuk tambahan yang lain pada dasarnya merupakan pecahan dari tiga kelompok besar pembagian tiga bentuk terumbu karang tersebut. Ketiga bentuk terumbu karang tersebut adalah sebagai berikut: 1) *Fringing Reef* (terumbu karang tepi), yaitu terumbu karang yang tumbuh di tepi suatu pulau atau di tepi sepanjang pantai yang luas menghadap langsung ke laut. 2) *Barrier Reef* (terumbu karang penghalang), yaitu terumbu karang yang berkembang jauh dari pantai, dan antara terumbu karang dan pantai terdekat dibatasi oleh sebuah *lagoon*. 3) *Atoll* adalah terumbu karang berbentuk cincin atau terumbu karang berbentuk melingkar.

Sebagai tambahan tipe terumbu karang selain yang diterangkan di atas adalah *patch reefs* dan *table reefs*, yaitu terumbu karang yang muncul pada dasar suatu lagoon dan merupakan terumbu karang yang memiliki ciri-ciri sendiri yang dikelilingi oleh pasir atau substrat selain substrat dari karang. Sedangkan *table reefs* merupakan terumbu karang berukuran kecil yang tumbuh dan berkembang di lautan luas/samudera yang tidak memiliki pusat pulau atau lagoon, membentuk puncak pergunungan di dalam laut.

Kehadiran dan kelangsungan hidup terumbu karang membutuhkan kondisi air yang jernih dan hangat untuk menopang kelimpahan organisme di dalamnya. Kondisi ini menyebabkan terumbu karang hanya ditemukan terbatas di perairan dangkal laut tropis. Ekosistem ini diperkirakan merupakan salah satu ekosistem yang paling tertua yang masih ditemukan di atas bumi, yang mengalami pasang surut perkembangan secara terus menerus semenjak lebih dari 5000 tahun yang lalu. Sehingga terumbu yang ditemukan sekarang pada perairan-perairan laut pada lebih 100 negara saat ini telah berkembang selama lima ribuan tahun.



Gambar 3. Sketsa tipe secara umum bentuk terumbu karang.

Terumbu karang bagaikan tumpukkan-tumpukan keajaiban alam diantara perairan laut yang gersang, daerah wisata yang sangat menawan, dan merupakan habitat bawa air yang sangat subur dengan keanekaragaman organisme yang sangat berlimpah. Keindahan terumbu karang tidak akan pernah membuat pendatang merasa puas. Namun dibalik keajaiban dan keindahan terumbu karang ini juga akan mendatangkan kekaguman dan kesadaran akan kekuasaan Yang Maha Kuasa, karena ekosistem yang bagaikan bangunan luar biasa baik dari segi arsitek maupun dari ukuran yang luar biasa besar ini ternyata terletak pada pundak hewan yang masih tergolong primitif dari kelompok Coelenterata, karang scleractinia (karang batu). Dalam memperoleh makanan untuk kebutuhan hidup masih bergantung pada mikro-algae dari kelompok dinoflagellata yang dikenal dengan nama zooxanthellae. Zooxanthellae ini yang menentukan sebagian besar karang untuk tumbuh lebih cepat dan peranannya dalam membentuk struktur terumbu.

Terumbu karang sebagaimana disebutkan di atas diperkirakan memiliki luas sekitar 600.000 km², dan dengan beberapa pengecualian, terletak antara 30° lintang utara dan 30° lintang selatan. Terumbu karang dunia berada di Asia Tenggara sekitar 100.000 km² atau sekitar 34%, dengan jumlah spesies hewan karangnya diperkirakan berjumlah 600 jenis dari 800 jenis hewan karang pembentuk terumbu yang ditemukan di dunia. Hal ini menyebabkan terumbu karang di Asia Tenggara menjadi daerah yang memiliki keanekaragaman hayati laut yang tertinggi di dunia. Disamping itu Asia Tenggara juga merupakan pusat keanekaragaman ikan karang dan organisme terumbu karang lainnya seperti moluska, krustacea, ikan dan lain-lain.

Distribusi terumbu karang hanya mendominasi perairan daerah tropis sampai ke daerah sub-tropis, memiliki perairan yang jernih, fluktuasi temperatur tahunan di atas 18°C, terhindar dari sedimentasi, dan jauh dari pengaruh air tawar. Kriteria kualitas perairan yang dibutuhkan karang sebagai organisme pembentuk terumbu menyebabkan ekosistem ini hanya ditemukan pada daerah pulau-pulau kecil yang memiliki perairan jernih dengan

pantainya yang landai, yang agak jauh dari pulau-pulau berukuran lebih besar yang memiliki banyak sungai besar. Kehadiran karang pembentuk terumbu tidak selamanya berhasil membentuk terumbu karang pada suatu perairan, tergantung pada fluktuasi temperatur tahunan perairan yang menjadi habitat hewan karang. Keadaan ini terjadi pada perairan laut daerah sub-tropis dan perairan yang lebih dalam, yang memiliki karang pembentuk terumbu tetapi tidak mampu membentuk terumbunya. Sebagai contoh bisa ditemukan berbagai jenis karang *Acropora* pada perairan sub-tropis Amakusa Jepang, dimana perairan ini memiliki berbagai jenis hewan karang pembentuk terumbu, akan tetapi berbagai jenis karang di perairan ini tidak mampu membentuk terumbu.

Terumbu karang merupakan salah satu ekosistem yang paling kompleks ditemukan di perairan laut dan bahkan bila dibandingkan dengan semua ekosistem yang ada. Komunitas hewan dan tumbuhan pada suatu terumbu karang begitu menonjol dan berlimpah. Ekosistem ini merupakan sebuah jaringan makanan (food webs) yang rumit disebabkan siklus energi mempunyai sebuah sistem, dan secara sederhana dapat digambarkan dari tumbuhan yang dibantu oleh sinar matahari dalam melanjutkan kehidupannya, kemudian berlanjut pada hewan bersifat herbivora dan filter feeder sampai pada puncaknya hewan bersifat karnivora, scavenger dan deposit feeder.

Kelompok karang hermatypic (karang batu) merupakan organisme yang memainkan peranan kunci sebagai pembentuk terumbu, dimana bila terjadi gangguan terhadap karang batu akan mengakibatkan terjadinya kehancuran pada ekosistem terumbu karang sendiri. Hewan karang sebagai hewan bentos juga menyediakan substrat sebagai tempat menempel, tempat berlindung, tempat memijah, tempat mencari makanan dan lain sebagainya bagi beragam organisme (Glynn, 1982; Huthing, 1986; Thamrin, 2001). Kehancuran terumbu karang akan menyebabkan musnahnya berbagai organisme yang hidup berasosiasi dengan terumbu karang. Ekosistem ini menyediakan berbagai kebutuhan yang menguntungkan tidak saja bagi organisme yang saling memiliki ketergantungan antara satu dengan yang lainnya di daerah terumbu

karang, yang hidup berasosiasi diantara penghuni terumbu karang. Akan tetapi bagi manusia sendiri juga bermanfaat baik secara langsung seperti dalam menyediakan makanan, obat-obatan, bahan konstruksi dan bahan lainnya; maupun manfaat secara tidak langsung sebagai pemecah ombak laut (*break water*) dalam menjaga pantai atau daratan dari pengaruh ombak.

2.3. Karang,

Karang, Hewan karang (cnidaria dan coelenterata) terbentuk dari salah satu kelompok dari kindom hewan dan sangat penting dalam ekologi terumbu karang. Karang dijumpai dari daerah kutub sampai daerah tropis dengan perairannya yang hangat. Phylum ini dibagi menjadi tiga grup, yaitu: hydroid, jellyfish, dan anthozoa yang terdiri dari soft coral (karang lunak), gorgonian, sea anemone, sea pen, black coral dan karang batu.

Kelompok Hydroid yang paling menonjol keberadaannya pada daerah terumbu karang adalah karang api (*fire corals*) atau dikenal dengan bahasa ilmiahnya *Millepora*. *Millepora* kelihatannya seperti karang batu, memiliki skeleton yang keras. Sebagaimana nama yang diberikan padanya, karang api memiliki sel penyengat (nematosis) yang cukup kuat dan hanya bisa disentuh dengan bagian telapak tangan manusia, dan bila bersentuhan dengan kulit tubuh lainnya bisa menimbulkan iritasi. Secara ekologis, karang api juga memiliki kesamaan dengan karang batu dalam peranannya membentuk terumbu karang, yakni berperanan penting dalam membentuk kerangka terumbu karang. Sebagaimana halnya karang batu, bagian yang sangat penting bagi kehadiran karang api terutama dari fungsi ekologis, yaitu sebagai habitat bagi berbagai hewan yang hidup bebas di dalam perairan, seperti habitat bagi berbagai jenis ikan, avertebrata termasuk sponge, anemone, moluska, crinoid dan bintang laut. Hydroid dari kelompok lain termasuk sea fen dan Portuguese Man-of War.

Karang lunak sesuai dengan namanya memiliki tubuh yang lembut atau lunak. Karang lunak yang menghuni terumbu karang

terdiri dari berbagai kelompok dan warna yang sangat bervariasi. Polip karang lunak dijumpai dalam bentuk kelompok massive, berbentuk fungi dan juga ada yang berbentuk lembaran atau seperti daun telinga, akan tetapi tidak memiliki kemampuan dalam membentuk skeleton kalsium karbonat yang keras. Karang-karang lunak berfungsi dalam menyediakan makanan bagi beberapa moluska seperti false cowries dan nudibranchs.

Dari kelompok karang, sea anemon merupakan salah satu kelompok yang memiliki ukuran polip paling besar, dan polipnya dalam bentuk soliter. Banyak dari sea anemon mencapai ukuran diameter satu-setengah meter dan memiliki warna yang cerah. Kehidupan bersimbiosis juga ditemukan pada sea anemone, dan simbiosis yang paling kentara terjadi antara sea anemone dengan ikan clown atau ikan anemone dari kelompok famili damsel. Organisme lain yang juga menjadikan anemon sebagai habitat terdiri dari beberapa jenis ketam dan udang-udangan berukuran kecil. Antara lain sea anemon dengan hewan-hewan yang menjadikannya sebagai habitat terbentuk hubungan simbiosis, dimana ikan clown dan organisme lainnya yang bersimbiosis dengan anemon bisa terlindung diantara tentakel anemon tanpa terpengaruh nematosit anemon. Sebaliknya kehadiran ikan clown dan organisme lain yang bersimbiosis dengan anemon bisa menarik hewan lainnya yang dimanfaatkan kedua jenis hewan yang bersimbiosis ini sebagai makanan.

Karang pembentuk terumbu adalah hewan walaupun menimbulkan keraguan karena pada umumnya seperti bebatuan, terutama yang telah mati dan meninggalkan skeleton di berbagai daerah pantai. Pada kenyataannya tubuh karang sebagian besar terdiri dari zat kapur mengikat hanya bagian luar hewan karang yang hidup. Hewan karang juga dapat diumpakan seperti batang pohon yang besar dimana bagian dalam terdiri dari kayu berfungsi sebagai struktur penopang bagian kulit pada bagian luar yang hidup dan tumbuh. Sebagaimana pohon di daratan, dimana sebagian besar hewan karang secara permanen melekat pada dasar laut.

