



Thamrin

EKOSISTEM TERUMBU KARANG

Hubungan antara Karang dan Zooxanthellae

**EKOSISTEM
TERUMBU KARANG**
Hubungan antara 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).

Thamrin

**EKOSISTEM
TERUMBU KARANG**

Hubungan antara Karang dan Zooxanthellae

Penerbit
UR Press Pekanbaru
2012

Judul : EKOSISTEM TERUMBU KARANG
Hubungan antara Karang dab Zooxanthellae
Penulis : Thamrin

Sampul & Tata Letak : Dasuki
Diterbitkan oleh **UR Press**, Juni 2012

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

Hak Cipta dilindungi Undang-undang
Dilarang mengutip atau memperbanyak
sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penulis

Isi di luar tanggung jawab percetakan

Cetakan Pertama : Juni 2012

Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Thamrin

EKOSISTEM TERUMBU KARANG

Hubungan antara Karang dab Zooxanthellae/Thamrin--

Pekanbaru : UR Press, 2012.

102+ viii hlm. : 15.5 cm

ISBN 978-979-792-314-3

I. Judul.

*Untuk Istri tercinta Rosmayani dan anak-anak: Syauki Aulia Thamrin,
Daffa Sidqi Thamrin dan M. Ahdan Assahabi Thamrin.*



KATA PENGANTAR

Terumbu karang merupakan salah satu ekosistem yang sangat subur dan memiliki keanekaragaman hayati yang paling tinggi diantara ekosistem yang ada di bumi. Sumberdaya perairan dangkal laut tropis yang sangat potensial ini semakin hari terus mengalami degradasi sebagai dampak aktifitas manusia baik yang berada di daerah terumbu karang sendiri maupun yang berasal dari daratan yang membawa dampak buruk pada kualitas perairan berdampingan yang memiliki terumbu karang. Ekosistem yang seharusnya membawa berkah yang dapat meningkatkan kesejahteraan penduduk tempatan dan bahkan dalam meningkatkan kesejahteraan suatu bangsa ini sangat minim sekali memberikan sumbangan bagi bangsa Indonesia sebagai sentral ekosistem ini berada. Pemanfaatan terumbu karang sebagian besar mengarah pada pengrusakan ekosistem itu sendiri, dan masih terfokus dijadikan sebagai daerah penangkapan ikan dan sebagai sumber bahan bangunan serta untuk survenir.

Karang sebagai hewan yang mengendalikan ekosistem ini sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan dan terhadap keberlanjutan terumbu.karang sendiri Bila terjadi pengrusakan terhadap hewan karang akan berakibat fatal terhadap seluruh jaringan ekosistem terumbu karang. Keseimbangan ekosistem menjadi terganggu, kesuburan akan menurun, diversitas dan densitas organisme yang menempati terumbu karang juga menurun. Kerusakan hewan bersifat

sessil ini secara menyeluruh akan menurunkan kondisi terumbu karang, dan bila sampai menyebabkan pembunuhan karang secara menyeluruh akan berdampak pada pemusnahan terumbu karang sendiri.

Buku ini menerangkan dan menggambarkan tentang terumbu karang, yang meliputi biologi, ekologi, simbiosis karang zooxanthellae, reproduksi karang secara sederhana, manfaat dan perusak terumbu karang secara umum. Sebagai hewan tingkat rendah yang memiliki ketergantungan sangat besar dengan simbiosisnya zooxanthellae, pada bagian akhir digambar dan diuraikan hubungan antara karang dan zooxanthellae.

Materi yang dihadirkan di dalam buku ini diramu dan berdasarkan informasi yang berasal dari berbagai jurnal. Pada umumnya berasal dari Jurnal Internasional yang sempat penulis peroleh dan berdasarkan pengalaman penulis selama menggeluti ilmu tentang hewan karang dan terumbu karang. Diharapkan informasi yang digambarkan buku ini tentang hewan karang, yang semakin hari bertambah terdesak dan keberadaannya semakin terancam oleh aktifitas manusia akan membuka sedikit perhatian semua pihak yang memiliki kepentingan dan ketergantungan dengan terumbu karang. Disamping itu juga bertujuan untuk menyediakan bahan bacaan tentang kelautan umumnya dan terumbu karang khususnya yang sangat terbatas dijumpai dalam Bahasa Indonesia.

Pekanbaru, 17 Juni 2012

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II PENGERTIAN TERUMBU, KARANG DAN TERUMBU KARANG	8
2.1. Terumbu	8
2.2. Karang.....	9
2.3. Terumbu karang	18
BAB III ZOOXANTHELLAE	25
3.1. Klasifikasi Zooxanthellae	25
3.2. Perkembangan Ilmu Tentang Zooxanthellae	28
3.3. Sifat-sifat Zooxanthellae	31
3.4. Zonasi Zooxanthellae	34
BAB IV REPRODUKSI PADA KARANG	41
4.1. Reproduksi Secara Seksual	41
4.2. Perkembangan gamet karang	46
4.2.1. Perkembangan Gamet Betina.	47

4.2.2.	Perkembangan Gamet Jantan	54
4.2.3.	Fertilisasi di Dalam Tubuh (fertilisasi internal)	56
4.2.4.	Embriogenesis karang tipe <i>Brooding</i>	59
4.2.5.	Pelepasan Planulae Karang Tipe <i>Brooding</i>	61
4.3.	Karang Tipe <i>Spawning</i>	63
4.3.1.	Perkembangan Gamet Betina	64
4.3.2.	Perkembangan Gamet Jantan	66
4.4.	Fekunditas	67
4.5.	Spawning (Pembuahan di dalam kolom air)	72
4.6.	Fertilisasi (Pembuahan)	79
4.6.1.	Karang Tipe Spawning	80
4.6.2.	Embriogenesis Karang Tipe <i>Spawning</i>	82
4.7.	Karang tipe brooding sekaligus dengan <i>spawning</i>	85
4.8.	Reproduksi Secara Aseksual	85
4.8.1.	<i>Brooding</i>	85
4.8.2.	<i>Polyp bail-out</i>	86
4.8.3.	<i>Polyp Expulsion</i>	88
4.8.4.	<i>Fragmentasi</i>	91
BAB V	MANFAAT TERUMBU KARANG	101
5.1.	Pengendali Keanekaragaman Hayati	102
5.2.	Sumber Bahan Makanan dan Ekonomi	105
5.3.	Sumber Bahan Obat-obatan	108
5.4.	Karang Untuk Konstruksi	110
5.5.	Ikan Hias Terumbu Karang	112
5.6.	Pariwisata	114
5.7.	Karang Hias	116
5.8.	Survenir Dari Karang	119
BAB VI	KONDISI DAN DEGRADASI TERUMBU KARANG	123
6.1.	Kondisi Terumbu Karang Dunia	123
6.2.	Faktor-faktor Yang Merusak Terumbu Karang	125

6.2.1. Penangkapan ikan yang tidak ramah lingkungan	127
6.2.2. Angin Topan	128
6.2.3. Bloming Mahkota Berduri <i>Achantaster planci</i>	129
6.2.4. Pembangunan daratan dan Kehutanan	133
6.2.5. Karang Untuk Konstruksi.....	135
6.2.6. Penangkapan Ikan Berlebihan	137
6.2.7. Pariwisata	139
6.2.8. Survenir Karang dan Karang Hias Hidup	143
6.2.9. Global Warming	144
6.3. Kelanjutan Dampak Perusakan Karang	146
BAB VII SIMBIOSIS KARANG DAN ZOOXNTHELLAE	148
DAFTAR PUSTAKA	159



DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Perbandingan fekunditas dengan memakai kedua satuan individu dan persatuan luas pada beberapa spesies karang <i>Acropora</i> (Wallace, 1985)	68
Tabel 2.	Rata-rata ukuran beberapa koloni mulai matang pada beberapa spesies dan bentuk koloni serta kondisi dan lokasi polip pada polip yang telah matang (Song dan Lang, 1992)	71



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Ekosistem terumbu karang Bunaken diambil dari glassboat (Foto oleh Thamrin)	2
Gambar 2.	Salah satu kondisi terumbu karang pada kedalaman 5 meter di Taman Laut Pulau Tinggi Mersing Johor, Malaysia (Foto oleh Thamrin)	3
Gambar 3.	Ikan clown dan sea anemon (foto oleh Thamrin)	11
Gambar 4.	Karang dalam sistem Filum Coelenterata; kelompok pembangun terumbu berada dalam garis terputus-putus	12
Gambar 5.	Tiga koloni spesies karang <i>Porites lutea</i> yang berukuran besar	13
Gambar 6.	Spesies karang <i>Fungia</i> sp berpolip tunggal (soliter)	14

Gambar 7.	Dua tipe karang <i>Pocillopora damicornis</i> yang ditemukan di Sumatera Barat	15
Gambar 8.	Perubahan morfologi karang massive <i>Montastrea annularis</i> pada kedalaman berbeda. a) kedalaman 5 m, b) kedalaman 13 m, c) kedalaman 18 m, dan d, pada kedalaman 25 m (Barnes dalam Barnes dan Hughes, 1995)	16
Gambar 9.	Terumbu karang dilihat dari bentuknya. a, terumbu bentuk fringing (terumbu karang tepi), b, terumbu karang bentuk barrier (terumbu karang penghalang), c), terumbu karang bentuk melingkar (cincin)..	20
Gambar 10.	Ikan kepe-kepe (Chaetodontidae) pada terumbu karang Pulau Kasiak Pariaman, Sumatera Barat (Foto oleh Thamrin).....	23
Gambar 11.	Zooxanthellae saat di dalam jaringan karang <i>Acropora millepora</i> (Cervino et al., 2003) (a), dan (b) close up zooxanthellae di luar tubuh karang <i>Goniastrea aspera</i> (Foto oleh Thamrin)	26
Gambar 12.	Perbandingan masing-masing tipe karang dalam bereproduksi pada enam daerah penting terumbu karang dunia (Veron, 2000)	45
Gambar 13.	Testis dan oosit dalam polip karang. A). Oosit dan testis diamati langsung pada polyp karang hidup <i>Symphyllia recta</i> yang dipecahkan skeletonnya; Bar = 400 um. B). Oosit pada karang C). Oosit dan testis <i>Acropora formosa</i> diamati dari hasil pengamatan histologi melalui pembuatan preparat; Bar = 800 um; O = oosit; t = testis. (A dan C oleh Wallace, 2000; C. (Foto oleh Thamrin)	48

Gambar 14.	Bentuk dan bagian-bagian organ sperma karang secara umum (Wallace, 2000)	49
Gambar 15.	Telur karang <i>Galaxea fascicularis</i> yang baru keluar dari dalam tubuh polipnya (Foto oleh S. Nojima)	50
Gambar 16.	Oogenesis karang karang bertipe <i>brooding</i> <i>Alveopora japonica</i> . A, Oosit stadium I pada salah satu mesentery; B, Oosit Stadium I dan II oosit; C, Oosit Stadium I dan III; D, oosit Stadium I dan IV; dan E, Oosit Stadium I dan V. N, nukleus dan ns, tiga nukleus berubah ukuran menjadi kecil. Stadium V terlihat dipe- nuhi oleh zooxanthellae (Thamrin, 2001).	53
Gambar 17.	Siklus hidup dan embriogenesis karang tipe <i>brooding</i> (Wallace, 2000)	58
Gambar 18.	Embriogenesis karang tipe <i>brooding</i> <i>Favia fragum</i> . a) Dua Stadium I embrio dengan ekterior berbentuk bumpy (stadium blastula); b) Awal Stadium II embrio. Lapisan interior sedang terbentuk dan coelenteron sudah hampir terbuka; c) Stadium III planula menunjukkan stomadeum dan pertumbuhan mesentery; d) Zooxanthellae masuk pada Stadium IV tisu larva. M = mesentery; bar 50 μ m untuk a-c, dan 30 μ m untuk d dan e (Szmant-Froelich et al., 1985).....	60
Gambar 19.	Bundel gamet jantan dan betina karang <i>Acropora</i> sp. (Wallace, 2000)	73
Gambar 20.	Bundel oosit dikeluarkan karang <i>Montastrea valenciennesi</i> A) Oosit dalam bentuk bundel sedang dikeluarkan, B) Bundel oosit dilihat dari dekat, C) Masing-masing telur mulai memisahkan	


	diri dari bundel, dan D) Oosit satu sama lainnya telah memisahkan diri (Foto oleh S. Nojima)	74
Gambar 21.	Spesies karang <i>Galaxea facicularis</i> sedang melepaskan telur secara satu per satu (Foto oleh S. Nojima).....	75
Gambar 22.	Karang mushroom <i>Fungia fungites</i> sedang mengeluarkan sperma yang berwarna buram (Harrison dan Wallece, 1990)	75
Gambar 23.	Karang <i>Acropora</i> sedang melakukan spawning bersama spesies karang lainnya (Foto oleh S. Nojima)	76
Gambar 24.	Telur-telur karang <i>Goniastrea favulus</i> melakat pada substrat dasar setelah dilepaskan induknya ke dalam air (Kojis dan Quinn, 1981).....	77
Gambar 25.	Siklus hidup karang bertipe spawning (Wallace, 2000)	80
Gambar 26.	Embriogenesis karang <i>Acropora</i> . A), oosit yang belum dibuahi; B), oosit sedang membentuk cleavage (belahan); C), 4 sel embrio membentuk ukuran yang sama blastomeres; D), 16 sel sedang menunjukkan penggabungan pseudopiral; E), lubang shperical blastula terbentuk; F), blastula mendatar dan menjadi cekung, menjelang masa untuk gastrulasi; G), gastrula terbentuk dengan terjadinya penggabungan sisi dari setiap sisi blastula dengan sebuah lubang oral terbentuk dimana sisi embrio yang bersentuhan; H), larva terbentuk dengan adanya perbedaan dan migrasi sel-sel; I), larva planula dan silia serta lubang oral (oral pore) terbentuk	

	(SEM dipersiapkan oleh F. Pantus dan B. Willis dalam Wallace, 2000).	84
Gambar 27.	<i>Polyp bail-out</i> dari <i>Seriatopora hystrix</i> dalam keadaan bebas yang memiliki dua filamen yang berbentuk coil (b). a, Salah satu corallite pada koloni telah kosong ditinggalkan polip, dan c, Gambar SEM skeleton yang dihasilkan <i>polyp bail-out</i> sekitar 7-9 hari setelah <i>bail-out</i> (Sammarco, 1984)	87
Gambar 28.	Koloni karang yang ditinggalkan polip pada bagian tengah menjadi kosong (a). (b), <i>polyp-expulsion</i> dalam keadaan bebas; (c), <i>polyp-expulsion</i> menempel kemblai pada substrat baru; dan (d) <i>polyp-expulsion</i> mulai tumbuh kembali membentuk polip muda (Wallace, 2000)	89
Gambar 29.	Proses terjadinya <i>polyp expulsion</i> pada karang tipe massive <i>Favia fragum</i> (Kramarsky-Winter et al., 1997)	90
Gambar 30.	Fragmen-ragmen karang <i>Acropora fruinosa</i> terpisah dari koloni utama dan ber-serakan di atas pasir setelah mengalami kerusakan. Gambar 47B terlihat lebih jelas polip-polip pada fragmen sedang memanjang (Foto oleh Thamrin)	95
Gambar 31.	Fragmen karang <i>Acropora fruinosa</i> di atas substrat pasir tetap hidup dan berkembang (Foto oleh Thamrin)	96
Gambar 32.	Pertumbuhan telapak untuk melekat kembali fragmen karang <i>Acropora fruinosa</i> pada substrate ubin. A) pertumbuhan telapak fragmen setelah 5 minggu; B) pertumbuhan telapak fragmen	

	setelah 13 minggu; F, fragmen; T, telapak baru fragmen untuk menempel; Tl, tile. Pf, polip pada fragmen; dan Pt, polip pada telapak fragmen yang sedang berkembang (Foto oleh Thamrin)	98
Gambar 33.	Sifut cone (cone snail) yang umum ditemukan di daerah terumbu karang. Australia (Monteiro, 2009).....	109
Gambar 34.	Skeleton karang massive yang digunakan masyarakat untuk dasar/pondasi rumah di Tapak Tuan, Propinsi Aceh. Tanda panah penunjuk skeleton koloni karang yang digunakan untuk dasar bangunan rumah (Foto oleh Thamrin)	111
Gambar 35.	Skeleton karang sebagai hiasan dan pemagar pohon bunga di samping rumah di Twin Beack Cebu Johor, Malaysia (Foto oleh Thamrin).	112
Gambar 36.	Ikan Amphiprion dan sea anemone (atas), dan ikan kepe-kepe (chaetodontidae) yang memiliki ketergantungan sangat besar dengan terumbu karang (Foto oleh Thamrin)	113
Gambar 37.	Beragam cangkang organisme yang hidup di daerah terumbu karang yang diperdagangkan di daerah wisata Pangan daran Jawa Barat (Foto oleh Thamrin)	120
Gambar 38.	Skeleton <i>Pocillopora damicornis</i> yang diperdagangkan di daera wisata Pangan-daran Jawa Barat (Foto oleh Thamrin)	121
Gambar 39.	Persentase tutupan terumbu karang dunia yang mendapatkan tekanan (Wilkinson, 2000)	124

Gambar 40.	Mahkota berduri <i>A. planci</i> sedang berada di atas koloni karang <i>Acropora</i> (Foto oleh S. Nojima)	130
Gambar41.	Penambahan batu karang (skeleton karang) untuk bahan konstruksi di Palau, http://coris.noaa.gov/about/eco_essays/palau/stressors.html	136
Gambar 42.	Penulis dan seorang temannya berada diantara bongkahan-bongkahan skeleton karang yang sudah berada di daratan di salah satu tempat wisata di Okinawa Jepang	136
Gambar 43.	Patahan atau kerusakan koloni karang disebabkan wisatawan berdiri di atas koloni karang, panah menunjukkan bagian yang patah (Foto oleh Thamrin).....	141
Gambar 44.	Sebagian dari koloni karang <i>Acropora</i> sudah mengalami pemutihan pada kedalaman 5 meter di Taman Laut Pulau Tinggi Mersing Johor, Malaysia (Foto oleh Thamrin)	146
Gambar 45.	Posisi <i>Tridacna gigas</i> dalam keadaan normal ketika terumbu masih bagus (a), dan (b) setelah berubah dan tidak sesuai posisi seharusnya disebabkan oleh kerusakan terumbu karang di Pulau Pesumpahan Sumatera Barat (Foto oleh Thamrin)..	147
Gambar. 46.	Spesimen ukuran sedang <i>Tridacna maxima</i> pada kedalaman ~6 m di Teluk Anemone, Kepulauan North Solitary Australia (Smith, 2011)	149
Gambar 47.	Regenerasi fragmen karang bercabang <i>Acropora</i> sp. yang digantung dengan posisi horizontal dan dengan posisi vertikal (Kawaguti, 1937)	150

Gambar 48. Peristiwa *bleaching* pada karang *Acropora*.
A) Kelompok koloni karang *Acropora solitalyensis* yang sebagian coloninya mengalami *bleaching*, dan B) Koloni *A.solitalyensis* yang sebagian besar *B.polipnya* mengalami *bleaching* dilihat C.dari dekat (Foto oleh S. Nojima) 158



Bab 1

PENDAHULUAN

Pada umumnya ekosistem di bumi dan khususnya yang berada di negara ini sudah mengalami kerusakan. Bahkan beberapa ekosistem menjelang beberapa periode ke depan diperkirakan akan mengalami kepunahan bila tidak ada kebijakan dan tindakan yang nyata dalam melindunginya, apakah ekosistem yang berada di daratan apalagi yang berada di lautan.

Keberadaan organisme yang hidup di laut secara umum juga sangat berbeda kondisinya dengan yang ditemukan di daratan. Organisme yang ditemukan di daratan sebagian besar berada di permukaan sampai hanya beberapa meter saja di atas permukaan bumi, seperti yang berada di pepohonan dan yang terbang di udara. Sangat berbeda dengan yang ditemukan di perairan laut, hampir setiap inci terutama yang berdekatan ke permukaan ditempati makhluk hidup. Laut sendiri memiliki kedalaman rata-rata antara 5000 sampai 7000 m, dan yang terdalam mencapai 11000 m (palung laut). Hampir setiap kedalaman tersebut ditemukan makhluk hidup yang mencirikan setiap kedalaman.

Terumbu karang sendiri yang sangat terkenal dengan keanekaragaman jenis makhluk hidup sangat tinggi dan keindahannya yang sangat menawan hanya menempati perairan dengan kedalaman terbesar sekitar 60 m. Jadi bila dilihat dari volume air laut sendiri, porsi air laut yang berada di daerah terumbu karang dunia ini sangat-

sangat kecil sekali. Dengan alasan ini maka dikatakan ekosistem terumbu karang merupakan ekosistem yang paling spektakuler kesuburannya.

Beberapa ekosistem yang ditemukan di negara ini diantaranya: ekosistem hutan hujan tropis, ekosistem hutan gambut, ekosistem mangrove, ekosistem lamun dan ekosistem terumbu karang. Salah satu ekosistem yang menjadi perhatian dunia dan di Indonesia saat ini termasuk ekosistem 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 (Gambar 1) serta memiliki produktifitas paling berlimpah diantara ekosistem yang ada di bumi. Ekosistem ini sebagian berada dalam keadaan kritis.



Gambar 1. Ekosistem terumbu karang Bunaken diambil dari glassboat (Foto oleh Thamrin)

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 (Gambar 2). Paling kurang dua pertiga terumbu karang dunia berkemungkinan secara ekologi akan hancur menjelang periode cucu kita, kecuali kalau bila diimplementasikan 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).



Gambar 2. Salah satu kondisi terumbu karang pada kedalaman 5 meter di Taman Laut Pulau Tinggi Mersing Johor, Malaysia (Foto oleh Thamrin)

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.

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 dengan beraneka ragam jenis organisme 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. Hampir seluruh filum organisme yang dijumpai di dunia terdapat pada daerah terumbu karang, yaitu sekitar 32 dari 33 filum pengelompokan 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.

Terumbu karang disimpulkan sebagai ekosistem yang paling subur, karena berlimpahnya organisme yang hidup pada ekosistem ini, dan diperkirakan memiliki hampir 100.000 jenis organisme dari luas total hanya sekitar 0,1 persen dari dasar permukaan laut. Dibandingkan dengan jumlah jenis ikan yang hidup di laut secara keseluruhan, sekitar sepertiga dari keseluruhannya (sekitar 4.000-5.000 spesies) ditemukan hanya hidup di daerah terumbu karang. Terumbu karang memiliki luas sekitar 0,2 % dari luas laut keseluruhan. Namun organisme yang menempatnya sangat berlimpah, dan diperkirakan sekitar 93,98 kali lebih berlimpah dibandingkan kelimpahan rata-rata laut di luar terumbu karang secara keseluruhan.