Karang pembentuk terumbu atau karang batu (*scleratinia*) terdiri dari beragam bentuk yang memiliki ciri-ciri adakalanya hampir tidak dapat dibedakan dari bentuk sampai yang sama sekali berbeda diantara jenis satu dengan yang lainnya. Keragaman bentuk, formasi, warna dan tekstur karang hampir tidak terbatas. Keseluruhan karang batu diperkirakan berjumlah sekitar 800 spesies, dan sekitar 600 spesies diantaranya terdapat di Asia Tenggara. Pada umumnya spesies ini merupakan karang pembentuk terumbu. Struktur fisik dari pada karang menyediakan substrat atau tempat bagi berbagai organisme lainnya, seperti ikan, krustacea, algae dan ribuan avertebrata sebagai mana disebutkan di atas. Jadi hewan karang merupakan pembentuk utama sebuah ekosistem yang sangat rumit. Karang batu selalu dijumpai dalam bentuk koloni yang melekat pada substrat keras, dengan pengecualian beberapa diantaranya yang dalam bentuk soliter, dimana pada saat spesies ini sudah matang terlepas dari substratnya. Semua formasi karang, hanya bagian permukaan yang mendapatkan cahaya yang tetap hidup. Struktur koloni karang di bawah tisu yang hidup terdapat skeleton sebagai penopang polip-polip yang terus tumbuh dan berkembang. Skeleton karang ini berasal dari kalsium karbonat yang ditumpuk oleh polip-polip yang masih hidup yang ada di permukaan. Pada beberapa kejadian skeleton-skeleton ini dibentuk oleh koloni karang mungkin sangat besar dengan diameter sampai beberapa meter.

Sebagian besar hewan karang hidup dalam bentuk berkoloni, dan sebaliknya dalam bentuk soliter. Individu karang sendiri disebut dengan *polyp* (polip), jadi karang bentuk soliter dikatakan juga karang berpolip tunggal, seperti yang dijumpai pada karang kelompok *Fungia*. Karang kelompok *Fungia* memiliki beberapa keistimewaan. Disamping hanya terdiri dari satu buah polip juga setelah berukuran besar atau dewasa sebagian besar melepaskan diri dari substrat tempat menempel sebagai mana disebutkan di atas. Sehingga kelompok ini mampu bergerak dan berpindah-pindah di dasar perairan. Mekanisasi pergerakan dilakukan dengan memanjangkan tisu, kemudian mendorong tubuhnya ke arah depan. Pergerakannya juga bisa terjadi dengan bantuan arus. Pada awal kehidupannya yakni pada saat awal perkembangan dari larva (*planulae*) mulai menempel yang diikuti

pembentukan polip muda menjelang dewasa hidup melekat pada substrat, kemudian setelah besar terlepas dari substrat dasar tempat karang ini melekat. Pengecualian terjadi pada dua kelompok genus *Lithophyllon* dan *Podabacia* yang melekat pada substrat selama hidupnya.

Setiap jenis karang memiliki ukuran individu (polip) yang berbeda, tergantung tipe, lingkungan berbeda dan jenisnya. Ukuran polip karang tipe berkoloni memiliki diameter jauh lebih kecil dari pada yang bertipe soliter, pada umumnya memiliki ukuran diameter berkisar antara 1-3 cm. Sementara yang berukuran paling besar ditemukan pada jenis *Fungia* (*mushroom coral*) yang tergolong ke dalam karang bertipe soliter (berpolip tunggal), dengan ukuran diameter mencapai 25 cm. Ukuran polip jenis karang yang sama pada lingkungan perairan berbeda juga tidak sama. Seperti polip karang *Pocillopora damicornis* yang berada di Galapagos memiliki ukuran diameter lebih besar secara signifikan dibandingkan dengan spesies yang sama yang ditemukan di Panama (Glynn et al., 1991). Rata-rata diameter polip karang *P. damicornis* yang berada di Galapagos memiliki diameter 0,72 mm. Sedangkan *P. damicornis* yang berada di Panama memiliki diameter polip rata-rata 0,62 mm.

Konfigurasi skeleton ditentukan oleh pola pertumbuhan koloni secara keseluruhan. Semua konfigurasi polip dan bentuk pertumbuhan dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan seperti arus, salinitas, intensitas cahaya, temperatur, kedalaman dan kompetisi dengan berbagai spesies. Spesies yang sama bila menempati kedalaman yang berbeda bisa menyebabkan bentuk pertumbuhan yang berbeda. Hal ini menambah daftar kesulitan bila mengidentifikasi jenis karang bila mengandalkan bentuk morfologi semata.

Kecepatan pertumbuhan karang bervariasi dan tergantung bentuk koloni. Seperti jenis karang dalam bentuk massive hanya memiliki diameter kecepatan pertumbuhan sekitar 2 cm/tahun, sementara untuk pertumbuhan ke atas malahan kurang dari 1 cm/tahun. Bila dibandingkan dengan karang bercabang dari genus

Acropora bisa tumbuh sekitar 5 sampai 10 cm/tahun atau lebih. Dalam banyak kejadian, kecepatan pertumbuhan karang lambat dan sangat dipengaruhi oleh faktor kondisi lingkungan tertentu.

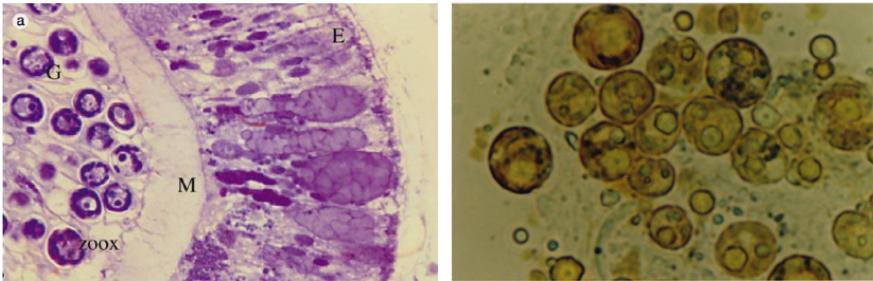
Karang pembentuk terumbu kelihatannya agak sensitif terhadap temperatur, dan terbatas hanya pada daerah perairan yang hangat dan hanya bisa tumbuh dalam temperatur antara 18-29°C. Pada umumnya karang hermatypic memerlukan intensitas cahaya yang cukup dan oleh karena itu biasanya hanya dijumpai terbatas pada daerah dangkal (sampai kedalaman 50 meter), tergantung kecerahan perairan. Kebutuhan akan cahaya diperlukan oleh kehadiran simbiosis karang micro-algae zooxanthellae yang hidup di dalam tisu polip karang yang memerlukan cahaya matahari untuk melakukan aktifitas photosynthesis. Kalau tidak polip karang akan lebih aktif mencari makanan mikro-zooplankton pada malam hari dan partikel organik di dalam air.

2.4. Zooxanthellae

Zooxanthellae adalah nama panggilan yang digunakan untuk mikro-algae yang hidup di dalam jaringan tisu organisme karang (Gambar 1). Mikro-algae ini berasal dari kelompok Dinoflagellata dengan nama spesiesnya *Symbiodinium microadriaticum*, yang juga bersimbiosis dengan beberapa jenis hewan laut selain karang, yaitu seperti: anemon, sponge, beberapa jenis jellyfish, giant clams, nudibranchs dan beberapa kelompok cacing moluska dan lain-lainnya. Jumlah zooxanthellae pada karang diperkirakan lebih dari 1 juta sel/cm² permukaan karang, yaitu berkisar antara 1-5 juta sel/cm². Meski dapat hidup tidak terikat dengan inang, sebagian besar zooxanthellae melakukan simbiosis dengan organisme laut yang disebutkan di atas.

Waktu kehadiran zooxanthellae pada siklus kehidupan karang tidak sama diantara spesies yang sama maupun diantara spesies berbeda, dan secara garis besarnya dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu: 1) Pada saat oogenesis baik pada karang tipe *spawning*

maupun karang tipe *brooding*. Sebagian kecil spesies karang, zooxanthellae masuk dalam siklus hidup karang pada saat oosit stadium terakhir (oosit telah matang). 2) Pada saat embriogenesis. Pada umumnya terjadi pada karang tipe *brooding*. 3). Pada saat larva dan saat terbentuk polip muda. Kelompok ini terutama terjadi pada karang tipe *spawning*. Proses dan waktu masuk zooxanthellae ke dalam kehidupan karang lebih rinci bisa dilihat dalam berbagai referensi (lihat Thamrin, 2005).



Gambar 4. Zooxanthellae satt di dalam jaringan karang *Acropora millepora* (Cervino et al., 2003) (a), dan (b) closs up zooxanthellae di luar tubuh karang *Goniastrea aspera* (Foto oleh Thamrin).

Waktu kehadiran zooxanthellae pada siklus kehidupan karang tidak sama diantara spesies yang sama maupun diantara spesies berbeda, dan secara garis besarnya dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu: 1) Pada saat oogenesis baik pada karang tipe *spawning* maupun karang tipe *brooding*. Sebagian kecil spesies karang, zooxanthellae masuk dalam siklus hidup karang pada saat oosit stadium terakhir (oosit telah matang). 2) Pada saat embriogenesis. Pada umumnya terjadi pada karang tipe *brooding*. 3). Pada saat larva dan saat terbentuk polip muda. Kelompok ini terutama terjadi pada karang tipe *spawning*. Proses dan waktu masuk zooxanthellae ke dalam kehidupan karang lebih rinci bisa dilihat dalam berbagai referensi (lihat Thamrin, 2005).

Karang sebagaimana disebutkan pada bagian awal piper ini merupakan salah satu kelompok hewan avertebrata ordo Scleractinia

yang berbentuk hanya seperti tabung (polip) yang pada umumnya hidup dalam bentuk berkoloni. Zooxanthellae tanpa terkecuali selalu hadir hanya terbatas pada lapisan endodermis/gastrodermis karang scleractinia bila dalam keadaan normal. Semula zooxanthellae diidentifikasi dengan nama spesies *Gymnodinium adriaticum*, dan kemudian berubah menjadi *Gymnodinium microadriaticum* Freudenthal. *Gymnodinium microadriaticum* Freudenthal yang hidup di dalam tubuh karang diperkirakan berasal dari satu spesies *micro-algae* unicelluler pada awalnya sampai pada tahun 1980-an.

Selama berabat-abat zooxanthellae diyakini terdiri dari satu spesies. Melalui penelitian ribosom RNA diketahui ternyata zooxanthellae karang yang terdapat pada jaringan karang berasal dari beragam clade (tipe). Kesalahan ini terkuak mulai tahun 1980-an, dimana Schoenberg and Trench (1980*a*, 1980*b*, 1980*c*), Blank and Trench (1985) menemukan bahwa perbedaan morfologi dan enzim dapat diamati di dalam kultur algae dari inang berbeda. Hal ini diikuti aplikasi dasar teknik DNA oleh Rowan and Powers (1991), yang menerangkan keanekaragaman genetik yang disarankan penelitian sebelumnya yang kemudian mengarah pada era baru dalam perkembangan ilmu tentang zooxanthellae. Analisis dari sub-unit gen rDNA menunjukkan dengan jelas untuk pertama kali bahwa terdapat beragam genetik dalam genus *Symbiodinium*.

Rowan et al., (1997) melaporkan bahwa dinoflagellata genus *Symbiodinium* yang hidup di dalam tubuh karang terdiri dari tipe *A*, *B* dan tipe *C* setelah diuji melalui ribosomal RNA (srRNA). Ketiga tipe spesies *Symbiodinium* ini diamatinya pada karang *Montastrea annularis* dan *M. faveolata* pada kedalaman yang berbeda. *Symbiodinium A* dan *B* umumnya ditemukan pada karang di perairan dangkal dimana sinar matahari sangat tinggi. Sementara kelompok *C* ditemukan pada perairan lebih dalam dimana cahaya matahari lebih rendah. Gabungan tipe *A* dengan *C* dan *B* dengan *C* umum dijumpai pada daerah pertengahan. Namun sampai saat ini microalgae yang hidup di dalam jaringan tubuh karang masih dikenal dengan nama umum zooxanthellae.

Pada tahun 2001 diuraikan Pochon et al., bahwa secara umum terdapat empat tipe *Symbiodinium* pada hewan karang, yaitu tipe A, B, C, and D. Sementara tipe D juga dibedakan menjadi tipe E oleh Toller et al. (2001a, 2001b) dan Brown et al. (2002). Kemudian tipe F berasosiasi dengan kelompok Foraminifera disamping juga ditemukan pada karang *Alveopora japonica* di Perairan Korea (Rodriguez-Lanetty et al. 2000). Di Karibia, semua tipe zooxanthellae berlimpah pada berbagai jenis karang (LaJeunesse, 2002).

Di Karibia, zooxanthellae yang berasosiasi dengan *M. annularis* menunjukkan bukti yang jelas memiliki zonasi, dimana tipe A dan B di perairan lebih dangkal memiliki cahaya dan tipe C di perairan lebih dalam (Rowan and Knowlton 1995). Pada habitat dimana tipe D berlimpah selalu lebih dangkal dari perairan tipe C, walau telah didokumentasikan dijumpai pada perairan sangat dalam pada daerah peralihan sedimen terumbu (Toller et al. 2001b). Pada pengamatan lebih luar di Laut Karibia, LaJeunesse (2002) mengungkapkan bahwa tipe A terbatas pada inang yang mendiami perairan lebih dangkal dari 3–4 m. Coffroth et al. (2001) menemukan bahwa populasi yang menetap sementara pada daerah yang baru ditempati juvenile octocoral di Laut Karibia memiliki tipe A di perairan dangkal, tetapi tidak di perairan lebih dalam. Di Laut Karibia, untuk setiap spesies inang ditemukan lebih dari satu tipe zooxanthellae, dan tipe C ditemukan pada kedalaman lebih dalam dari tipe A dan B (walaupun banyak karang inang perairan dangkal hanya memiliki tipe C). Di dalam *Montastraea*, pola ini seperti pada skala spasial terbatas pada permukaan beberapa koloni, dimana tipe C terbatas pada lingkungan terbatas yang memiliki cahaya lebih rendah pada perairan lebih dangkal (keruh) (Rowan et al. 1997). Pada karang inang lain, seperti *Acropora cervicornis*, pola zonasi hanya terlihat pada spesies berbeda, tidak dalam spesies yang sama (Baker et al. 1997).

Sebagai kesimpulan, hal ini melahirkan penekanan bahwa kelihatannya perbedaan karakteristik ekologi diantara tipe mungkin menunjukkan hasil penelitian yang masih terbatas sampai saat ini. Sebagai contoh, walau tipe C menunjukkan lebih sensitif terhadap

temperatur yang tinggi di Samudera Pasifik bagian Timur (Glynn et al. 2001) dan di Laut Karibia (Rowan et al. 1997), beberapa tipe C menunjukkan menjadi tahan terhadap bleaching di Samudera Pasifik bagian barat (LaJeunesse et al. 2003).

Baker (1999) mengidentifikasi tipe B tergolong unik, dan hanya berasosiasi dengan *Colpophyllia natans* di Bahama. Dia juga menerangkan tipe umum C berasosiasi dengan *A. cervicornis* di perairan dalam Laut Karibia, tipe C umum ditemukan pada *Montastraea cavernosa*, beberapa tipe C secara unik berasosiasi dengan beberapa spesies *Porites* di Laut Karibia dan di Samudera Pasifik Timur. Sebuah keunikan tipe D secara umum hanya berasosiasi dengan karang *Diploastrea heliophora* di Australia.

Zooxanthellae sejauh ini sangat difahami sebagai mikro-algae yang berasosiasi dengan karang, dan hubungan fisiologi kedua organisme ini telah dipelajari selama beberapa dekade. Secara ilmu gizi menguntungkan karang inang (photosynthetic karbon) dan simbiosis (nutrien anorganik) telah dibahas secara ekstensif dimanmana (Muller-Parker and D'Elia 1997) dan tidak akan dibahas secara rinci disini. Hubungannya jelas menguntungkan karang, akan tetapi tingkat keuntungan belum sepenuhnya diketahui (Douglas and Smith 1989), karena hampir tidak ada sama sekali diketahui ekologi dan fisiologi zooxanthellae yang hidup bebas di alam (LaJeunesse 2001). Walau sebagian besar inang membutuhkan zooxanthellae dari lingkungan, strain yang hidup bebas jarang diisolasi (Loeblich and Sherley 1979; Carlos et al. 1999).

Disamping zooxanthellae bersimbiosis dengan karang juga ditemukan di dalam tubuh berbagai kelompok organisme yang hidup di terumbu karang. Beberapa organisme yang mengandung zooxanthellae di dalam jaringan tubuhnya seperti di dalam tubuh hydrozoa, scyphozoa dan lain-lain sebagai mana disebutkan di atas. Siklus hidup zooxanthellae di laboratorium telah digambarkan Freudental dalam Yonge (1963). Perkembang biakan zooxanthellae di tempat kultur di laboratorium bisa terjadi dalam 5 cara, dan untuk lebih jelas lihat Thamrin (2005).

Densitas zooxanthellae umumnya paling padat pada karang dalam keadaan normal dijumpai pada bagian tentakel, daerah oral disc, dan pada bagian coenosarc. Tubuh karang yang memiliki densitas zooxanthellae lebih rendah dijumpai pada bagian bawah polip. Pada setiap waktu densitas zooxanthellae berfluktuasi, tergantung pada kualitas lingkungan perairan. Pada dasarnya keluar masuk zooxanthellae terjadi setiap saat dari dalam tubuh karang. Jumlah zooxanthellae yang keluar tidak lebih dari 0,1 % dari total standing stock simbiosis algae setiap hari. Sementara kecepatan pengeluaran tidak lebih dari 4 % dari penambahan sel populasi simbiosis zooxanthellae. Hal ini menyatakan secara tidak langsung penambahan biomas algae. Akibatnya beberapa zooxanthellae baru harus ditampung oleh inang (baik oleh pertumbuhan inang atau disebabkan pertumbuhan intensitas zooxanthellae pada inang) dan/atau dikeluarkan oleh karang inang.

Fluktuasi zooxanthellae sepanjang waktu terjadi baik pada karang dewasa maupun pada larva planulae. Densitas zooxanthellae di dalam tubuh karang berfluktuasi sepanjang tahun. Densitas zooxanthellae paling rendah ditemukan pada musim panas dan jumlah paling padat ditemukan pada musim dingin (Fitt et al., 2000). Degradasi zooxanthellae pada larva planulae juga terjadi disebabkan pengaruh perubahan lingkungan sebagaimana yang terjadi pada karang yang telah dewasa. Seperti larva planulae pada koloni telah dewasa karang *Pocillopora damicornis*. Degradasi zooxanthellae pada kedua generasi karang *P. damicornis* baik pada saat larva planulae maupun pada koloni yang telah dewasa dilaporkan Titlyanov et al. (1996, 1998).

Zooxanthellae bila dikultur mengalami perubahan bentuk tubuh, dari bentuk bulat menjadi bentuk motile dengan ukuran panjang 8 – 12 μ , serta memiliki diameter antara 5 – 8 μ yang dilengkapi flagellae. Micro-algae ini diperkirakan berasal dari spesies yang sama walaupun memiliki tipe yang berbeda. Perkembangan zooxanthellae umumnya terjadi dalam bentuk 4 fase. Pada awalnya sel vegetatif memiliki berbagai chloroplas dan beberapa hasil produksi metabolisme. Sel berumur agak lebih tua yang memiliki warna

kuning kecoklat-coklatan berisi produksi asimilasi dan dua vacuola memiliki kecepatan bergerak granule yang besar. Sel berumur lebih tua serta memiliki produksi minyak dan produksi asimilasi yang lebih besar; dan menunjukkan sel berumur sangat tua mengandung produksi asimilasi yang sangat besar, bintik lemak, beragam granule berukuran kecil-kecil, dan tanpa *chloroplas* (kloroplas).

Bab 3

MANFAAT TERUMBU KARANG

Struktur terumbu berperan sebagai dasar untuk menjadi ekosistem yang memiliki keanekaragaman tertinggi di planet ini yang mendukung luar biasa kecepatan pertumbuhan produksi primer (Adey and Steneck, 1985). Sebagai contoh walaupun terumbu karang hanya menempati kurang dari 0,25 % (600,000 km²) luas dasar laut keseluruhannya (Smith, ,1978), namun terumbu karang ditempati lebih dari 25% dari seluruh jenis ikan laut yang sudah diketahui (Bryant et al., 1998). Terumbu karang memainkan peranan penting sebagai habitat dan nursery grounds untuk 10% sampai 20% perikanan dunia (Coral reefs, 2000).

Terumbu karang daerah tropis dapat menjadi topografi yang sangat besar dan mendukung keanekaragaman spesies dan produktifitas jauh melebihi batasan habitat (Hughes, 1991). Sebagai komunitas bentik, menimbulkan teka teki besar bagaimana terumbu karang mencapai aliran energi untuk memelihara kecepatan produksi primer yang luar biasa besar pada lingkungan laut oligotrophic. Perkiraan produksi primer berkisar antara 1.5 - 14.0 grams C/m²/hari, dan keadaan ini sekitar 1 – 2 kali lebih tinggi dari produksi fitoplankton di perairan sekitarnya. Ada sedikit keraguan bahwa hubungan simbiosis mutualisme antara hewan karang dengan zooxanthellae memungkinkan karang pembentuk terumbu berkontribusi secara substansial pada produktifitas organik dan

kerangka karbonat terumbu karang (Muller-Parker and D'Elia, 1997). Dengan mengabsorpsi karbon dioksida untuk photosyntesis, zooxanthellae memfasilitasi kalsium karbonat (Goreau, 1959). Hasil photosyntesis ditransfer di dalam tisu karang, berkemungkinan menyediakan sumber energi umum. Hal ini menyebabkan polip karang mampu menghasilkan batu kapur seperti di dalam karang massive dimana kerangka terumbu terbentuk.

Bagaimana keanekaragaman ini terpelihara pada seluruh skala terumbu adalah pertanyaan yang selalu muncul ke permukaan. Penelitian-penelitian terdahulu dan model-model tentang spesies hidup berdampingan menyimpulkan bahwa spesies hidup berdampingan disebabkan oleh: 1) sumberdaya dalam keadaan melebihi kebutuhan spesies sendiri dan oleh karena itu kompetisi dan penyingkiran salah satu kompetitor tidak terjadi (Sale, 1991; Huston, 1994; Karlson and Levitan, 1990; Karlson and Hurd, 1993; Tanner et al., 1993; Doherty and Fowler, 1994a dan Doherty and Fowler, 1994b), atau (2) kompetisi tidak terjadi, akan tetapi spesies memiliki mekanisme untuk pembagian sumberdaya yang mendukung hidup berdampingan (Bellwood, 1990 and Clarke, 1992).

Bagian paradox dari jawaban produktifitas terumbu karang juga membentang di dalam sebuah siklus material yang sangat kompleks di dalam terumbu. Material organik secara berkelanjutan terakumulasi oleh komunitas secara keseluruhan, sebagian dengan penangkapan nitrogen dari sekitar laut, dan sebagian dengan fiksasi nitrogen di atmosfer oleh tumbuhan laut. Terumbu karang hadir seperti sebuah jaringan tumbuh-tumbuhan dan hewan-hewan yang kompleks dengan hubungan yang sangat erat dimana sistem sungguh menantang untuk analisa kuantitatif yang terperinci (Lewis, 1981). Hubungan yang terjadi termasuk diantara berbagai macam tumbuhan dan hewan dan hubungan simbiosis antara hewan dan hewan.

Produktifitas primer terumbu karang termasuk sangat tinggi, dan suatu terumbu karang bisa mendukung sebanyak 3000 spesies. Produktifitas yang tinggi terumbu karang pada prinsipnya berasal dari air yang mengalir di atasnya, dan daur ulang proses biologi

secara efisien dan menyimpan nutrient dalam jumlah besar. Walau terumbu karang memiliki banyak jumlah spesies, sebagian besar terumbu dicirikan oleh banyak spesies secara relatif memiliki jumlah individu yang rendah. Jumlah populasi yang rendah, daur ulang nutrien yang ketat dan food webs yang kompleks, membuat terumbu karang rentan dieksploitasi secara berlebihan. Bahkan terumbu selalu diungkapkan sebagai ekosistem yang produktif, selalu menunjukkan bahwa terumbu karang dapat dieksploitasi secara berlebihan dengan mudah oleh perpindahan organisme di luar sistem dan harus dirancang dan dimonitor secara hati-hati. Komunitas terumbu karang bukan ekosistem tertutup, akan tetapi sistem yang kompleks yang tergantung dari faktor internal dan eksternal yang meliputi: arus nutrien, daur ulang, symbiosis, hubungan predator dan mangsa, dan kondisi lingkungan spesifik. Sebagai contoh, komunitas terumbu karang boleh jadi mendapatkan suplai karbon fixed dan nitrogen yang dapat dimanfaatkan, yang essential bagi phytoplankton dan algae untuk photosynthesis, dari algae berdappingan dengan rata-rata terumbu dan bakteri di dalam sedimen, sea grass beds dan mangroves.