Kondisi ini menggambarkan betapa besarnya peran dan pengaruh ekosistem terumbu karang terhadap kehadiran dan keberlanjutan organisasinya. Ratusan ribu organisme yang memiliki ketergantungan dan hidup di daerah terumbu karang termasuk berasal dari kelompok ikan, ular laut, penyu laut, moluska, gastropoda, spons, bulu babi, dan yang terbesar berasal dari kelompok cacing.

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 spesies dengan spesies lainnya, dan mekanisasi hidup berdampingan (*coexistence*) masih ada celah untuk mengemukakan pertanyaan, meski banyak teori dan kemajuan secara empiris telah dicapai (Chesson 2000; Hubbell 2001). Namun dalam tulisan ini tidak akan mengulas lebih dalam tentang kelimpahan, melainkan mengarah pada peran dan hubungan antara karang sebagai hewan dan zooxanthellae sebagai micro-algae pada ekosistem 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 rumbu karang tmenyebar sampai ke daerah sub-tropis. Topografi terumbu karang yang kompleks dan memiliki nutrien 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. Termasuk di Indonesia, pemerintahan Indonesian telah mengalokasikan dana dalam bentuk proyek trilyunan rupiah dalam usaha mempertahankan ekosistem terumbu karang pada penghujung abad 21. 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, berperanan 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 pertambahan 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.

Sebagai mana disebutkan sebelumnya, diperkirakan sekitar 10 % terumbu karang dunia telah mengalami degradasi dari sekian banyak yang telah mengalami *recovery* dari kerusakan. Keadaan ini diperkirakan akan terus mengalami penurunan 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 ekosistem tersebut dan organisme yang hidup serta yang memiliki ketergantungan dengan ekosistem terumbu karang mau atau 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. Walaupun kenyataan di alam sendiri ternyata juga tidak sepenuhnya keberhasilan pembentukan terumbu karang ditentukan oleh kedua organisme tersebut (zooxanthellae sebagai tumbuhan dan karang sebagai hewan), akan tetapi juga ditentukan kemampuan coraline algae sebagai perekat dalam proses semenisasi pembentukan terumbu karang.

Melihat kondisi terumbu karang dalam keadaan kritis dan dalam perjalanan menuju kepunahan diharapkan dapat menggugah Saintis, Pemerintah dan seluruh lapisan masyarakat yang berhubungan dengan ekosistem ini lebih serius mencarikan 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, KARANG DAN TERUMBU KARANG

Perkataan terumbu karang (*coral reef*) dapat dibagi menjadi dua kata, yaitu karang (*coral*) dan terumbu (*reef*), dan bila disandingkan kedua kata tersebut membentuk satu kata majemuk yaitu terumbu karang atau *coral reef*. Kata terumbu dan karang, serta terumbu karang, ketiganya memiliki pengertian yang berbeda sama sekali. Pengertian kedua kata dan satu kata majemuk tersebut adalah sebagai berikut:

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. Sementara dalam pengertian spesifik merupakan tumpukan karbonat yang berasal dari berbagai macam jenis makhluk hidup (*bioherm*) baik dari kelompok tumbuhan maupun dari kelompok tumbuhan.

Terumbu dari segi topografi dan struktur dibangun oleh makluk 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 bahan terumbu karang.

2.2. 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* kelihatan seperti karang batu bila tidak diamati secara teliti, karena memiliki bentuk dan sifat dimana tubuhnya juga membentuk 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 berperan 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 bahkan memiliki ukuran diameter mencapai satu-setengah meter dan memiliki warna yang cerah. Kehidupannya juga seperti karang batu, melakukan simbiosis dengan organisme lain, dan simbiosis yang paling kentara terjadi adalah 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. Hubungan yang dibangun sea anemon dengan hewan-hewan yang menjadikannya sebagai habitat terbentuk dalam bentuk simbiosis mutualisme, dimana ikan *clown* dan organisme lainnya yang bersimbiosis dengan anemon bisa terlindung diantara tentakel anemon tanpa terpengaruh nematosit anemon (Gambar 3). 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.

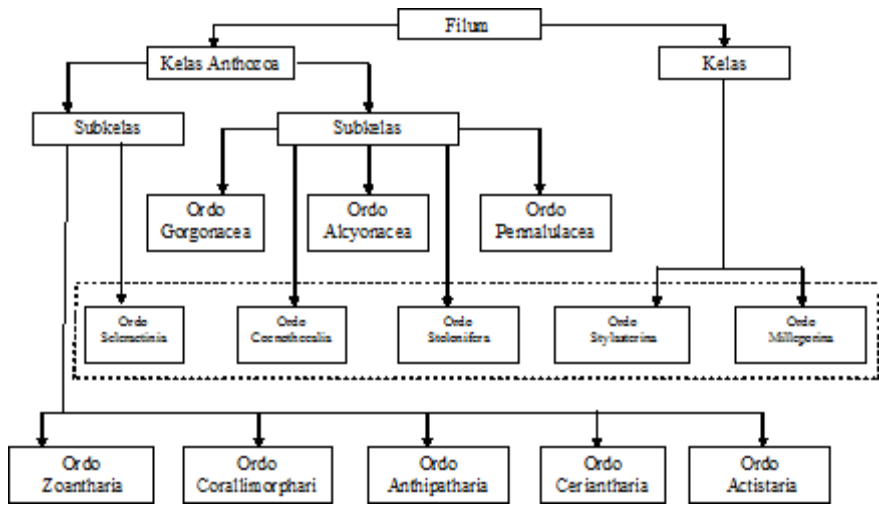
Karang pembentuk terumbu adalah hewan walaupun menimbulkan keraguan karena pada umumnya seperti bebatuan, terutama yang telah mati dan meninggalkan skeleton di berbagai daerah pantai. Pada kenyataannya tubuh karang sebagian besar terdiri dari zat kapur mengingat hanya bagian luar yang tipis hewan karang 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. Seiring dengan membesarnya kayu bagian dalam pohon, kulit yang membalutnya juga semakin membesar. Sebagaimana juga pohon di daratan, dimana sebagian besar hewan karang secara permanen juga melekat pada dasar laut.



Gambar 3. Ikan clown dan sea anemon (foto oleh Thamrin)

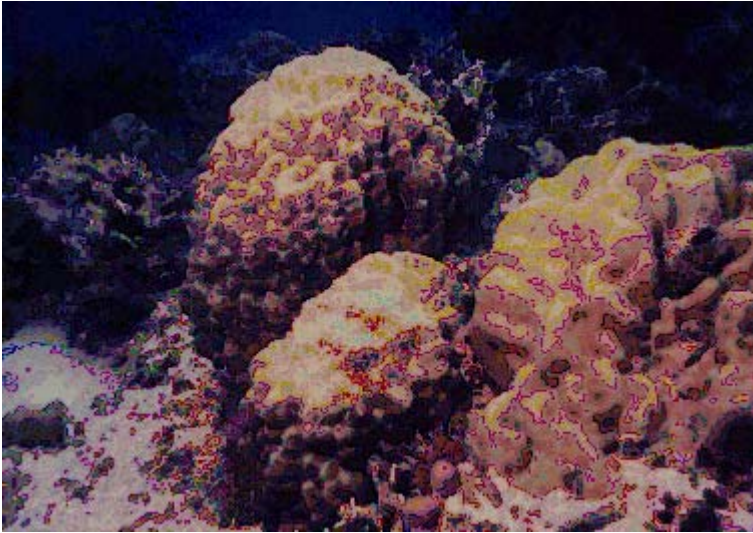
Karang pembentuk terumbu atau karang batu (scleractinia) terdiri dari beragam bentuk dan beragam ukuran, serta memiliki ciri-ciri adakalanya hampir tidak dapat dibedakan dari bentuk diantara individu/koloni sampai yang sama sekali berbeda diantara jenis satu dengan yang lainnya. Keragaman bentuk, formasi, warna dan tekstur jenis/spesies karang hampir tidak terbatas. Keseluruhan karang batu yang sudah diidentifikasi diperkirakan berjumlah sekitar 800 spesies, dan sekitar 600 spesies diantaranya terdapat di Asia Tenggara. Pada umumnya spesies ini merupakan karang pembentuk terumbu.

Sebagian besar karang yang berperan dalam membentuk terumbu berasal dari Ordo Scleractinia. Namun dalam keseharian juga dimasukkan beberapa jenis yang berasal dari kelompok lain, yaitu: Ordo Coenothecalia, ordo Stolonipera, Ordo Stylasterina dan Ordo Milleporina (Gambar 4).



Gambar 4. Karang dalam sistem Filum Coelenterata; kelompok pembangun terumbu berada dalam garis terputus-putus

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 jumlah individu mencapai jutaan, dengan diameter sampai beberapa meter (Gambar 5).

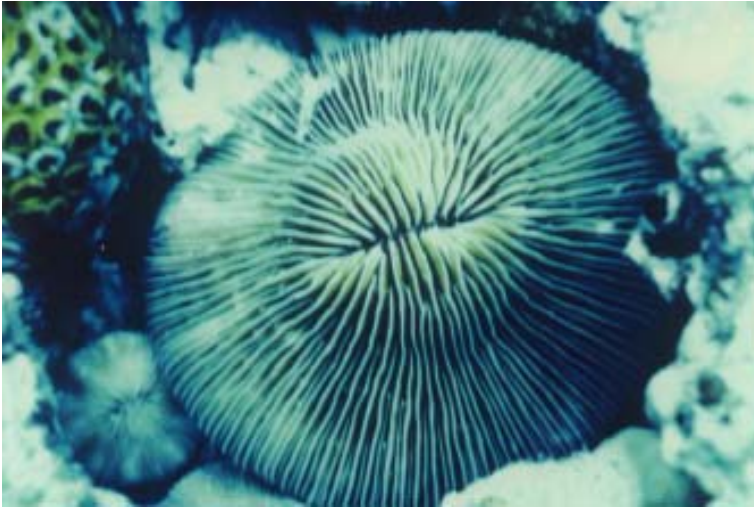


Gambar 5. Tiga koloni spesies karang *Porites lutea* yang berukuran besar (Foto oleh Thamrin).

Hewan karang pada dasarnya secara sederhana dapat dikelompokkan menjadi dua, dimana sebagian besar hidup dalam bentuk berkoloni, dan sebaliknya dalam jumlah terbatas dalam bentuk soliter (tunggal). Individu karang sendiri disebut dengan *polyp* (polip), jadi karang bentuk *soliter* dikatakan juga karang berpolip tunggal, seperti yang dijumpai pada karang kelompok *Fungia* (Gambar 6). 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.

Pergerakan kelompok karang *Fungi* ini hanya dalam jarak terbatas. Mekanisasi pergerakan *Fungi* dilakukan dengan memanjangkan tubuhnya, kemudian mendorong tubuhnya ke arah depan. Disamping itu pergerakannya juga bisa terjadi dengan bantuan arus. Pada awal kehidupannya yakni pada saat awal perkembangan dari larva *planulae* (*planulae* = jamak) mulai menempel yang diikuti pembentukan polip muda menjelang dewasa hidup melekat pada substrat sebagai mana jenis karang lainnya. Kemudian setelah besar terlepas dari substrat dasar tempat karang ini melekat. Pengecualian

terjadi pada dua kelompok genus *Lithophyllon* dan *Podabacia* yang melekat pada susbtrat *selama* hidupnya.