Pergerakan massa nutrien antara seagrass meadows, mangrove dan terumbu karang selalu tergantung pergerakan aktif hewan-hewan dari pada ditransportasikan oleh arus air, karena perairan tropis relatif jernih dan miskin unsur hara. Jadi pengrusakan atau perubahan ekosistem laut lain dapat memiliki pengaruh langsung pada terumbu karang. Pembentukan terumbu melalui akumulasi kalsium karbonat merupakan proses yang sangat lambat. Sebagian besar terumbu karang yang ada merupakan hasil pertumbuhan lebih dari 5000 tahun yang lalu dari permukaan air laut yang relatif stabil (A Primer on Coral Reefs. 2000). Tidak seperti sistem laut lain, terumbu karang dibangun sepenuhnya oleh aktifitas biologi. Terumbu terdiri dari tumpukan kalsium karbonat dalam skala besar yang telah diproduksi oleh hewan-hewan karang (*phylum Cnidaria, ordo Scleractinia*), dengan tambahan umumnya dari algae kalkareous dan organisme lain yang menghasilkan kalsium karbonat. Pertumbuhan terumbu juga tergantung pada hubungan simbiosis antara polip-polip karang dan algae yang hidup di dalam tisunya.

Terumbu karang menyediakan sebuah ruang terhadap sumberdaya yang berdekatan terhadap komunitas pantai dan terhadap kehidupan secara keseluruhan (Bryceson 1981, Richmond 1998), dan sumberdaya ini diantaranya adalah: 1). Sumber makanan dan tempat berlindung bagi hewan seperti ikan, ketam, lobster, tridakna dll.; 2). Sedimen kalkarius yang memiliki kontribusi pada substrat dan formasi pantai; 3). Penghalang alami dalam menjaga pantai terhadap hantaman ombak dan badai; 4). Jaringan karbonat dalam membentuk kalsium karbonat; dan 5). Daerah breeding dan tempat berlindung ikan dalam mendukung ikan-ikan ekonomis penting.

Terumbu karang secara topografi merupakan lingkungan yang kompleks. Kebanyakan seperti hutan basah daerah tropis, memiliki banyak daerah yang sama sekali terlindung, ditutupi koloni karang sama sekali. Karena kekomplekannya, ribuan spesies ikan dan avertebrata hidup berasosiasi dengan terumbu, yang sejauh ini merupakan habitat yang terkaya. Terumbu di Karibia sebagai contoh, ratusan spesies koloni avertebrata dapat ditemukan hidup pada sisi bawah karang berbentuk ceper. Keadaan ini sudah biasa untuk sebuah terumbu memiliki ratusan spesies siput, enam puluh jenis karang dan ratusan spesies ikan. Dari seluruh habitat laut, terumbu sepertinya memiliki perkembangan paling besar dan memiliki hubungan simbiosis diantara organisme paling kompleks.

Seperti terumbu karang disekitar Pulau Ashmore Australia yang dikenal nelayan Indonesia sebagai Pulau Pasir, organisme yang menempati terumbu karang disini yang sudah tercatat hampir dua ribuan spesies kelompok hewan (1.929 spesies). Organisme tersebut meliputi ular laut terdiri dari 13 spesies, 709 jenis ikan karang, 255 karang batu, 136 jenis sponge, lebih dari 433 jenis moluska seperti sotong, gurita, cumi-cumi, kerang raksasa, dengan yang paling favorit kerang lola (*trochus*), 286 krustasea, meliputi udang, lobster, kepiting dan lain-lain, 27 bintang laut, 25 jenis buluh babi, dan sekitar 45 jenis teripang (Nikijuluw, 2006).

Seperti hutan basah daerah tropis, alam yang luar biasa ini adalah ekosistem yang kompleks, mendukung sebuah kelimpahan

kehidupan yang luar biasa. Walau terumbu karang menutupi kurang dari satu persen dasar laut, ekosistem ini merupakan rumah bagi lebih dari 93,000 spesies tumbuhan dan hewan, dan mendukung lebih dari 35 persen spesies laut pada perairan laut dangkal. Kenyataannya diperkirakan lebih dari satu juta spesies organisme pada terumbu karang belum teridentifikasi.

Pertambahan penduduk dunia yang terus berkembang akan meningkatkan ketergantungan kepada sumberdaya laut. Lebih dari 80 negara sedang berkembang sangat menggantungkan sumber kehidupan dari terumbu karang. Jumlah populasi dunia mencapai 20% menggantungkan kehidupan ataupun sebagai sumber makanan pada daerah terumbu karang yang sangat terbatas ini. Hal ini disebabkan satu kilometer persegi luas terumbu karang dalam kondisi sehat bisa memproduksi 15 ton untuk makanan penduduk dunia setiap tahun, dan keadaan ini bisa menopang lebih dari 1.000 orang. Kondisi ini mengharuskan segala pihak terkait untuk memelihara keberlanjutan ekosistem yang paling spektakuler ini dalam memiliki kemampuan menjadi lingkungan yang paling subur di dunia.

Dari segi ekonomi terumbu karang merupakan salah satu ekosistem yang sangat penting dan sangat vital, berfungsi sebagai sumber pendapatan penduduk/nelayan, sumber bahan makanan dan berfungsi sebagai penjaga/pelindung pantai dari gempuran ombak untuk jutaan manusia. Pada akhir-akhir ini hasil penelitian menunjukkan bahwa terumbu karang memberikan keuntungan tahunan mencapai US\$30 milyar untuk menopang perekonomian dunia (Cesar et al, 2003) sebagai mana disebutkan di atas.

Hawaii memperoleh pendapatan dari pariwisata mencapai US\$ 8,6 juta per mil terumbu karang. Sementara disepanjang Barrier Reef Meso-Amerika, jumlah operator penyelam meningkat secara mencolok beberapa tahun belakangan. Pada tahun 2000, jumlah penyelam daerah terumbu karang sekitar 3,6 juta, sekitar 10 % dari seluruh turis menuju Karibia. Penyelam memiliki kontribusi 17 % terhadap hasil dari pariwisata, menghabiskan sekitar US\$ 2.100 per trip, dibandingkan dengan US\$ 1.200 untuk turis secara

umum. Diperkirakan pada tahun 2000 keuntungan bersih tahunan dari wisata menyelam di Karibia berjumlah sampai US\$ 2,1 milyar, dimana US\$ 625 juta dibelanjakan langsung penyelam pada wisata terumbu karang (Burke and Maidens, 2004). Untuk perjalanan dan wisata di Karibia menggerakkan keuangan US\$ 34.3 milyar pada tahun 2002, dan diperkirakan meningkat menjadi US\$ 74.1 milyar menjelang 2012 (*The Coral Reef Alliance*). Bahkan Tilmant (2000) sebelumnya menyimpulkan nilai untuk terumbu karang mencapai US\$ 2,833 per meter bujur sangkar permukaan terumbu karang, dan kondisi ini menyebabkan suatu terumbu karang memiliki nilai mencapai milyaran dolar. Seperti di Mesir, sektor pariwisata secara keseluruhan menyumbang lebih dari 11 % nilai keseluruhan gross domestic product (GDP). Sementara daerah terumbu karang sekarang menyumbang senilai 25 % dari pariwisata terhadap GDP nasional Mesir (Jobbins, 2004).

Terumbu karang yang sehat juga dapat menyediakan kesempatan ekonomi jauh dari perikanan dan perdagangan ikan hias terumbu karang. Terumbu karang yang sehat juga memberikan keringanan dari kelaparan dan degradasi lingkungan serta memiliki hasil ekonomi yang signifikan. Sebagai contoh di Indonesia, terumbu karang yang sehat diperkirakan memiliki hasil tahunan US\$ 1.6 milyar. Perikanan terumbu karang Asia Tenggara juga memiliki hasil yang sangat besar dengan taksiran tahunan US\$ 2.4 milyar (ICRAN, 2002). Hasil lainnya dari terumbu karang berupa pariwisata, perdagangan ikan hias, dan menjaga pantai, potensi ekonomi terumbu karang dapat besar sekali. Keindahan terumbu karang yang memikat hati dapat menopang peningkatan pasar pariwisata yang memiliki kekuatan menggerakkan pendapatan dan menciptakan lapangan pekerjaan. Terutama pariwisata yang berkelanjutan dapat menciptakan sebuah laut dan lingkungan pantai dimana karang tumbuh dengan subur, dan produksi makanan serta sumberdaya sebagai sumber penghasilan dapat dikendalikan.

Dampak terumbu karang terhadap perekonomian tidak bisa disepelekan, bahkan diperkirakan bahwa terumbu karang dunia

menggerakkan US\$ 375 milyar setiap tahun dari sumberdaya hayati, seperti perikanan dan survenir, akuakultur, pertambangan pasir, produk baru dari biotik, wisata, perlindungan pantai dari erosi dan ombak serta pengaruh angin topan. Namun dari hari ke hari pertambahan penduduk semakin bertambah dan seiring dengan itu juga semakin banyak yang menggantungkan kehidupan/ pendapatan dari daerah terumbu karang. Sebaliknya kondisi terumbu karang dari waktu ke waktu justru semakin menurun dan malahan seperti di Pulau Weh Aceh sudah menjadi pemecah ombak untuk menjaga daratan (Gambar 5).

Ekosistem terumbu karang adalah salah satu lingkungan bawah laut yang memberikan keuntungan pada manusia dan alam jauh lebih besar dari pada porsi yang tersedia. Terumbu karang melindungi kehidupan, ekonomi dan budaya, menstimulasi kesempatan dan pekerjaan dibidang wisata, berfungsi sebagai penjaga pantai dari gempuran ombak, mencegah terjadinya erosi, menyediakan makanan untuk menopang sumber makanan masyarakat lokal, memainkan peran sebagai kunci siklus nutrien, dan mengandung 10 % penangkapan ikan dunia. Diperkirakan diseluruh daerah Asia Tenggara, dari segi perikanan terumbu karang menyumbang sekitar antara 10 sampai 25 % protein untuk kehidupan manusia yang hidup di daerah sepanjang pantai, disamping memiliki nilai ekonomi penting. Dunia pariwisata merupakan dunia industri yang paling luas di dunia dan daerah tropis sebagai salah satu tujuan wisata dimana dijumpai berbagai daerah wisata pantai dan laut. Seperti di Bali dan Jamaika merupakan salah satu pantai yang terbuat dari pasir dari karang yang menarik para wisatawan. Di Lautan Hindia, hampir 40 pulau-pulaunya dibangun oleh terumbu karang. Sekitar 20 juta penyelam (scuba diver) selalu akan berada di daerah terumbu karang daerah tropis bila kondisinya bisa dipertahankan.



Gambar 5. Koloni karang yang terpisah dari tempatnya menempel dijadikan untuk menjaga pantai dari hantaman ombak.

Terumbu karang dan kehidupan laut yang berhubungan selalu hanya berupa asset alam untuk manusia yang hidup di pulau-pulau dan daerah pesisir daerah tropis. Penurunan kondisi terumbu berhubungan langsung dengan hilangnya kesempatan ekonomi dan, tidak mengherankan, bersamaan dengan kecepatan pemiskinan daerah-daerah ini. Sebagai hasil, komunitas ini menghadapi kemungkinan peningkatan. Sebagai contoh, ketika metode penangkapan ikan berkelanjutan tidak memenuhi kuota suatu penangkapan, tidak jarang metoda penangkapan yang tidak berkelanjutan dan yang merusak selalu dilaksanakan. Keadaan ini dapat memulai sebuah lingkaran peningkatan kerusakan teumbu, penurunan produktifitas dan peningkatan metode penangkapan ikan yang merusak. Di Indonesia, overfishing dan penangkapan menggunakan bom diperkirakan menghasilkan kerugian lebih dari US\$ 1,3 milyar menjelang 40 tahun mendatang.

Terumbu karang juga berperanan besar dalam dunia obat-obatan. Salah satu contoh dari hasil yang terbaik yang ditemukan dari daerah terumbu karang adalah hasil obat-obatan berupa AZT, sebuah hasil penelitian yang telah diuji untuk pengobatan infeksi penyakit HIV, yang ditemukan pada sponge di Lautan Karibia. Kemudian juga lebih dari separoh dari penelitian obat penyakit kanker baru juga terfokus pada organisme laut.

Bab 4

KONDISI TERUMBU KARANG

Ekosistem terumbu karang merupakan salah satu sumberdaya alam yang sangat terancam di dunia pada saat ini. Indonesia yang dikenal sebagai salah satu negara yang terletak pada sentral terumbu karang dunia justru berhubungan dengan terumbu karang diawali dengan kegiatan rehabilitasi ekosistem ini (Coralmap) terlebih dahulu. Karena ekosistem yang seharusnya menghasilkan jutaan dolar setiap tahun untuk bangsa Indonesia justru terlanjur rusak sebelum sempat dimanfaatkan secara maksimal.

Terumbu karang telah menjadi salah satu kepentingan dunia karena keanekaragaman hayati dan nilai estetika ekosistem ini merupakan sumberdaya alam yang bisa menopang ekonomi yang besar dari perikanan dan pariwisata di banyak negara. Disamping itu, terumbu karang memegang fungsi penting di negara-negara berkembang, khususnya di negara-negara kepulauan sedang berkembang yang memiliki terumbu karang.

Pada saat ini dari berbagai sektor terumbu karang mengalami tekanan, yang menempatkan ekosistem ini pada posisi sangat berbahaya. Kegiatan pencemaran dari daratan dan praktek perikanan yang merusak dianggap sebagai bahaya yang paling dominan terhadap

terumbu karang. Perilaku merusak yang dilakukan masyarakat berhubungan desakan ekonomi dan juga berhubungan dengan ketidak kereriusan aparat dan penegak hukum serta lemahnya sistem dan perangkat hukum. Topik ini pernah menjadi bahan pembicaraan dalam diskusi kelompok pada acara Lokakarya Nasional Sosialisasi Penyempurnaan Panduan Pengelolaan Terumbu Karang Berbasis Masyarakat, Kamis (4/10/01), di Jakarta, yang melibatkan Coremap LIPI Jakarta, beberapa lembaga swadaya masyarakat (LSM) dari Maluku, Flores, dan Irian Jaya (Kompas, 5 Oktober 2001).

Walaupun terumbu karang telah dinyatakan mengalami perubahan dalam lingkungan global selama jutaan tahun, keadaan ini berlanjut dan sekarang mendapat tekanan serius oleh pengaruh manusia. Beberapa pengaruh manusia yang membahayakan terumbu karang seperti pembangunan daerah pantai, teknik penangkapan ikan merusak, perdagangan survenir, dan polusi yang berasal dari daratan dan dari dalam laut sendiri. Sebagai hasil, 60 persen terumbu karang dunia telah rusak secara serius atau hancur sama sekali (ICRAN, 2002).

Sebagian besar terumbu karang di seluruh dunia mengalami kerusakan juga berhubungan dengan peningkatan tingkat kemiskinan. Sebagai tambahan terhadap korban manusia, kehilangan atau pengrusakan terumbu memiliki arti hilangnya sebuah suplai pasir karang untuk mendukung pantai dan menyokong industri pariwisata, sebagai mana musnanya breakwaters alam dalam menjaga garis pantai dari ombak dan badai. Keadaan ini mengharuskan setiap stake holder bertindak untuk menghindari degradasi dan destruksi terumbu karang. Kalau tidak terumbu karang dan komunitasnya yang tergantung darinya akan terus terancam.

Indonesia diperkirakan memiliki luas terumbu karang sekitar 18% dari total keseluruhan terumbu karang dunia, dan sekitar 51% dari total luas terumbu karang di Asia Tenggara. Sebagian besar dari terumbu karang ini bertipe terumbu karang tepi (*fringing reefs*), berdekatan dengan garis pantai dan mudah diakses oleh masyarakat tempatan. Selama 50 tahun terakhir, proporsi penurunan kondisi

terumbu karang Indonesia telah meningkat dari 10% menjadi 50%. Antara tahun 1989-2000, terumbu karang dengan tutupan karang hidup sebesar 50% telah menurun dari 36% menjadi 29%. Terumbu karang di bagian barat Indonesia menghadapi ancaman terbesar berhubungan dengan tingkat pembangunan yang tinggi dan populasi penduduk yang padat di daerah tersebut.

Di Maluku, sebagian besar kerusakan terumbu karang disebabkan oleh bahan peledak, dengan perkiraan mencapai 65%. Disamping itu juga disebabkan penggunaan racun dalam penangkapan ikan, yang kedua faktor ini telah mengakibatkan kerugian ekonomi luar biasa besar. Kerugian Indonesia akibat penangkapan ikan menggunakan bahan peledak selama 20 tahun ke depan diperkirakan sebesar US\$ 570 juta (Burke et al. 2002), selanjutnya disimpulkan perkiraan kerugian dari penangkapan ikan dengan racun sianida secara berkala sebesar US\$ 46 juta. Karena Sianida mempengaruhi karang dalam setiap konsentrasi dan dalam setiap rentang waktu pemaparan terhadap karang (Cervino et al. 2003). Disamping itu terumbu karang Indonesia juga mendapat tekanan yang beragam dari aktivitas di daratan, diantaranya penebangan hutan yang memiliki rata-rata kecepatan penebangan tahunan antara tahun 1985 dan 1997 sebesar 1,7 juta hektar. Penebangan hutan dan perubahan tata guna lahan telah meningkatkan pelepasan sedimen ke terumbu karang, disamping tambahan yang berasal dari bahan pencemar berasal dari industri, buangan limbah, serta zat-zat penyubur yang kesemuanya menyebabkan masalah. Terumbu karang yang terkena pencemaran dari darat menunjukkan penurunan keanekaragaman hayati sebesar 30-50% pada kedalaman 3 m, dan 40-60% pada kedalaman 10 m bila dibandingkan dengan terumbu karang yang masih alami (Burke et al., 2002).

Disamping itu selama dua dekade terakhir telah muncul ancaman lain yang tidak kalah lebih berbahaya. Ancaman ini berupa suatu fenomena alam sehubungan adanya aneka tekanan, khususnya kenaikan suhu air laut yang menyebabkan pemutihan karang (*Coral Bleaching*). Kenaikan suhu air laut berhubungan dengan global warming (EL Nino), yang juga sangat signifikan pernah terjadi di

berbagai daerah seperti di Indonesia pada tahun 1997-98 (Brown dan Suharsono (1990). Mass bleaching yang terjadi pada karang pada dua decade terakhir jelas memiliki hubungan dengan peristiwa El Niño (Hoegh-Guldberg, 1999; Glynn, 2000), dan di Karibia yang terparah terjadi pada tahun 2007 (Nasional Geografi, 2007).

Data lapangan menunjukkan bahwa bleaching pada karang pada beberapa perairan di Pasifik bagian timur jauh lebih buruk kondisinya selama peristiwa El Nino tahun 1982-83 dari pada tahun 1997-98, walaupun temperatur ekstrim selama dua kejadian tersebut mirip (Glynn et al., 2001; Gusman and Cortes, 2001; Podesta dan Glynn, 2001). Kenaikan suhu permukaan air laut beberapa derajat di atas suhu rata-rata dalam waktu relatif lama juga bisa menyebabkan kematian pada hewan karang, dan pengaruh yang diberikannya tidak kalah dibanding faktor perusak lainnya. Seperti pada tahun 1982/1983, temperatur permukaan air laut meningkat melebihi 31°C di Pasifik bagian timur, yang diperkirakan sebagai perubahan abnormal “El Nino” tahunan. Pengaruh yang ditimbulkan jauh lebih besar dibandingkan dengan pasang surut yang ekstrim, yang menyebabkan karang terbuka terhadap sinar matahari dan air hujan serta air banjir. Pengaruh yang disebabkan naiknya temperatur ini menyebabkan terumbu karang mengalami kematian karang hidup mencapai 70-90%, dengan kedalaman mencapai 15 m bahkan mencapai 18 meter. Sementara unuk kembali kekeadaan semula setelah mengalami kerusakan memerlukan waktu lama sekali.

Terumbu karang sangat rentan terhadap perubahan temperatur karena sangat cepat merespon peningkatannya. Karang hidup pada lingkungan yang memiliki temperatur dekat dengan temperatur yang mematikan (batas atas temperature untuk hidup), sehingga kenaikan temperature 1 atau 2°C melebihi temperatur rata-rata dalam periode waktu tertentu (seperti dalam sebulan) dapat menyebabkan bleaching pada karang (Hoegh-Guldberg, 1999); selanjutnya dikatakan pengaruh hebat peningkatan temperatur permukaan air laut (SSTs) antara 1-3°C diperkirakan akan terjadi menjelang 2050. Sementara temperatur permukaan bumi meningkat 1.4-5.8°C menjelang 2100 (IPCC, 2001). Lebih jauh, radiasi UV berlebihan

berperanan bersamaan dengan peningkatan SSTs akan memperburuk bleaching dengan memproduksi oksigen radikal berbahaya yang akan menyebabkan kematian menyeluruh hewan karang (Lesser and Lewis, 1996).

Kondisi terumbu karang tidak ada menunjukkan ke arah perbaikan, sebaliknya terus menunjukkan penurunan. Secara global diperkirakan bahwa sekitar 10% terumbu karang telah hancur, dan sekitar 20% terus menunjukkan kondisi penurunan menjelang 20 tahun ke depan. Paling kurang dua pertiga terumbu karang dunia berkemungkinan secara ekologi akan kolap menjelang periode cucu kita (Coral Reefs, 2000). Empat tahun kemudian, Wilkinson (2004) memperkirakan 20% terumbu karang diseluruh dunia telah hancur, sementara 24% dalam jangka pendek dalam keadaan berbahaya dan lebih jauh 26% dalam beberapa periode ke depan akan musnah, kecuali kalau kita mengimplementasikan manajemen yang efektif dan memprioritaskan terhadap ekosistem ini

Bab 5

ORGANISME PEMBANGUN TERUMBU KARANG

Terumbu karang sebagai ekosistem dikendalikan oleh beragam organisme dan proses kimia yang bersatu membentuk struktur karbonat yang diperkirakan mencapai kedalaman ribuan meter (Longhurst and Pauly, 1987). Organisme yang memiliki kontribusi besar dalam pembentukan terumbu (konstruksi) sering diterangkan sebagai karang hermatypic. Istilah ini paling sering dipakai untuk menerangkan karang batu, dimana berhubungan dengan perairan tropis, spesies perairan dangkal yang di dalam jaringan tisu tubuhnya dihuni oleh simbiannya unicellular algae zooxanthellae. Simbiosis ini menyebabkan karang mampu menumpuk kalsium karbonat dalam jumlah yang banyak (Schumacher and Zibrowius, 1985), bertolak belakang dengan karang ahermatypic yang tidak bersimbiosis dengan zooxanthellae.

Organisme pembentuk terumbu paling penting adalah karang hermatypic, terdiri dari berbagai genus, algae coralline berbentuk encrusting (Rhodophyta), termasuk foraminifera, hydrocorals, dan beragam molluska yang berkontribusi bahan calcareous untuk pembentuk terumbu. Mosaik biologi ini tumbuh melebar secara berkelanjutan atau secara terus menerus didapatkan dari mengkombinasi materi skeleton. Jumlah spesies dan genus meliputi

formasi terumbu sangat besar, dan terumbu adalah contoh klasik perairan laut yang memiliki keanekaragaman berlimpah pada ekosistem laut tropis, yang serupa dengan hutan basah daerah tropis di darat (Connell, 1978).