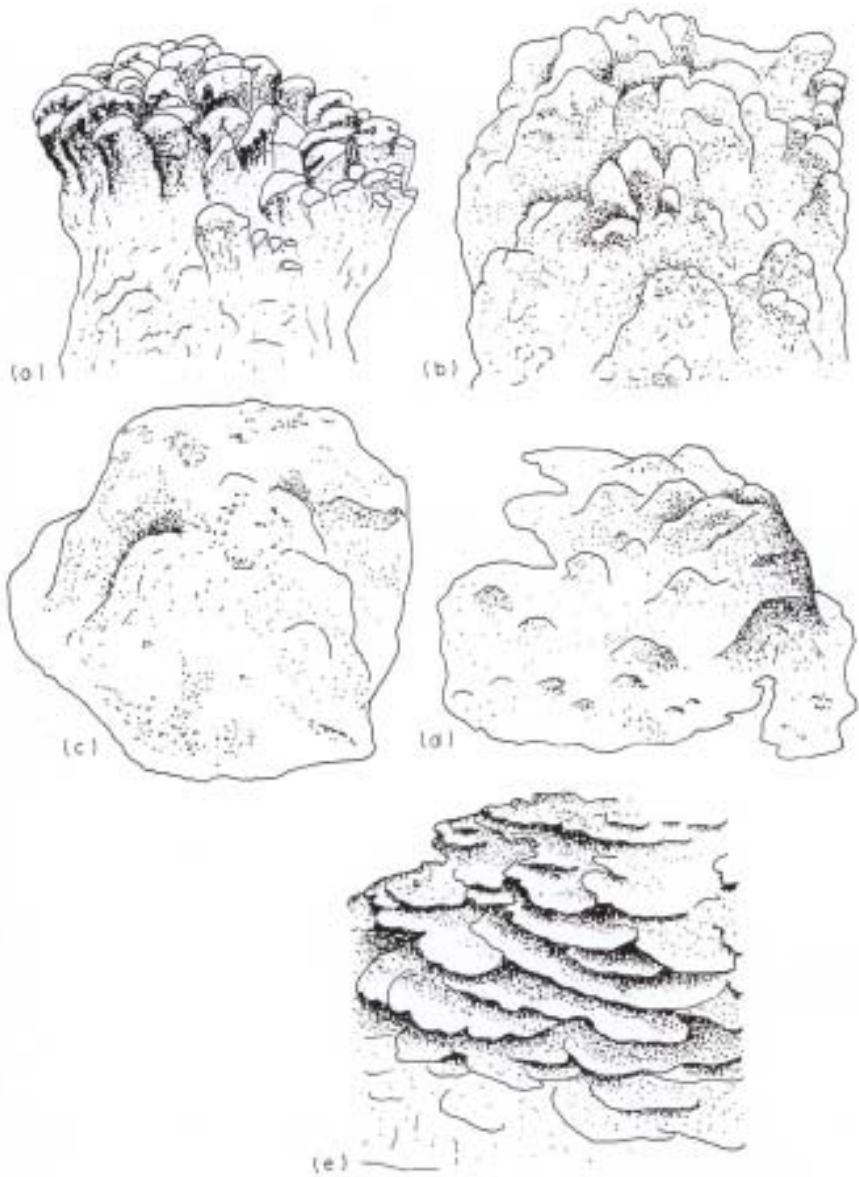
Gambar 6. Spesies karang *Fungia* sp berpolip tunggal (soliter) (Foto oleh Thamrin)

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) yang disebutkan di atas, 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. Gambar 7 adalah salah satu contoh bentuk dan warna koloni *P. damicornis* yang ditemukan di Indonesia, dan foto diambil di perairan Pulau Kasiak Pariaman Sumatera Barat.



Gambar 7. Dua tipe karang *Pocillopora damicornis* yang ditemukan di Perairan Pulau Kasiak Sumatera Barat (Foto oleh Thamrin).

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 berbeda (Gambar 8). Hal ini menambah daftar kesulitan bila mengidentifikasi jenis karang bila memfokuskan pada bentuk morfologi semata.



Gambar 8. Perubahan morfologi karang massive *Montastrea annularis* pada kedalaman berbeda. a) kedalaman 5 m, b) kedalaman 13 m, c) kedalaman 18 m, dan d, pada kedalaman 25 m (Barnes dalam Barnes dan Hughes, 1995)

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. Berbeda sekali bila dibandingkan dengan karang bercabang dari genus *Acropora*, dimana kelompok spesies ini bisa tumbuh sekitar 5 sampai 10 cm/tahun atau lebih. Dalam banyak kejadian, kecepatan pertumbuhan karang termasuk lambat dan sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan dimana karang tersebut berada.

Karang pembentuk terumbu pada umumnya agak sensitif terhadap kenaikan dan penurunan temperatur, dan terbatas hanya pada daerah perairan yang hangat. Pada umumnya karang jenis ini hanya bisa tumbuh dalam kisaran temperatur antara 18-29°C, dan dapat hidup dan berkembang dengan optimal pada kisaran suhu antara 23-29°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.

Hewan karang secara tidak langsung sangat membutuhkan cahaya matahari dalam kehidupannya. Kebutuhan akan cahaya adalah berhubungan dengan kehadiran simbiosis karang micro-algae zooxanthellae yang hidup di dalam tisu polip karang yang memerlukan cahaya matahari untuk melakukan aktifitas fotosintesis. Hewan karang bersimbiosis mutualisme dengan zooxanthellae, yang diperkirakan sekitar 98 % kebutuhan karang sebagai inang ditopang oleh zooxanthellae sebagai simbiosisnya. Kondisi inilah yang menyebabkan hewan karang ditemukan hanya terbatas di perairan dangkal, dimana cahaya matahari yang masuk ke dalam perairan laut masih bisa ditolelir oleh zooxanthellae yang hidup dan tinggal di dalam tisu karang.

Hewan karang pada umumnya aktif pada malam hari dan bersifat karnivora. Makanan utama yang menjadi sasaran terutama dari kelompok mikro-zooplankton dan partikel organik di dalam air. Berhubung umumnya polip karang aktif pada malam hari maka aktifitas penangkapan mikro-zooplankton dan partikel organik dilakukan pada malam hari pada umumnya karang. Beberapa jenis karang juga ditemukan pada siang hari, dan juga ada yang aktif pada malam dan siang hari. Spesies karang yang aktif pada siang hari seperti *Alveopora japonica*, dan yang aktif pada siang dan malam hari pada umumnya ditemukan pada kelompok *Goniopora*.

2.3. 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).

Peranan organisme lain dalam pembentukan terumbu karang tidak bisa diabaikan, terutama organisme yang merekat berbagai organisme penghasil zat kapur dengan organisme lainnya. Salah satu organisme tersebut dikenal dengan kelompok calcareous, seperti coralline algae yang 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).

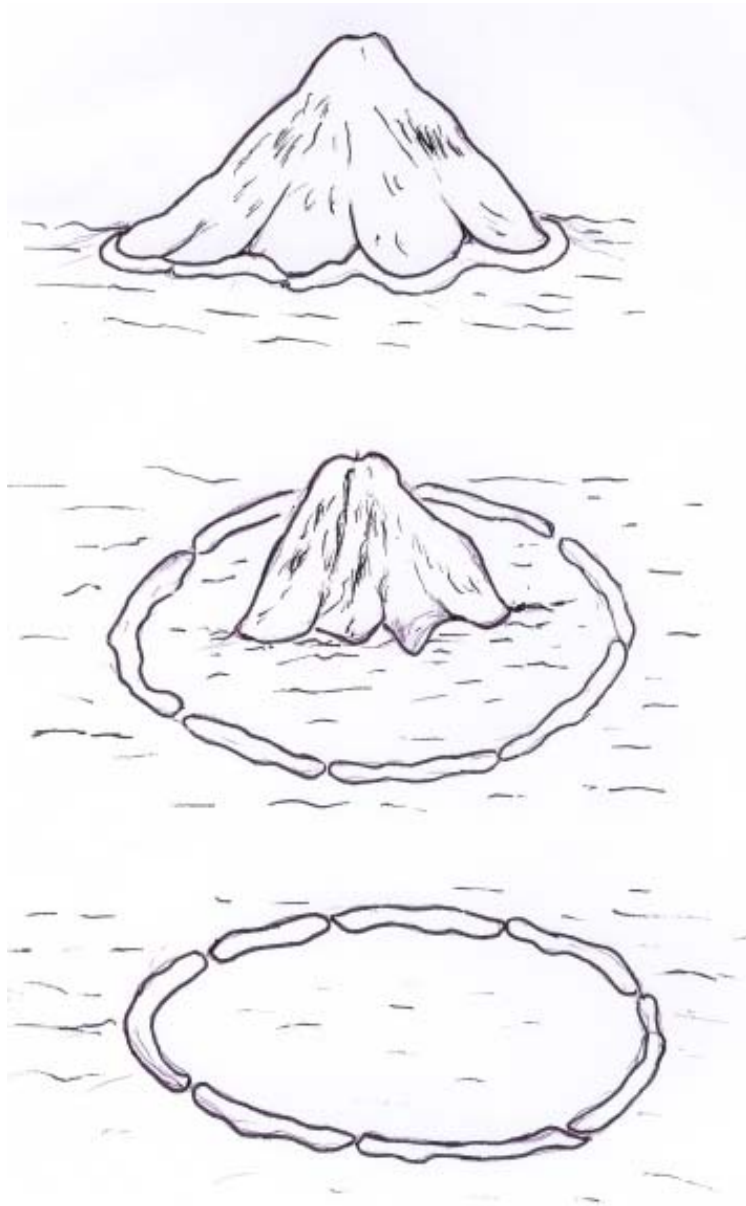
Sedimen pada daerah terumbu karang terutama diperoleh dari proses fisika, seperti energi gelombang dan degradasi organik seperti bioeroders dari beberapa sponges dan bivalva pembentuk terumbu. Proses fisika dan biologi yang menghasilkan sedimen diiringi oleh proses biologi pembungkusannya dalam membentuk terumbu oleh coralin algae. Peranan coralin algae ini sebagai penyemen atau pengikat seluruh organisme dasar terutama organisme yang memproduksi kalsium karbonat sebagai pembentuk utama terumbu karang tidak kalah penting. Hal ini menyebabkan bila coralin algae tidak mampu mempersatukannya dalam proses penyemenan, maka tidak akan ditemukan terumbu karang pada suatu perairan walaupun

di tempat tersebut ditemukan organisme (hewan) karang. Sebagai kesimpulan, terumbu terdiri dari organisme-organisme yang memproduksi dan mengikat substrat keras yang ditemukan di dasar perairan, 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 (Gambar 9).

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 tua 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 9. Terumbu karang dilihat dari bentuknya. a, terumbu bentuk fringing (terumbu karang tepi), b, terumbu karang bentuk barrier (terumbu karang penghalang), c, terumbu karang bentuk melingkar (cincin).

Terumbu karang bagaikan tumpukkan-tumpukan keajaiban alam diantara perairan laut yang gersang, menyediakan daerah wisata yang sangat menawan untuk manusia, 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 hidupnya saja masih bergantung pada mikro-algae dari kelompok mikro-alga dinoflagellata yang dikenal dengan nama zooxanthella (zooxanthellae = jamak). Zooxanthellae ini yang mengendalikan 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 diantara 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

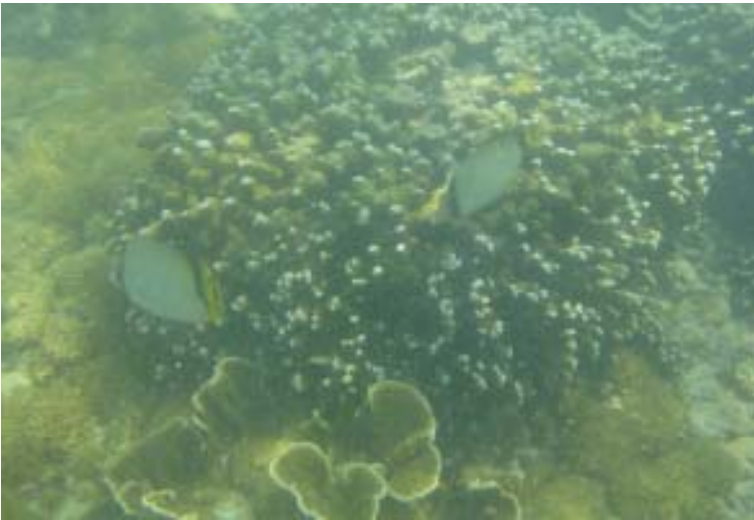
laut daerah sub-tropis dan perairan yang lebih dalam, yang memiliki karang pembentuk terumbu tetapi tidak mampu membentuk terumbunya. Sebagai contoh bisa ditemukan berbagai jenis karang *Acropora* pada perairan sub-tropis Amakusa Jepang, dimana perairan ini memiliki berbagai jenis hewan karang pembentuk 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 sangat rumit disebabkan siklus energi juga mempunyai sebuah sistem yang sangat kompleks. Secara sederhana dapat digambarkan dari tumbuhan sebagai organisme autotrof yang dibantu oleh sinar matahari dalam melanjutkan kehidupannya, kemudian berlanjut pada hewan bersifat herbivora dan *filter feeder* sampai pada puncaknya pada hewan bersifat karnivora, *scavenger* dan *deposit feeder*.

Terumbu karang kemudian digambarkan sebagai habitat yang ideal. Dilihat dengan kasat mata ekosistem ini tampak indah, tetapi dilihat lebih rinci jauh lebih banyak yang menarik, dan yang belum terpecahkan berhubungan dengan terumbu karang juga lebih banyak lagi. Diperkirakan antara 10-40% spesies di terumbu karang sampai sekarang belum terdeskripsikan dalam sains. Keanekaragaman jenis yang berlimpah, keindahannya yang didukung struktur terumbu yang unik, penuh celah yang ada kalanya juga membentuk gua-gua kecil menyediakan tempat tinggal yang sangat baik untuk ikan, invertebrata dan berbagai jenis organisme lainnya. Organisme-organisme tersebut bisa memanfaatkan algae sebagai makanan, termasuk jaringan karang, plankton, ikan lainnya, atau parasit, yang semuanya berlimpah pada ekosistem ini. Beraneka corak dan warna cerah serta beraneka ragam organisme di daerah terumbu karang membantu ikan untuk berlindung dari predator. Semua kelebihan dan keunikan yang dimiliki terumbu karang menyebabkan banyak spesies ikan hanya dapat hidup di lingkungan ekosistem terindah ini.

Keanekaragaman spesies dan kelimpahan organisme di daerah terumbu karang terkenal sangat tinggi, dan kondisi ini juga menunjukkan bahwa banyak spesies di terumbu karang yang benar-benar tergantung pada kesehatan terumbu sebagai tempat tinggal

dan sekaligus untuk kelangsungan hidupnya. Seperti kelompok ikan kepe-kepe (Gambar 10) dan spesies endemik, yaitu jenis spesies yang ditemukan hanya dalam satu tempat. Terumbu karang adalah tempat tinggal bagi sejumlah spesies endemik yang tidak proporsional karena keunggulan ekologi ekosistem ini yang unik. Sebagai contoh yang ditemukan di *Great Barrier Reef* Australia saja diperkirakan minimal 50 porifera endemik (spons), Cnidaria endemik (karang dan anemonies) 10 jenis, lamun endemic 3 jenis, serta krustasea endemik, invertebrata ferrestrial, cacing, serta satu endemik mamalia laut yaitu dugong (*Dugong dugon*).



Gambar 10. Ikan kepe-kepe (Chaetodontidae) pada terumbu karang Pulau Kasiak Pariaman, Sumatera Barat (Foto oleh Thamrin)

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. Dalam arti kata bahwa kehadiran terumbu karang pada suatu perairan ditentukan oleh kehadiran dan kemampuan karang sebagai hewan pembentuk utama terumbu karang pada suatu perairan. Seperti kehadiran berbagai spesies karang yang ditemukan di Perairan Amakusa Jepang umumnya melekat pada bebatuan Roki

yang berada di dasar perairan. Diantara beberapa jenis karang termasuk *Pocillophora damicornis*, *Acropora loripes*, *A. Solitariensis*, *Acropora* sp., *Favia* sp., *Porites* sp., *Alveopora japonica*, *Stylophora pistillata* dan lain-lain. Walaupun kesemua kelompok karang ini termasuk ke dalam jenis karang skeleratinia, namun tidak mampu menghadirkan terumbu karang di dasar perairan tersebut. Makanya tidak selamanya dimana ditemukan hewan karang akan diikuti kehadiran terumbu karang pada suatu perairan, mengingat faktor lingkungan juga ikut memainkan peranan penting dalam pembentukan terumbu.

Hewan karang sebagai salah satu hewan bentos juga menyediakan habitat bagi beragam organisme laut, yakni berupa substrat sebagai tempat menempel baik pada permukaannya maupun yang hidup meliang di dalam skeleton karang. Disamping itu terumbu yang dihasilkan karang merupakan tempat berlindung, tempat memijah bagi berbagai jenis ikan dan organisme laut lainnya, 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 dan 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.

Bab 3

ZOOXANTHELLAE

Karang sebagai penentu kehadiran terumbu karang pada suatu perairan pada dasarnya adalah kelompok Koelenterata yang sangat lemah. Dalam segala segi kehidupannya, seperti untuk hidup, untuk tumbuh, untuk berkembang biak sangat tergantung dengan organisme lain, yang dikenal dengan nama panggilan umum zooxanthellae. Zooxanthellae sendiri adalah dari kelompok mikro-algae. Karang sebagai kelompok hewan dalam kehidupannya bersimbiosis dengan mikro-algae zooxanthellae.

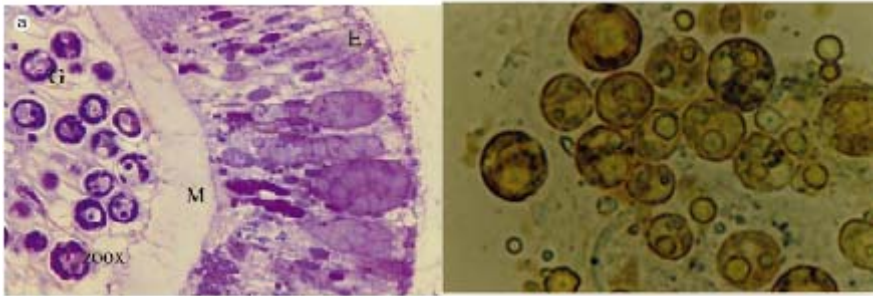
3.1. Klasifikasi dan Kehidupan Zooxanthellae

Zooxanthella (zooxanthellae = jamak) adalah nama panggilan yang digunakan untuk *mikro-algae* yang hidup di dalam jaringan tisu organisme karang (Gambar 11). *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. Klasifikasi zooxanthellae adalah sebagai berikut:

- Filum : Dinoflagellata
- Ordo : Suessiales Fensome et al., 1993
- Family : Symbiodiniaceae Fensome et al., 1993

Genus : *Symbiodinium* Fensome et al., 1993
Spesies : *Symbiodinium* spp

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.



Gambar 11. Zooxanthellae saat di dalam jaringan karang *Acropora millepora* (Cervino et al., 2003) (a), dan (b) close 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*. Pada sebagian kecil spesies karang, zooxanthellae masuk dalam siklus hidup karang pada saat oosit stadium terakhir (oosit telah matang). 2) Pada saat embriogenesis, yang 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 (Thamrin, 2005).

Karang sebagaimana disebutkan pada bagian awal piper ini merupakan salah satu kelompok hewan avertebrata dari 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 awal dikenal sampai pada tahun 1980-an. Dengan perkembangan ilmu pengetahuan akhirnya diketahui bahwa zooxanthellae yang bersimbiosis dengan karang terdiri dari beragam spesies.

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 di dalam tubuh karang berfluktuasi, tergantung pada kualitas lingkungan perairan, dan dalam arti kata 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 pertambahan sel populasi simbiosis zooxanthellae. Hal ini menyatakan secara tidak langsung pertambahan 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 sesuai sejalan dengan fluktuasi parameter lingkungan perairan. 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 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, serta tanpa *chloroplas* (kloroplas).

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 dimanamana (Muller-Parker and D'Elia 1997), dan tidak akan dibahas secara rinci disini. Hubungannya kedua zooxanthellae dan karang 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 karang sebagai inang membutuhkan zooxanthellae dari lingkungan, strain zooxanthellae yang hidup bebas jarang diisolasi (Loeblich and Sherley 1979; Carlos et al. 1999).

Zooxanthellae disamping bersimbiosis dengan hewan 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 sebelumnya. Siklus hidup zooxanthellae di laboratorium telah digambarkan Freudental *dalam* Yonge (1963).

3.2. Perkembangan Ilmu Tentang Zooxanthellae

Selama beberapa dekade simbiosis karang zooxanthellae diyakini terdiri dari satu spesies. Dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, setelah dilakukan penelitian melalui ribosom RNA diketahui bahwa ternyata zooxanthellae yang terdapat pada jaringan karang berasal dari beragam *clade*. Kesalahan ini terkuak mulai tahun 1980-an, dimana Schoenberg and Trench (1980a, 1980b, 1980c), Blank and Trench (1985) menemukan perbedaan morfologi dan enzim di dalam kultur algae dari inang berbeda. Penelitian ini dilanjutkan

menggunakan aplikasi dasar teknik rDNA oleh Rowan and Powers (1991), yang membuahkan hasil dan menerangkan keanekaragaman genetik yang diinformasikan penelitian sebelumnya yang kemudian mengarah pada era baru dalam perkembangan ilmu tentang zooxanthellae. Analisis sub-unit gen rDNA menunjukkan dengan jelas untuk pertama kali bahwa terdapat beragam genetik dalam genus *Symbiodinium*.

Beberapa dekade diasumsikan bahwa karang memiliki satu spesies zooxanthellae. Perintis penelitiannya adalah Trench dan Rowan yang menunjukkan diversitas genetik zooxanthellae berlimpah, tetapi asumsi yang hanya satu tipe spesies zooxanthella ditemukan pada banyak spesies karang inang lainnya. Namun demikian kenyataan bahwa dalam jumlah terbatas kelimpahan spesies zooxanthellae, walaupun pada saat tersebut yang diamati tidak di dalam koloni karang, tetapi telah terdeteksi sebelumnya oleh Schoenberg and Trench (1980c).

Secara ekologi dan fisiologi, zooxanthellae telah lama difahami, akan tetapi semenjak beberapa tahun belakangan ini telah diketahui dan diakui bahwa zooxanthellae yang hidup berasosiasi baik dengan karang maupun hewan lain bukan merupakan jenis tunggal (Trench 1997; Rowan 1998). Selama beberapa tahun diasumsikan bahwa spesies mikro-algae, *Symbiodinium microadriaticum* berasosiasi tidak hanya dengan karang pembentuk terumbu, akan tetapi juga dengan giant clams dan avertebrata lainnya. Akan tetapi dengan pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan akhirnya keadaan ini mulai berubah. Kerja keras beberapa saintis berhubungan dengan zooxanthellae, seperti Schoenberg and Trench (1980a, 1980b, 1980c); Blank and Trench (1985), akhirnya membuahkan hasil bahwa zooxanthellae yang dikultur bisa diketahui karang yang menjadi inang melalui pengamatan perbedaan morfologi enzim. Perkembangan penelitian bidang ini dilanjutkan Rowan and Powers (1991) dengan menggunakan pengamatan DNA, yang melahirkan era baru tentang perkembangan ilmu di bidang zooxanthellae. Keadaan ini diikuti oleh aplikasi teknik berdasarkan rDNA yang menerangkan kelimpahan genetik yang dianjurkan oleh peneliti sebelumnya.