Terumbu karang selalu dihubungkan dengan struktur bangunan bawah laut yang dibangun makhluk hidup yang tahan terhadap ombak dan badai. Secara sederhana tetapi lebih lengkap dapat diartikan sebagai sebuah formasi yang dijumpai di bawah laut yang terbentuk dari kalsium karbonat yang berasal dari hewan dan tumbuh-tumbuhan yang cukup kuat menahan gempuran ombak laut. Terumbu karang terbentuk dari materi dari beragam organisme terutama penghasil zat kapur yang kemudian menyatu (semenisasi) dengan bantuan coralin algae. Jadi terbentuknya terumbu karang sepenuhnya hasil aktifitas beragam organisme dimana hewan karang sebagai pembentuk utamanya.

Hubungan karang dan zooxanthellae

Dalam mempertahankan hidup dan untuk keberlanjutan kehidupan setiap organisme ditemukan dalam bentuk bersimbiosis dengan organisme yang lain, disamping juga tidak dapat dihindari harus berkompetisi diantara organisme berbeda dalam spesies yang sama atau diantara spesies berbeda. Secara sederhana, simbiosis yang ditemukan dalam hubungan antara satu organisme dengan organisme lain dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) kelompok, yaitu: 1) Simbiosis mutualisme, dimana kedua belah pihak organisme yang melakukan hubungan saling menguntungkan; 2) simbiosis komensalisme, dimana salah satu organisme mengalami keuntungan sementara yang lainnya tidak dirugikan; dan 3) simbiosis parasitisme, dimana salah satu dari dua organisme yang berhubungan mendapatkan keuntungan, sebaliknya sang inang mengalami kerugian.

Hubungan antara zooxanthellae dan karang bersimbiosis mutualisme atau saling menguntungkan. Zooxanthellae sebagai tumbuhan tingkat rendah tidak memiliki flagellae dan tidak memiliki dinding sel. Jumlah zooxanthellae di dalam jaringan karang mencapai

satu juta sel/cm². Kehadiran zooxanthellae di dalam tubuh karang menyebabkan karang memiliki warna, dan warnanya akan semakin gelap dengan semakin tingginya pigmen pada zooxanthellae. Sehingga bila mikro-algae zooxanthellae keluar meninggalkan karang sebagai inang pada umumnya koloni bersangkutan akan berwarna jernih/putih, dan peristiwa keluarnya zooxanthellae dari dalam tubuh karang disebut dengan peristiwa *bleaching* pada karang (Hoegh-Gulberg dan Smith, 1989).

Melalui proses fotosintesis zooxanthellae menyuplai oksigen bagi karang untuk respirasi bagi karang dan karbohidrat sebagai nutrisi. Sebaliknya zooxanthellae menerima karbondioksida untuk melakukan fotosintesis. Dengan proses ini karang mengurangi pemanfaatan energi untuk mengurangi karbondioksida. Sementara untuk nitrogen dan fosfor antara zooxanthellae dan karang terjadi dengan proses dimana zooxanthellae memperoleh ammonia dalam bentuk buangan (hasil ekskresi) dari polip, dan dikembalikan kepada karang dalam bentuk asam amino. Dalam proses fotosintesis zooxanthellae juga berperan besar dalam memindahkan karbondioksida, sehingga dalam kondisi optimum meningkatkan terbentuknya pengapuran pada karang.

Disamping karang menyediakan nutrisi dari hasil metabolisme karang inang dan karbondioksida, zooxanthellae juga mendapatkan perlindungan dari kelompok hewan yang bersifat grazer. Disamping itu karang juga tidak akan memiliki kotoran karena dimanfaatkan langsung oleh simbiotnya zooxanthellae. Jadi keuntungan yang diperoleh karang sebagai inang dari zooxanthellae sebagai simbiot berupa hasil fotosintesis, seperti gula, asam amino dan oksigen, serta pengaruh tidak langsung terjadi dalam mempercepat proses kalsifikasi dalam menumpuk kalsium karbonat sekaligus untuk menopang pertumbuhan.

Proses fotosintesis akan menaikkan pH dan menyediakan ion karbonat lebih banyak. Proses fotosintesis yang dilakukan zooxanthellae membutuhkan beberapa jenis ion termasuk dari kelompok ion fosfor (P). Fosfor sendiri bersifat sebagai penghambat

dalam proses kalsifikasi karang. Sebaliknya proses fotosintesis sendiri berfungsi menyingkirkan inhibitor dalam proses kalsifikasi karang, yang berarti zooxanthellae juga berperan besar dalam memperlancar proses kalsifikasi hewan karang.

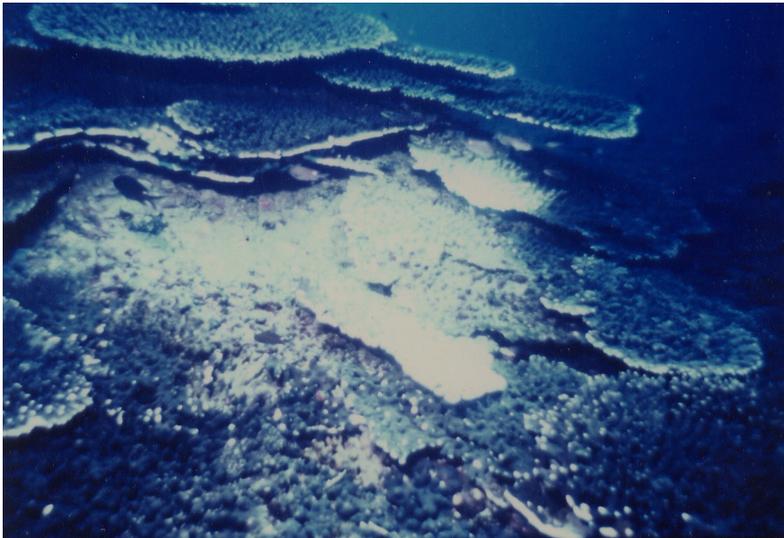
Sebaliknya karang bagi zooxanthellae merupakan salah satu habitat yang baik karena merupakan penyuplai terbesar zat anorganik untuk melakukan proses fotosintesis. Sebagai contoh untuk zooxanthellae pada karang *Acropora palmata* dalam menyuplai nitrogen anorganik diperkirakan sekitar 70 % berasal dari karang inang (Tomascik *et al.* 1997). Bahan anorganik itu merupakan sisa metabolisme karang dan hanya sebagian kecil anorganik diambil dari perairan.

Optimum pertumbuhan dan kecepatan fotosintesis dari zooxanthellae bervariasi dengan tipe *Symbiodinium* tertentu. Beberapa spesies berkembang pada kecepatan maksimum pada suhu antara 26°C dan 32°C, dimana yang lain tumbuh dengan sangat cepat pada suhu 26°C, dan lebih rendah pada suhu 30°C.

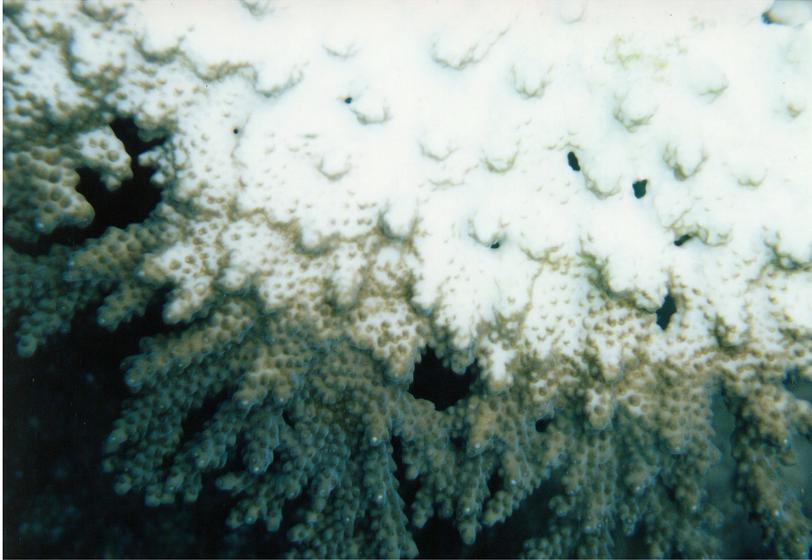
Sifat sensitif zooxanthellae sebagai simbiosis pada karang terhadap perubahan parameter lingkungan menyebabkan karang sebagai inang berada dalam posisi sangat rentan terhadap perubahan lingkungan. Hubungan antara karang sebagai inang dan zooxanthellae sebagai simbiosis menempatkan karang pada posisi yang sangat lemah. Karena hubungan kedua organisme ini yang bersifat saling menguntungkan (simbiosis mutualisme) tidak secara permanen. Zooxanthellae hidup dan tinggal di dalam jaringan tubuh karang hanya sepanjang menguntungkan bagi zooxanthellae sebagai simbiosis, dan mikro-alga ini akan secepatnya meninggalkan tubuh karang inang bila keadaan lingkungan mengalami perubahan (tidak menguntungkan). Sebaliknya hewan karang bisa disimpulkan tidak bisa bertahan hidup (akan mati) tanpa kehadiran zooxanthellae di dalam jaringan tubuhnya karena kebutuhan hidup karang hampir sepenuhnya disuplai zooxanthellae, dengan totalnya mencapai 98 % (Veron, 1995). Sebaliknya zooxanthellae sebagai simbiosis pada karang bisa menghindar dari penurunan perubahan parameter

lingkungan dengan cara keluar dari tubuh inang dengan bantuan arus atau dalam bentuk zoospora mencari inang atau lingkungan yang lebih menguntungkan.

Karang batu tidak bisa dipisahkan dari zooxanthellae, karena ketergantungan hewan ini yang sangat besar terhadap simbiotnya zooxanthellae sebagaimana disebutkan di atas. Banyak faktor yang bisa memutuskan hubungan antara karang dengan simbiotnya zooxanthellae, dan karang sebagai inang dikenal sebagai salah satu kelompok organisme yang memiliki rentang yang pendek terhadap perubahan lingkungan. Pada umumnya faktor lingkungan yang optimal dibutuhkan karang berdekatan sekali dengan batas tertinggi parameter tersebut. Beberapa parameter lingkungan yang dapat mempengaruhi hubungan antara karang dan zooxanthellae diantaranya sebagai berikut: penurunan dan peningkatan temperatur (Brown dan Suharsono, 1990;



B



B

Gambar 5. Peristiwa *bleaching* pada karang *Acropora*. A) Kelompok koloni karang *Acropora solitalyensis* yang sebagian coloninya mengalami bleaching, dan B) Koloni *A. solitalyensis* yang sebagian besar polipnya mengalami bleaching dilihat dari dekat (Foto oleh S. Nojima).

Thamrin, 1994; fitt et al., 2000), penurunan dan peningkatan salinitas (Cole dan Jokiel, 1992; Jaap, 1985; Oliver, 1985; Acevedo dan Goenaga, 1986), peningkatan padatan terlarut (Rogers, 1990; Larcombe et al., 1995; Thamrin et al., 2004a,b), sedimentasi (Hubbar et al., 1987; Rogers 1990; Rice dan Hunter, 1992) dll.

Zooxanthellae memiliki sifat yang sangat sensitif terhadap berbagai perubahan lingkungan sebagai mana disebutkan di atas. Glynn (1990) menyimpulkan bahwa perubahan secara drastis densitas zooxanthellae akan terjadi walau hanya sedikit saja terjadi perubahan fisika lingkungan. Pengaruh ini berdampak cepat

terhadap perubahan densitas zooxanthellae di dalam tubuh karang, dan reaksi zooxanthellae sebagai simbion terjadi hampir bersamaan dengan perubahan parameter lingkungan yang terjadi. Seperti ditemukan pada karang *Acropora aspera* terhadap peningkatan padatan tersuspensi di dalam air. Densitas zooxanthellae menurun secara signifikan dengan meningkatnya padatan tersuspensi harian di dalam air (Thamrin et al., 2004a,b).