Kemudian Rowan et al., (1997) melaporkan bahwa dinoflagellata genus *Symbiodinium* yang hidup di dalam tubuh karang terdiri dari *clade A*, *B* dan *clade C* setelah diuji melalui ribosomal RNA (rRNA). 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 *clade C* ditemukan pada perairan lebih dalam dimana cahaya matahari lebih rendah. Gabungan *clade 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.

Zooxanthellae yang bersimbiosis dengan karang terdiri dari banyak taxa (Rowan and Knowlton 1995, Baker et al. 1997, Goulet and Coffroth 1997; Rowan et al. 1997, Baker 1999, Carlos et al. 2000; Darius et al. 2000; Toller et al. 2001b, LaJeunesse 2002). Spesies karang tersebut diperkirakan menjadi inang pada complimen berbeda pada rentang geografi tertentu (van Oppen et al. 2001, Loh et al. 2001, Rodriguez-Lanetty et al. 2001), atau memiliki pasangan algae yang sama, akan tetapi pada rasio berbeda. Kelimpahan ini selalu berdistribusi melebihi prediksi parameter lingkungan, terutama tentang cahaya. Rowan (1998) menyarankan bahwa “polymorphic simbiosis mungkin sebuah ciri-ciri umum dari biologi holobion”.

Analisis melalui sub-unit gen-gen rDNA menunjukkan dengan jelas untuk pertama kali bahwa ditemukan beragam genetik berbeda di dalam genus *Symbiodinium*. Kelompok-kelompok besar dibedakan secara khusus diperkirakan sebagai bahan yang membedakan kelompok pada tingkat famili atau tingkat ordo dalam kelompok dinoflagellata yang hidup bebas. Untuk zooxanthellae yang memiliki hubungan erat dengan inang, selalu memiliki jarak hubungan dengan zooxanthellae, dan menunjukkan fleksibilitas evolusi simbiosis dengan inang sepanjang hidupnya.

Penelitian-penelitian tentang taxonomi zooxanthellae pada awalnya terfokus pada dokumentasi percabangan utama *Symbiodinium* tree, termasuk sejumlah keturunan berhubungan dengan organisme lain, seperti poraminifera, spon, dan kerang tridakna (Rowan 1998; Wilcox 1998; Carlos et al. 1999; Pochon et al. 2001). Analisis filogenetik ini memperkirakan bahwa semua *Symbiodinium* berasal dari keturunan yang sama, walau beberapa garis keturunan kemungkinan berikutnya hilang kebiasaan tingkah lakunya dalam bersimbiosis dengan organisme lain (Wilcox 1998; LaJeunesse 2002). Karena clade-clade ini juga memiliki variasi genetik dan ditemukan pada beragam habitat dan beragam susunan. Disamping itu juga sangat memungkinkan bahwa secara taksonomi dan secara ekologi memiliki banyak variasi yang signifikan di dalam setiap *clade*.

Pada tahun 2001 diuraikan Pochon et al., bahwa secara umum terdapat empat tipe *Symbiodinium* pada hewan karang, yaitu *clade A*, *B*, *C*, and *D*. Akan tetapi pada tahun yang sama saintis lain membedakan spesies *Symbiodinium* menjadi lima (5) *clade*, dimana *clade D* dibedakan lagi menjadi tipe *D* dan *E* oleh Toller et al. (2001a, 2001b) dan Brown et al. (2002). Sebagaimana yang telah diuraikan sebelumnya bahwa zooxanthellae tidak hanya bersimbiosis dengan karang hermatypic, akan tetapi juga dengan hewan lainnya di terumbu karang. Seperti dilaporkan Rodriguez-Lanetty et al. (2000) telah melaporkan sebelumnya bahwa zooxanthellae pada karang dapat dibagi menjadi 6 *clade*, dan yang sedikit membedakan adalah zooxanthellae *clade F*, yang tidak hanya ditemukan pada karang *Alveopora japonica* di Perairan Korea, tetapi juga ditemukan pada Foraminifera.

Kesulitan yang ditemukan adalah dalam membedakan diantara variasi genome pada sampel lapangan pada level taxa dari sebuah *clade*. Namun pada akhir-akhir ini sudah dapat diatasi dengan teknik terbaru, seperti dengan denaturing gradient gel electrophoresis dan microsatellites (Baker 1999, 2001; LaJeunesse 2001, 2002; Santos et al. 2001, 2002; Santos and Coffroth 2003) dalam mengidentifikasi zooxanthellae.

3.3. Sifat-sifat Zooxanthellae

Pada *Montastrea annularis*, pada sisi menuju ujung koloni menghasilkan sebuah pola baru zonasi zooxanthellae yang menggambarkan orientasi baru, dan menunjukkan bahwa zonasi adalah dinamika yang terpelihara (Rowan et al. 1997). Penelitian fisiologi juga menemukan bahwa hanya *clade A* yang mampu memproduksi asam amino microsporine (Banaszak et al. 2000), yang dipercaya berguna dan mencegah kerusakan akibat sinar ultraviolet. Produksi bahan kimia ini meningkat kemampuan kompetitif *clade A* pada lingkungan intensita cahaya tinggi dan berlawanan kemungkinan dengan peningkatan kemampuan kompetitif *clade A* pada lingkungan dimana perlindungan terhadap panjang gelombang ultraviolet tidak dibutuhkan. Kejadian *clade C* di daerah Indo-Pacific dengan rentang kedalaman besar, diharapkan jelas pola zonasi kedalaman diantara tipe di dalam *clade*. Sebenarnya mudah mengidentifikasi tipe toleransi cahaya pada karang-karang inang berbeda tipe zooxanthellae pada kedalaman berbeda. Buktinya ditemukan pada 9 spesies *Acropora* di Indo-Pasifik. Baker (1999) dan

van Oppen et al. (2001) menemukan bukti bahwa satu tipe C1 secara konsisten menempati lingkungan dengan cahaya lebih rendah, relatif terhadap tipe kedua, dimana C2 dari van Oppen et al. (2001) atau C4 oleh Baker (1999).

Faktor potensial lain mempengaruhi distribusi clade-clade *Symbiodinium* masih sangat terbatas diamati. Beberapa penelitian yang telah dilakukan menemukan bahwa *clade B* diperkirakan agak tahan terhadap temperatur dingin. Satu-satunya karang scleractinia di Perairan Pasifik, inang mengandung *clade B* ditemukan hanya pada karang daerah *temperate* Australia (Baker 1999; Rodriguez-Lanetty et al. 2001). Kemiripan, ditemukan pada karang di Perairan Bermuda dan Perairan Karibia, dimana Savage et al. (2002a) menemukan bahwa *clade B* secara relatif lebih umum, dengan rincian 28% di Karibia dan sekitar 67% di Mermuda. Kemudian *clade C* secara relatif kurang umum, dengan perbandingan sekitar 53% di Karibia dan sekitar 22% perairan Bermuda yang lebih dingin. *Clade B* sebagai mana *clade A*, juga ditemukan resisten terhadap stres temperatur tinggi dalam kelompok *M. annularis* (Rowan et al. 1997).

Clade D ditemukan tahan terhadap rentang lebih luas terhadap stres, termasuk temperatur rendah, temperatur tinggi, dan sedimen, di Karibia dan di Pasifik. Pada koloni karang *M. annularis*, *clade* ini ditemukan secara konsisten pada perairan sangat dangkal di Karibia Panama, sementara *clade A* dan *B*, ditemukan pada perairan dalam pada daerah terumbu berbedatan dengan daerah terumbu karang tidak ditemukan lagi (Toller et al. 2001b). *Clade D* juga ditemukan di lingkungan rata-rata terumbu di Thailand yang memiliki banyak sedimen dan diperkirakan mengalami tekanan temperatur (Brown et al. 2002a). Disebabkan *clade D* selalu berhadapan dengan tekanan temperatur diperkirakan hal ini menyebabkan tahan terhadap peningkatan temperatur. Sebagaimana dilaporkan Baker (1999), Glynn et al. (2001) bahwa *clade D* lebih tahan terhadap stres temperatur tinggi pada saat peristiwa bleaching di Pasifik bagian timur.

Penelitian yang berhubungan dengan karakteristik ekologi diantara *clade zooxanthellae* masih sangat terbatas sampai saat ini. Disamping dana yang dibutuhkan untuk penelitian ini termasuk besar, juga kemungkinan manfaat lebih jauh terhadap keberlanjutan terumbu karang sendiri belum jelas. Padahal sumbang di bidang ilmu dasar diperkirakan cukup signifikan. Sebagai contoh *clade C* yang menunjukkan lebih sensitif terhadap temperatur tinggi di Perairan Pasifik bagian timur (Glynn et al., 2001) dan di Perairan Karibia

(Rowan et al., 1997), sebaliknya beberapa *clade C* menunjukkan tahan terhadap bleaching di Perairan Pasifik bagian barat (LaJeunesse et al., 2003). Kondisi ini boleh jadi *clade C* yang sensitif akan digantikan fungsinya oleh *clade* lain yang lain yang lebih tahan terhadap temperatur tinggi. Sehingga karang sebagai inang tetap dapat bertahan untuk melanjutkan keberlanjutannya.

Kehadiran setiap tipe zooxanthellae pada suatu spesies ada yang konsisten menurut zonasi dan ada yang tidak konsisten. Spesies tertentu seperti *Montastrea* memiliki tipe zooxanthella yang konsisten berdasarkan kedalaman berbeda di Karibia. Akan tetapi tidak demikian yang ditemukan pada spesies lainnya, dan menunjukkan pola distribusi berbeda. Untuk melihat sifat-sifat tipe zooxanthellae yang berbeda masih membutuhkan penelitian lebih jauh terutama untuk daerah dan spesies karang yang berbeda.

Komposisi zooxanthellae yang ditemukan di Perairan Pasifik ditemukan berbeda dibandingkan dengan yang ditemukan di Perairan Karibia. Koloni karang yang berada di Perairan Karibia pada umumnya dihuni oleh beragam *clade* atau taxa *Symbiodinium*. Sebaliknya koloni karang yang di Perairan Pasifik dihuni oleh terbatas jumlah *clade* zooxanthellae. Bukan berarti sama sekali tidak ditemukan bahwa pada satu koloni karang mengandung lebih dari satu *clade* zooxanthellae, akan tetapi jumlah ragamnya tidak sebanyak yang ditemukan pada koloni yang ditemukan di Perairan Karibia.