Bab 6

KESIMPULAN

Ekosistem terumbu karang merupakan salah satu sumberdaya alam yang sangat potensial yang terlanjur rusak sebelum dimanfaatkan secara optimal oleh bangsa ini. Indonesia sebagai daerah sentral terumbu karang dunia bersentuhan dengan sumberdaya alam ini dimulai dengan kegiatan rehabilitasi (lihat Coralmap) terlebih dahulu. Karena ekosistem yang seharusnya menghasilkan jutaan dolar setiap tahun untuk bangsa Indonesia justru terlanjur rusak sebelum sempat dimanfaatkan secara optimal.

Terumbu karang telah menjadi salah satu kepentingan dunia karena keanekaragaman hayati dan nilai estetika ekosistem serta manfaatnya yang demikian besar, termasuk dalam menjaga ribuan pulau-pulau dari gempuran ombak. Suatu yang sangat mahal bila penghancuran terumbu karang digantikan dengan bahan buatan manusia. Seumpama penggantian fungsi pelindung pantai disebabkan degradasi terumbu di Sri Lanka, setiap satu kilometer persegi memakan dana antara US\$ 1,230 – 4,180 juta dolar, tergantung tipe struktur pelindung yang digunakan (Berg et al., 1998). Disamping memakan biaya sangat mahal juga proses pembuatannya yang sangat sulit. Karena untuk pembuatan terumbu karang buatan terbuat dari bahan beton seperti piramida berukuran 5 x 5 x 3 m saja memiliki

berat dalam ton (Estrtadivari, 2007). Sementara terumbu karang yang alami di alam mencapai ketebalan lebih dari seribuan meter.

Keanekaragaman organisme terumbu karang menempati urutan teratas diantara ekosistem yang terdapat di bumi. Disamping itu ekosistem terumbu karang juga banyak mendatangkan pertanyaan mengingat kehadirannya justru meningkatkan kesuburan lingkungan perairan laut tropis yang miskin unsur hara. Peran besar ekosistem ini justru terletak pada pundak hewan tingkat rendah kelompok avertebrata yang selalu disebut dengan nama karang (karang batu). Kehadiran terumbu karang pada suatu perairan dikendalikan hewan karang sebagai penyusun utama terumbu karang, dan kondisi terumbu karang juga ditentukan kondisi karang sendiri. Padahal hewan yang masih dapat dimasukan kelompok primitif yang sebagian besar hidup menetap di dasar perairan ini masih menggantungkan hampir seluruh kebutuhan hidupnya dari simbiotnya mikro-algae zooxanthellae.

Hubungan antara karang dan zooxanthellae bersimbiosis secara mutualisme, saling menguntungkan, baik karang sebagai inang maupun zooxanthellae sebagai simbiot. Bagi karang sebagai inang menjadi kaharusan dalam melakukan simbiosis dengan zooxanthellae, karena tanpa kehadiran simbiotnya zooxanthellae di dalam tisu tubuhnya dalam waktu relatif tidak lama akan berujung kematian bagi karang. Berbeda dengan zooxanthellae sebagai simbiot yang suatu waktu akan meninggalkan karang sebagai inang bila situasi lingkungan tidak menguntungkan bagi dirinya.

Terumbu karang sendiri sebagai ekosistem dikendalikan oleh kehadiran hewan karang sebagai pembentuk utama kerangka terumbu. Dalam arti kata baik buruk kondisi terumbu karang dan kehadirannya pada suatu perairan ditentukan oleh karang. Sementara disisi lain, karang sebagai pembentuk utama terumbu karang juga bergantung pada simbiotnya zooxanthellae, yang keberadaannya di dalam jaringan tubuh karang sangat ditentukan oleh kondisi perairan. Kehadiran zooxanthellae sebagai tumbuhan tingkat rendah di dalam jaringan tubuh karang inang membutuhkan perairan yang jernih,

bersih dan hangat serta terhindar dari segala bentuk bahan pencemar. Sehingga tidak salah kehadiran dan kondisi terumbu karang pada suatu perairan juga bisa dijadikan sebagai organisme kunci dalam menentukan kondisi suatu perairan laut.

Kehadiran terumbu karang pada suatu perairan ditentukan oleh kemampuan karang batu untuk bertahan dan berkembang pada suatu perairan. Namun mengingat karang batu sangat tergantung pada kehadiran mikro-algae unicelular zooxanthellae di dalam jaringan tubuhnya menyebabkan terumbu karang pada dasarnya bukan semata ditentukan oleh karang batu, justru keserasian hubungan kedua organisme yang berbeda ini, dimana karang sebagai hewan dan zooxanthellae sebagai tumbuhan tingkat rendah sebagai penentu keberlanjutan terumbu karang pada suatu perairan. Sebagai mana keserasian secara menyeluruh yang dibutuhkan setiap ekosistem, terumbu karang juga demikian. Keserasian terutama hubungan antara hewan tingkat rendah (avertebrata) karang dan mikro-algae zooxanthellae ini yang harus dijaga manusia sebagai penyebab utama kerusakan terumbu karang, bila tidak menghendaki surga di alam nyata (Barnes dan Hughes, 1995) yang dimiliki bangsa ini hilang dari permukaan bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Acevedo R. and C. Goenaga. 1986. Note on the coral bleaching after chronic flooding in southern Puerto Rico. *Carib. J. Sci.* 22: 225.
- Adey, W. H., and R. S. Steneck. 1985. Highly productive Eastern Caribbean reefs: synergistic effects of biological, chemical, physical, and geological factors. *NOAA Symp. Undersea Res.*, 3/1, 163-188.
- A Primer on Coral Reefs. 2000. Introduction of The 9th International Coral Reef Symposium in Bali, Indonesia. 17-18.
- Barnes R.S.K. and R.N. Hughes. 1995. An introduction to marine ecology. 2nd edition. Blackwell Science Australia. 351 p.
- Bellwood, D. R. and T. P. Hughes. 2001. Regional-scale assembly rules and biodiversity of coral reefs. *Science* 292, 1532–1534. (doi:10.1126/science.1058635)
- Bellwood, D. R., T. P. Hughes, S. R. Connolly and J. Tanner. 2005. Environmental and geometric constraints on Indo-Pacific coral reef biodiversity. *Ecol. Lett.* 8, 643–651. (doi:10.1111/j.1461-0248.2005.00763.x)
- Berg, H., M. C. Ohman, S. Troeng, and O. Linden. (1998). Environmental economics of coral reef destruction in Sri Lanka. *Ambio*.
- Blank, R. J., and R. K. Trench. 1985. Speciation and symbiotic dinoflagellates. *Science* 229:656–658.
- Brown B. E. and Suharsono 1990. Damage and recovery of coral reefs affected by El Nino related seawater warming in the Thousand Islands, Indonesia. *Coral Reefs.* 8: 163-170.

- Bryant, D., L. Burke, J. McManus and M. Spalding. 1998. Reefs at Risk. World Resources Institute, Washington DC.
- Bryceson, I. 1981. A review of some problems of tropical marine conservation with particular reference to the Tanzanian coast. *Biological Conservation* 20:163-171.
- Brown, B. E., R. P. Dunne, M. S. Goodson, and A. E. Douglas. 2002a. Experience shapes the susceptibility of a reef coral to bleaching. *Marine Biology* 21:119–126.
- Burke L., E. Selig, M. Spalding. 2002. Terumbu karang yang terancam. Terjemahan dari Reefs at risk in Southeast Asia. World Resources Institute.
- Burke, L. and J. Maidens, 2004. Reefs at Risk in the Caribbean. World Resources Institute, Washington DC. 80 pp.
- Caley, J. M. and D. Schluter. 1997. The relationship between local and regional diversity. *Ecology* 78, 70–80.
- Carlos, A. A., B. K. Baillie, M. Kawachi, and T. Maruyama. 1999. Phylogenetic position of *Symbiodinium* (Dinophyceae) isolates from tridacnids (Bivalvia), cardiids (Bivalvia), a sponge (Porifera), a soft coral (Anthozoa), and a free-living strain. *Journal of Phycology* 35:1054–1062.
- Cervino J.M., R.L. Hayes, M. Hovich, T.J. Goreau, S. Jones, P.J. Rube. 2003. Changes in zooxanthellae density, morfology, and mitotic index in hermatypic coral and anemones exposed to cyanide. *Mar. Pol. Bull.* 46: 573-586.
- Cesar H., L. Burke and L. Pet-Soede. 2003. The economics of worldwide coral reef degradation. Cesar Environmental Economics Consulting: Arnhem (Netherlands), 23 pp.
- Chesson P. L. 2000 Mechanisms of maintenance of species diversity. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 31, 343–366. (doi:10. 1146/annurev. ecolsys.31.1.343)

- Coffroth M. A., S. R. Santos, and T. L. Goulet. 2001. Early ontogenetic expression of specificity in cnidarian-algal symbiosis. *Marine Ecology Progress Series* 222:85–96.
- Cole S.L. dan P.L. Jokiel. 1992. Effect of salinity on coral reefs. In: D.W. Connell and D.W. Hawker (Eds.) *Pollution in tropical aquatic system*. CRC Press Inc, London. P. 147-166.
- Connolly S. R., D. R. Bellwood and T. P. Hughes. 2003. Geographic ranges and species richness gradients: a reevaluation of coral reef biogeography. *Ecology* 84, 2178–2190.
- Coral Reefs. 2000. Ecological role of coral reefs. <http://www.esa.org>
- Crossland, C. J., B. G. Hatcher, and S. V. Smith. 1991. Role of coral reefs in global ocean production. *Coral Reefs*, 10, 55-64.
- Douglas, A. E., and D. C. Smith. 1989. Are endosymbioses mutualistic? *Trends in Ecology & Evolution* 4:350–352.
- Estradivari. 2007. Membarui terumbu karang, Upaya menyelamatkan ekosistem perairan dangkal Indonesia yang rusak akibat aktifitas manusia dan penyebab alami. *National Geographic Indonesia*. Edisi April. 112-125
- Fagerstrom J.A. 1987. *The evolution of reef communities*. Wiley, New York
- Fitt W.K., F.K. McFarland, M.E. Warner dan G.C. Chilcoat. 2000. Seasonal patterns of tissue biomass and densities of symbiotic dinoflagellates in reef corals and relation to coral bleaching. *Limnol. Oceanogr.* 45: 677-685.
- Gent P.R. 2001. Will the North Atlantic Ocean thermohaline weaken during 21st century? *Geophysical Research Letters* 28: 1023-1026.
- Gilmour J. 1999. Experimental investigation into the effects of suspended sediment on fertilization, larval survival and settlement in a scleractinian coral. *Mar. Biol.*, 135: 451-462.

- Glynn P.W. 1982. Coral communities and their odification relative to past and prospective Central American Seaways. *Advance in Marine Biology* 19: 91-132.
- Glynn P. W. 1990. Coral mortality and disturbance in coral reefs in the tropical eastern Pacific. Pp. 55-126 in *Global Ecological Consequences of the 1982-83 El-Nino Southern Oscillation*. P. W. Glynn ed. Elsevier, Amsterdam.
- Glynn, P. W., N. J. Gasman, C. M. Eakin, J. Cortes, D. B. Smith, and H. M. Gusmann, 1991. Reef coral reproduction in the eastern Pacific: Costa Rica, Panama, and Galapagos Islands (Ecuador). I. Pocilloporidae. *Mar. Biol.*, 109, 355-368.
- Glynn P.W. 2000. El Niño-Southern Oscillation mass mortalities of reef corals: a model of high temperature marine extinctions? In: *Carbonate Platform Systems: Components and Interactions*, edited by E. Insalaco, P.W. Skelton, and T.J. Palmer. Geological Society of London, Special Publications 178: 117-133.
- Glynn P. W., J. L. Mate, A. C. Baker, and M. O. Calderon. 2001. Coral bleaching and mortality in Panama and Ecuador during the 1997–1998 El Niño-Southern Oscillation event: spatial/temporal patterns and comparisons with the 1982–1983 event. *Bulletin of Marine Science* 69:79–109.
- Guzman H.M. and J. Cortes 2001. Change in reef community structure after fifteen years of natural disturbances in the eastern Pacific (Costa Rica). *Bulletin of Marine Science*. 69: 133-149.
- Hallock P. 1996. Reefs and reef limestones in Earth history. In: Birkeland C. (ed.). *Life and death of coral reefs*. New York: Chapman and Hal; p. 13-42.
- Hamilton H.G.H. and W.H. Brakel. 1984. Structure and coral fauna of East African coral reefs. *Bulletin Marine Science* 34:248-266.