3.4. Zonasi Zooxanthellae

Berhubungan dengan penelitian zonasi zooxanthellae, lebih banyak ditemukan di Karibia di bandingkan dengan di Laut Pasifik, Lautan Hindia maupun Laut Merah. Penelitian yang berhubungan dengan distribusi zooxanthellae berdasarkan zonasinya seperti yang dilakukan di Karibia tersebut, zooxanthellae yang berasosiasi dengan *Montastrea annularis* menunjukkan bukti yang jelas bahwa zooxanthellae memiliki zonasi. Sebagai contoh zooxanthellae *clade A* dan *B* ditemukan pada perairan lebih dangkal yang memiliki cahaya lebih baik, sementara *clade C* ditemukan di perairan lebih dalam (Rowan and Knowlton 1995). Pada habitat dimana *clade D* berlimpah selalu lebih dangkal dari perairan *clade C*, walau telah didokumentasikan dijumpai pada perairan sangat dalam pada daerah peralihan antara terumbu karang dengan daerah sedimen pada kedalaman yang lebih dalam lagi (Toller et al. 2001b). Pada pengamatan lebih luar mengarah

ke tengah laut di Laut Karibia, LaJeunesse (2002) mengungkapkan bahwa *clade A* terbatas pada inang yang mendiami perairan lebih dangkal dari kedalaman 3–4 m.

Coffroth et al. (2001) menemukan bahwa populasi yang menetap sementara pada daerah yang baru ditempati juvenile octocoral di perairan dangkal Laut Karibia memiliki *clade A*, tetapi tidak di perairan lebih dalam. Di Laut Karibia, untuk setiap spesies karang inang ditemukan lebih dari satu tipe zooxanthellae, dan *clade C* ditemukan pada kedalaman lebih dalam dari *clade A* dan *B*, walaupun banyak karang inang perairan dangkal hanya memiliki *clade C*. Di dalam *Montastraea*, pola ini seperti pada skala spasial terbatas pada permukaan beberapa koloni, dimana *clade 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 zooxanthellae *clade 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), namun beberapa diantaranya di Samudera Pasifik bagian barat ditemukan bahwa *clade C* menunjukkan menjadi lebih tahan terhadap bleaching (LaJeunesse et al. 2003).

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

Hubungan antara karang dan zooxanthellae berjalan secara beraturan dan ada yang tidak beraturan. Sampai saat ini ditemukan hanya empat dari mayoritas *clade Symbiodinium* telah diketahui berhubungan secara beraturan dengan karang (Pochon et al. 2001). Sementara *clade D* juga mengacu pada *clade E* oleh Toller et al. (2001a, 2001b) dan Brown et al. (2002a). Sementara zooxanthellae *clade F* tidak hanya ditemukan pada hewan karang, akan tetapi juga ditemukan

pada hewan lain. Seperti yang ditemukan di Perairan Korea, dimana zooxanthellae *clade F* disamping ditemukan pada foraminifera juga ditemukan pada karang *Alveopora japonica* (Rodriguez-Lanetty et al. 2000).

Berbeda dengan yang ditemukan di Perairan Karibia, dimana semua tipe zooxanthellae berlimpah pada berbagai jenis karang (LaJeunesse, 2002). Justru di Perairan Pasifik ditemukan kondisinya sangat berbeda. Kelimpahan zooxanthellae pada karang yang ditemukan di Lautan Pasifik dan di Perairan Karibia tidak sama. Seperti keempat *clade A, B, C* dan *D* ditemukan berlimpah pada karang di Laut Karibia. Seperti LaJeunesse (2002) menemukan 24 tipe berbeda *Symbiodinium* dari 38 species karang scleractinia di Bahama dan Meksiko, dimana empat tipe di dalam *clade A*, lima tpe di dalam *clade B*, empat belas tipe di dalam *clade C*, dan satu tipe di dalam *clade D*.

Bila dibandingkan dengan kelimpahan zooxanthellae yang menempati koloni karang di Perairan Pasifik, dimana hampir seluruh karang berasosiasi apakah dengan *clade C* atau *clade C* dan *D*. Perbedaan lain yang ditemukan pada zooxanthellae yang ditemukan di Lautan Pasifik justru di dalam setiap *clade* zooxanthellae terbagi dari beberapa tipe lagi. Bila diambil dalam rentang daerah lebih sempit seperti di Pasifik bagian timur, Baker (1999) menemukan lima tipe zooxanthellae yang terdapat di dalam *clade C* dan satu tipe di dalam *clade D* berasosiasi dengan 13 spesies karang dari Panama, Galapagos, dan Meksiko. Di Indo-Pasifik, Baker (1999) dan van Oppen et al. (2001) menganalisa jumlah 32 species dari genus *Acropora*, dan ditemukan bahwa terdapat tiga tipe di dalam *clade C* (satu sangat jarang) dan satu tipe di dalam setiap *clade A* dan *D*. Sebagai tambahan lima tipe dari *clade C* dan satu dari *clade D* ditemukan oleh Baker (1999) di dalam surveinya di daerah Indo-Pacific bagian barat lain berjumlah total 55 spesies. LaJeunesse et al. (2003), memakai lebih banyak variasi daerah dari rDNA, dan ditemukan 16 tipe zooxanthellae dari 73 spesies karang scleractinia, dengan rincian 15 tipe dari *clade C* dan satu untuk *clade D*. Symbion *clade C*, empat tipe secara relatif tidak istimewa (unspecialized), setiapnya berasosiasi dengan 6 sampai 42 spesies inang.

Keadaan ini menimbulkan pertanyaan karena kelimpahan *Symbiodinium* berasosiasi dengan karang lebih banyak di Karibia dibandingkan dengan di Indo-Pasifik, dan perbedaannya sangat kontras dibandingkan dengan penelitian organisme lain (LaJeunesse et al. 2003). Dimana karakterisasi kelimpahan zooxanthellae berujung

tetap tidak jelas. Santos dan Coffroth (2003), sebagai contoh mencatat bahwa dua spesies gorgonia ditemukan berasosiasi dengan spesies berbeda zooxanthellae berdasarkan bukti analisa microsatellite. Akan tetapi dengan metode penelitian lain ditemukan zooxanthellae dari dua inang adalah identik atau hampir identik pada locus ITS, yang berjarangan halus taksonomi zooxanthellae saat ini terhenti (LaJeunesse 2001, 2002), dan selanjutnya dia menyarankan bahwa inang tertentu dalam bentuk lain mungkin lebih besar dari perkembangan pengetahuan terkini.

Namun, diperkirakan perbedaan dan kelimpahan *clade* zooxanthellae memiliki hubungan dengan ketahanan spesies karang tertentu terhadap perubahan kondisi lingkungan. Bila zooxanthellae keluar selama proses bleaching yang disebabkan temperatur tinggi dan stres lainnya, produk fotosintesis algae endolitik mungkin memainkan peranan penting dalam peningkatan survival karang sampai jumlah normal zooxanthellae diraih kembali (Fine and Loya 2002).

Pada spesies kelompok *Montastraea annularis* sering memiliki *clade* beragam dalam inang zooxanthellae, bahkan di dalam satu koloni (Rowan and Knowlton 1995). Penelitian berikutnya menunjukkan bahwa beragam *clade* zooxanthellae ditemukan di dalam sebuah jumlah substantial spesies karang, walau tidak mayoritas (Baker 1999, 2001; van Oppen 2001). Lagi pula dalam sejumlah kasus tipe simbiosis beragam ditemukan di dalam satu koloni karang. Penemuan ini terutama menarik evolutionarily karena percampuran simbiosis di dalam satu inang khususnya di dalam individu inang dipercaya di set stadium simbiosis diantara kompetisi dan jadi secara potensial mengancam stabilitas simbiosis mutualisme (Herre et al. 1999; Hoeksema and Kummel 2003; Palmer et al. 2003; Stanton 2003).

Pola asosiasi antara karang dan zooxanthellae telah dipelajari dengan baik pada berbagai jenis karang di Perairan Karibia, dimana kelimpahan dan kesiapan pendeteksian untuk empat *clade* *Symbiodinium* berasosiasi dengan karang telah membuatnya secara relatif mudah untuk bercampur. Pada sebuah hasil penelitian ditemukan tiga spesies *Symbiodinium* terjadi pada kelompok karang *M. annularis*; hubungan antara karang ini dengan semua empat *clade* *Symbiodinium*, dan di dalam satu koloni selalu ditemukan campuran ke empat *clade* zooxanthellae tersebut (Toller et al. 2001b).

Keseluruhan koloni karang lebih dari 40% dari 43 spesies karang scleractinia yang diamati di Karibia berasosiasi dengan lebih dari satu

clade zooxanthellae, dan 25% dari temuan tersebut telah didokumentasikan memiliki beragam *clade* di dalam sebuah koloni (Baker 1999; Diekmann et al. 2002; LaJeunesse 2002). Walaupun ini tidak meniadakan kesignifikan kenyataan bahwa mayoritas karang muncul menjadi inang hanya satu *clade* simbion (Diekmann et al. 2002), dan sama sekali tidak salah bahwa banyak inang pembangun terumbu yang dominan mengandung beragam *clade* zooxanthellae.

Zooxanthellae *clade C* pada karang yang ditemukan di Perairan Pasifik jarang ditemukan berasosiasi dengan satu jenis koloni karang. Baker (1999) dan van Oppen et al. (2001) mengemukakan bahwa sebagian besar inang karang simbion *clade C*, dan spesies atau koloni berasosiasi dengan lebih dari satu *clade* secara komparatif jarang ditemukan di Perairan Pasifik. Seperti di Pasifik bagian timur, empat dari 13 spesies yang diamati hanya ditemukan tambahan *clade D* bersama *clade C*. Pada umumnya setiap pengamatan koloni karang yang mengandung kedua *clade* juga jarang ditemukan. Begitupun dengan di daerah Indo-Pasifik tropis, 38 species genus *Acropora* yang diamati; hanya lima darinya dari inang yang mengandung lebih dari satu *clade*, empat koloni mengandung *clade D* dan satu koloni dengan *clade A*; (Baker 1999; van Oppen et al. 2001). Diantara ke 82 spesies yang lain yang diuji, semua kecuali satu ditempati *clade C*. Satu spesies ditempati hanya oleh *clade D*, sementara tujuh ditempati *clade D* di dalam tambahan terhadap *clade C*. LaJeunesse et al. (2003) mengambil sampel 73 spesies karang scleractinia dan menemukan hasil serupa, dan dari 73 spesies ditemukan hanya tiga spesies ditempati *clade C*.

Ternyata *clade C* mendominasi tipe zooxanthellae yang berasosiasi dengan karang di Perairan Pasifik dan mengandung jumlah paling besar. Jumlah individu koloni yang diamati sebagian besar mengandung *clade C*. Kelimpahan *clade C* zooxanthellae mungkin lebih penting di Perairan Pasifik dibandingkan dengan di Perairan Karibia, walaupun sedikit penelitian yang telah dilakukan. Sementara Both van Oppen et al. (2001) dan Baker (1999) justru membagi *clade C* menjadi beberapa tipe. Begitu juga di Perairan Pasifik bagian timur, empat spesies karang menjadi inang *clade C* dan *clade D*, tambahan satu spesies hanya dengan *clade C*. Namun *Clade C* yang ditemukan tidak terdiri dari satu tipe *clade*, akan tetapi ditempati banyak tipe *clade C* (Baker 1999). Keadaan yang sama juga ditemukan di Pasifik barat tropis, 10 dari 32 spesies genus *Acropora* dan 16 dari 82 spesies karang lain ditempati banyak tipe *clade C* (Baker 1999; van Oppen et al. 2001).