- Hodgson, G. 1999. *A global assessment of human effects on coral reefs*. Marine Pollution Bulletin. 38(5): 345-55.
- Hoegh-Guldberg, O. 1999. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and Freshwater Research* 50: 839-866.
- Hoegh-Gulberg, O., and J. G. Smith. 1989. The effect of sudden changes in temperature, light and salinity on the population density and export of zooxanthellae from the reef corals *Stylophora pistillata* Esper and *Seriatopora hystrix* Dana. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 129, 279-303.
- Hubbell S. P. 2001. A unified neutral theory of biodiversity and biogeography. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Hughes, R.N. 1991. Reefs. In: Baines, R.S.K. and Mann, K.H. (eds.), *Fundamentals of Aquatic Ecology*. Blackwell Science, London. pp 213-229.
- Hutching P.A. 1986. Biological destruction in coral reefs. *Coral Reefs*, 4: 239-253.
- ICRAN. 2002. Coral reef action sustaining communities Worldwide. www.icran.org
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2001) Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. Eds. Dai, X, Ding, Y, Griggs, DJ, Houghton, JT, Johnson, CA, Maskell, K, Noguer, M and van der Linden, PJ. Cambridge University Press: Cambridge (UK), 881 pp.
- Jaap W.C. 1985. An epidemic zooxanthellae expulsion during 1983 in the lowest Florida Keys coral reef. Hiperthermic etiology. *Proc. Assoc 5th Int. Coral Reef Congr.* 6: 143-18.
- Jobbins G. 2004. Sustaining coral reef based tourism – a case study from South Sinai, Egypt. Paper presented at the Coral Reef

Symposium, Zoological Society of London, UK., December 2004.

- Karlson R. H., H. V. Cornell and T. P. Hughes. 2004. Coral communities are regionally enriched along an oceanic biodiversity gradient. *Nature* 429, 867–870. (doi:10.1038/nature02685)
- LaJeunesse, T. C. 2001. Investigating the biodiversity, ecology, and phylogeny of endosymbiotic dinoflagellates in the genus *Symbiodinium* using the ITS region: in search of a “species” level marker. *Journal of Phycology* 37: 866–880.
- . 2002. Diversity and community structure of symbiotic dinoflagellates from Caribbean coral reefs. *Marine Biology* 141:387–400.
- Larcombe P., P.V. Ridd, A. Prytz and B. Wilson. 1995. Factors controlling suspended sediment on inner-shelf coral reefs, Townsville, Australia. *Coral Reefs*. 14: 163-171.
- Lesser M.P. and S. Lewis, 1996. Action spectrum for the effects of UV radiation on photosynthesis in the hermatypic coral *Pocillopora damicornis*. *Marine Ecology Progress Series* 134, 171–177.
- Lewis, J. 1991. Coral reef ecosystem. In: Longhurst, A.R. (ed.), *Analysis of Marine Ecosystems*. Academic Press, London. pp. 127-158.
- Loeblich, A. R., III, and J. L. Sherley. 1979. Observation on the theca of the motile phase of free-living and symbiotic isolates of *Zooxanthella microadriatica* (Freudenthal) Comb. nov. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 59:195–205.
- McClanahan T. R. 1998. Predation and the distribution and abundance of tropical sea urchin populations. *Jur. Mar. Exp. Biol. and Ecol.*, 221: 231-255.

- Muller-Parker G., and C. F. D'Elia. 1997. Interactions between corals and their symbiotic algae. Pages 96–133 in C. Birkeland, ed. *Life and death of coral reefs*. Chapman & Hall, New York.
- Nikijuluw P.H. 2006. Ashmore Australia Menggoda nelayan Indonesia. *Media Riau*. (13 Des 2006).
- Oliver J. 1985. Recurrent seasonal bleaching and mortality of corals on the Great Barrier Reef. *Proc. 5th Int. Coral reef Congr.* 4: 201-206.
- Podesta G.P. and P.W. Glynn. 2001. The 1997-98 El Nino event in Panama and Galapagos: An update of thermal stress indices relative to coral bleaching. *Bulletin of Marine Science*. 69: 43-59.
- Rice S.A. and C.L. Hunter. 1992. Effect of suspended sediment and burial on scleractinian corals from west central Florida Fatch reef. *Bull. Mar. Sci.* 51: 429-442.
- Richmond M.D. (ed.). 1998. *A guide to the Seashores of Eastern Africa and the Western Indian Ocean Islands*. Sida, Department for Research Co-operation, SAREC. 448pp.
- Rogers C.S. 1990. Response of coral reef organisms to sedimentation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 62: 185-202.
- Rodriguez-Lanetty, M., H. R. Cha, and J. I. Song. 2000. Genetic diversity of symbiotic dinoflagellates associated with anthozoans from Korean waters. *Proceedings of the Ninth International Coral Reef Symposium* 1:163–171.
- Rowan, R., and N. Knowlton. 1995. Intraspecific diversity and ecological zonation in coral-algal symbiosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 92:2850–2853.
- Rowan, R., and D. A. Powers. 1991. A molecular genetic classification of zooxanthellae and the evolution of animal-algal symbioses. *Science* 251:1348–1351.

- Rowan, R., N. Knowlton, A. Baker, and J. Jara. 1997. Landscape ecology of algal symbionts creates variation in episodes of coral bleaching. *Nature* 388:265–269.
- Schoenberg, D. A., and R. K. Trench. 1980a. Genetic variation in *Symbiodinium* (p*Gymnodinium*) *microadriaticum* Freudenthal, and specificity in its symbioses with marine invertebrates. I. Isoenzyme and soluble protein patterns of axenic cultures of *Symbiodinium microadriaticum*. *Proceedings of the Royal Society of London B, Biological Sciences* 207:405–427.
- . 1980b. Genetic variation in *Symbiodinium* (p*Gymnodinium*) *microadriaticum* Freudenthal, and specificity in its symbioses with marine invertebrates. II. Morphological variation in *Symbiodinium microadriaticum*. *Proceedings of the Royal Society of London B, Biological Sciences* 207:429–444.
- . 1980c. Genetic variation in *Symbiodinium* (p*Gymnodinium*) *microadriaticum* Freudenthal, and specificity in its symbioses with marine invertebrates. III. Specificity and infectivity of *Symbiodinium microadriaticum*. *Proceedings of the Royal Society of London B, Biological Sciences* 207:445–460.
- Smith S.V. 1978. Coral reef area and the contribution of reefs to processes and resources of the world's oceans. *Nature* 273: 225-228.
- Sukarno 2001. Potensi terumbu karang bagi pembangunan daerah berbasis kelautan. *Info URDI Vol. 11: 1-5*. Coremap LIPI, disampaikan pada Forum ARDI tanggal 18 April 2001.
- Thamrin 1994. Comparative study on the effect of high temperature on *Goniastrea aspera* Verril, *Psammocora contigua* (Esper) and *Stylophora pistillata* (Esper). Master Thesis. University of The Ryukyus. Okinawa Japan. 78p.
- Thamrin 2001. Effect of coral-inhabiting barnacle (*Cantellius pallidus*) on planula production in a scleractinian coral *Alveopora japonica*. *Ophelia*. 55: 93-100.

- Thamrin, M. Hafiz dan A. Mulyadi. 2004a. Pengaruh kekeruhan terhadap densitas zooxanthellae pada karang scleractinia *Acropora aspera* di Perairan Pulau Mursala dan Pulau Poncan Sibolga, Sumatera Utara. *Jurnal Ilmu Kelautan*. 9: 82-85.
- Thamrin, H.D. Silalhi, Elizal, Zulkifli. 2004b. Pengaruh Kekeruhan Terhadap Densitas Zooxanthellae Pada Karang Scleractinia *Acropora formosa* di Perairan Pulau Poncan dan Pulau Sibolga Sumut. *Jurnal Perikanan dan Kelautan Vol. 9 No. 1*: 61-69.
- Thamrin. 2006. Karang: Biologi Reproduksiologi. Bina Mandiri Pres. Pekanbaru. 260 hal.
- The Coral Reef Alliance, Effective Coral Reef Marine Protected Areas: A Solution for Survival. info@coral.org, or web site: <http://www.coral.org>
- Tilmant J. 2000. Coral reef protected areas: A Guide for management. U.S. Department of the Interior. Water Resources Division. Fort Collins, Colorado.
- Titlyanov E.A., T.V. Titlyanova, V.A. Leletkin, J. Tsukahara, R. van Woesik dan K. Yamazato. 1996. Degradation and regulation of zooxanthellae density in hermatypic corals. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 139: 167-178.
- Titlyanov E.A., T.V. Titlyanova, Y. Loya dan K. Yamazato. 1998. Degradation and proliferation of zooxanthellae in planulae of the hermatypic coral *Stylophora pistillata*. *Mar. Biol.*, 130: 471-477.
- Toller, W. W., R. Rowan, and N. Knowlton. 2001a. Repopulation of zooxanthellae in the Caribbean corals *Montastraea annularis* and *M. faveolata* following experimental and disease-associated bleaching. *Biological Bulletin* 201:360–373.
- . 2001b. Zooxanthellae of the *Montastraea annularis* species complex: patterns of distribution of four taxa of *Symbiodinium*

on different reefs and across depths. *Biological Bulletin* 201:360–373.

Tomascik T. dan F. Sander. 1987. Effect of eutrophication on reef-building corals III. Reproduction of the reef-building coral *Porites porites*. *Mar. Biol.* 94: 77-94.

Veron, J.E.N. (1995) *Corals in space and time*. University of New South Wales Press: Sydney (Australia), 321 pp.

Veron, JEN (2000) *Corals of the world* (3 volumes). Australian Institute of Marine Science, Townsville.

Wilkinson, C. (ed.) (2004) *Status of coral reefs of the world*. AIMS: Townsville (Australia), 557 pp.

Yonge C.M. 1963. The biology of coral reefs. *Adv. Mar. Biol.*, Vol. 1, pp. 209-260.

Tentang Penulis



Prof. Dr. Thamrin adalah alumni Fakultas Perikanan yang saat ini dikenal dengan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Beliau menamatkan S1 di fakultas tersebut pada tahun 1989, dan sempat menganggur selama satu tahun kemudian. Sempat mengajar di Fakultas Pertanian Prof. Dr. Hazairin Bengkulu pada tahun 1990, sebelum diterima sebagai dosen di Universitas Riau pada tahun 1991. Pada tahun 1992 melanjutkan pendidikan ke University of the Ryukyus, Jepang, dan tamat pada tahun 1994. Kemudian pada tahun 1998 kembali menjalani pendidikan S3 juga di Jepang, akan tetapi berbeda perguruan Tinggi, yaitu Kyushu University, dan tamat 2001.

Pada tahun 2002 beliau menjadi Ketua Prodi Pendidikan Pascasarjana Ilmu Lingkungan setelah ikut mendirikan program tersebut sampai tahun 2011. Kemudian pada tahun 2006 beliau juga mendirikan S3 Ilmu Lingkungan, yang kemudian dijabatnya sampai tahun 2011. Sementara pada tahun 2014 beliau menjabat Wakil Rektor I bidang Akademis sampai sekarang.