Pada karang non-*Acropora*, kelimpahan *clade* zooxanthellae dalam koloni dilaporkan 12 dari 16 kasus dengan jumlah terbanyak adalah tipe *clade* C. Sangat berbeda sekali bila dibandingkan antara kelimpahan *clade* zooxanthellae yang ada di perairan Karibia dan di Perairan Pasifik. Kelimpahan zooxanthellae pada karang yang berada di Perairan Pasifik jauh lebih sedikit ditemukan dibandingkan dengan yang di Perairan Karibia. Seperti yang dilaporkan LaJeunesse et al. (2003) bahwa hanya 9 dari 73 spesies karang yang diamati yang ditempati lebih dari dua *clade* zooxanthellae, dan hanya dua dari 168 sampel koloni yang diteliti ditempati lebih dari satu tipe *Symbiodinium*.

Kesimpulan, banyak karang di Karibia mampu ditempati lebih dari satu *clade* zooxanthella, dan sebagian besar dari karang-karang ini terjadi demikian di dalam individu koloni. Sementara di Pasifik, persentase spesies dan koloni yang diamati dengan banyak jenis *clade* zooxanthellae lebih sedikit. Kemampuan karang menjadi inang yang memiliki banyak *clade* simbiosis tidak menggambarkan bahwa asosiasi antara karang dan zooxanthellae tidak memilih. Kenyataannya bahkan pada kasus karang kelompok *M. annularis*, karang-karang berasosiasi dengan empat mayoritas *clade*, tetapi hanya sebuah fraksi diversitas di dalam setiap *clade* ini.

Cahaya diperkirakan salah satu faktor yang menciptakan perbedaan jenis *clade* pada karang. Karena zooxanthellae melakukan fotosintesis, zonasi disebabkan cahaya adalah kemungkinan nyata, dan ini merupakan bentuk pertama pembagian niche diantara simbiosis karang menjadi jelas didokumentasikan. Di Karibia zooxanthellae berasosiasi dengan karang *M. annularis* kompleks menunjukkan bukti yang jelas dari zonasi, dengan *clade* A dan B pada perairan lebih dangkal (lebih cerat lit) air dan *clade* C pada air lebih dalam (Rowan and Knowlton 1995). Pada habitat dimana *clade* D berlimpah, selalu berada di daerah lebih dangkal dari *clade* C, walaupun juga ditemukan pada perairan sangat dalam pada daerah peralihan terumbu karang (Toller et al. 2001). Pada survei lebih luas di Karibia, LaJeunesse (2002) menemukan bahwa *clade* A terbatas pada inang karang kurang dari kedalaman antara 3–4 m. Lagi pula, Coffroth et al. (2001) menunjukkan bahwa populasi sementara yang baru menempel, juvenile sebuah octocoral Karibia mengandung *clade* A pada perairan dangkal tetapi tidak pada perairan lebih dalam. Di Karibia, untuk setiap kasus dimana spesies tunggal karang inang lebih dari satu *clade*, dan *clade* C adalah kelompok yang ditemukan lebih dalam dari *clade* A dan B (walau banyak karang inang perairan dangkal hanya mengandung *clade* C).

Pada karang *Montastraea*, pola ini ditemukan pada skala kecil pada permukaan beberapa koloni, dengan *clade C* terbatas pada lingkungan-mikro dimana cahaya lebih rendah walau pada perairan lebih dangkal (Rowan et al. 1997). Pada karang inang lain, seperti pada *Acropora cervicornis*, pola zonasi hanya ditemukan pada koloni, tidak diantara spesies (Baker et al. 1997). Walau pola-pola ini sangat berbeda di dalam *clade* zooxanthellae berhubungan dengan cahaya, hanya sedikit eksperimen dan data fisiologi mendukung interpretasi ini.

Pada tingkat *clade* zooxanthellae, tidak ditemukan bukti apakah inang jenis karang tertentu hanya ditempati oleh *clade* zooxanthellae tertentu pula. Tipe umum *clade C* juga berdistribusi secara luas, dan tidak ditemukan daftar kode antara filogeni dan inangnya (van Oppen et al. 2001; LaJeunesse 2002; LaJeunesse et al. 2003).

Pada setiap kejadian pasti ditemukan yang berlaku umum dan yang berlaku khusus. Sehingga kesamaan dan perbedaan ini juga bagaikan gambaran lain tentang keanekaragaman suatu kejadian. Begitu juga dengan kejadian yang ditemukan pada kehidupan zooxanthellae, ada yang bersifat umum dan khusus. Seperti yang dilaporkan Baker (1999), bahwa *clade B* ternyata memiliki keunikan, yang hanya berasosiasi dengan *Colpophyllia natans* di Bahamas. Dia juga menerangkan sebuah kebiasaan umum *clade C* yang berasosiasi secara unik dengan karang *A. cervicornis* pada kedalaman air lebih dalam di Karibia. *Clade C* juga umum pada *Montastraea cavernosa*, dan beberapa tipe *clade C* berasosiasi secara unik dengan beberapa spesies *Porites* di Karibia dan Pasifik bagian timur, dan sebuah tipe unik juga ditemukan pada *clade D* yang berasosiasi secara umum dengan karang *Diploastrea heliopora* di Australia. Keadaan serupa ditemukan oleh LaJeunesse (2002) dan La-Jeunesse et al. (2003) yang mendokumentasikan tipe *Symbiodinium* dengan distribusi inang yang terbatas. Sebagai contoh di Karibia, 16 dari 24 tipe diyakini oleh LaJeunesse (2002) berdistribusi secara terbatas terhadap apakah singgel spesies atau singgel genus karang. Karena usaha sampling setiap spesies karang umumnya terbatas di dalam penelitian ini, penelitian lebih jauh dibutuhkan untuk menentukan bagaimana banyak dari zooxanthellae benar-benar khusus pada tingkatan spesies inang atau genus inang. Bagaimanapun proposisinya yang berlimpah *Symbiodinium* can dapat dimengerti dengan baik, sebagai jatuh ke dalam dua kelompok, berdistribusi luas dan berdistribusi sempit.

Bab 4

REPRODUKSI KARANG

Reproduksi pada hewan karang dalam usaha mempertahankan keberlangsungan populasinya dapat dibagi menjadi dua, yaitu secara seksual (secara kawin) dan secara asexual (secara tidak kawin). Reproduksi secara seksual didahului dengan proses pertemuan sel telur dan sperma apakah di dalam tubuh atau di luar tubuh induk. Sementara reproduksi secara asexual tanpa didahului pertemuan sel telur dan sperma, sebagaimana diuraikan di bawah ini:

4.1. Reproduksi Secara Seksual

Reproduksi secara seksual adalah pembentukan keturunan suatu organisme yang diawali dengan proses pertemuan antara sel kelamin jantan dan sel kelamin betina. Karang sebagai hewan dalam melakukan reproduksi secara seksual dimulai dengan pertemuan antara sel telur dan sperma, apakah pertemuan kedua sel kelamin terjadi di luar tubuh atau terjadi di dalam tubuh induk. Proses ini akan diikuti dengan zigot, embriogenesis dan kemudian disusul terbentuknya larva, yang pada karang dikenal dengan nama planulae (bentuk tunggalnya planula).

Pada perkembangan ilmu di bidang reproduksi karang dipercaya bahwa organisme ini hanya bereproduksi secara brooding, dan pembuahan dan embriogenesis hanya terjadi di dalam tubuh induk,

yang disusul dengan pelepasan keturunan dalam bentuk larva. Kondisi ini terjadi selama puluhan tahun menjelang akhir abad duapuluh, walaupun dalam periode tersebut banyak spesies karang yang diamati dengan tujuan mendapatkan planulae tidak berhasil. Namun dalam periode tersebut tetap dipaksakan dalam penelitian berhubungan dengan proses planulasi menggunakan penangkapan planulae untuk karang tipe brooding.

Reproduksi yang dilakukan setiap organisme pada dasarnya bertujuan untuk mempertahankan keberlanjutan populasinya di alam. Organisme karang melakukan reproduksi baik secara seksual maupun secara aseksual. Keduanya memiliki kelebihan dan kekurangan sehingga kedua metode tersebut saling melengkapi. Organisme karang masih tergolong hewan primitif dengan alat pencernaan, reproduksi dan lain-lainnya yang masih sangat sederhana. Penelitian tentang reproduksi secara seksual pada karang skleraktinia meningkat dengan pesat selama di penghujung abad dua puluh. Model reproduksi secara brooding dalam reproduksi pada organisme karang telah dibicarakan pada banyak jurnal-jurnal penelitian (Harrison dan Wallace, 1990), dan tipe reproduksi secara brooding pernah menjadi model harapan dalam reproduksi organisme karang. Namun pada akhirnya reproduksi secara brooding yang diperkirakan menjadi model perkembangbiakan karang tersebut berakhir pada penghujung abad ke 20 yang lalu. Ternyata reproduksi sebagian besar karang berlangsung secara ovipar.

Studi tentang perkembangan biakan karang scleractinia pada awalnya berkembang lambat sekali. Penelitian telah dimulai pada tahun 1900-an dengan jumlah penelitian 10 buah yang berhubungan dengan reproduksi karang. Jumlah ini meningkat menjadi 51 spesies pada tahun 1980, dan peningkatan drastis terjadi pada tahun 1986 dimana jumlahnya menjadi 127 spesies. Banyak faktor yang menjadi penyebab peningkatan penelitian reproduksi pada karang, termasuk keterbatasan teknologi diving yang belum berkembang, terbatasnya saintis yang tertarik dengan karang dan terbatasnya dana dan lain-lain.

Banyak penelitian yang tidak berhasil menemukan planula pada berbagai jenis karang yang diamati menjelang pertengahan abad ke dua puluh. Keadaan ini mendorong Connell (1973) mengeluarkan hipotesis bahwa pada sebagian kecil karang diduga bersifat sebagai ovipar dalam bereproduksi. Hipotesa ini kemudian dibuktikan oleh beberapa penelitian berikutnya dimana beberapa spesies karang

mengeluarkan gamet ke dalam kolom air untuk melakukan fertilisasi di luar tubuh induknya (Yamazato et al., 1975; Babcock, 1980; Kojis dan Quinn, 1980).

Keberhasilan besar dalam pembuktian bahwa sebagian besar karang bereproduksi secara spawning dilakukan Harrison et al. (1984) yang melaporkan pertama kali *mass spawning* pada karang yang diamati mereka pada tahun 1980-1981 di Great Barrier Reef Australia. Pada saat tersebut diamati sebanyak 32 spesies karang melakukan *spawning* dalam waktu bersamaan. Kemudian disusul beberapa penelitian yang mempertegas bahwa karang sebagian besar bereproduksi dengan *spawning* (Kojis dan Quinn, 1981, 1982a, b; Szman-Froelich., 1980; Fadlallah, 1981; Bothwell, 1982; Fadlallah dan Pearse, 1982b; Tranter et al., 1982), dan sekarang spawning yang diikuti oleh pembuahan di luar tubuh induk telah terbukti menjadi model yang dominan dalam perkembangan biakan secara seksual pada organisme karang (Harrison dan Wallace, 1990; Richmond dan Hunter, 1990).

Perkembangan sangat pesat penelitian di bidang reproduksi pada organisme karang terjadi di penghujung abad dua puluh, dan berbagai ilmuawan telah mengamati reproduksi pada organisme karang dari berbagai belahan bumi ini dari berbagai aspek, yang meliputi siklus reproduksi, faktor-faktor yang mempengaruhi perkembangan gamet, perbedaan perkembangan gamet antara karang bertipe spawning dan karang bertipe *brooding*, tingkah laku dalam *spawning* atau pelepasan planula sampai genetik dari larva karang yang diproduksi, seperti Stoddart (1983), Glynn et al., (1991), Szman (1991), Yeemin (1991), Oliver dan Babcock (1992), Glynn et al. (1996), Tioho (2000), Thamrin (2001), Soong et al. (2003), dan lain-lain.

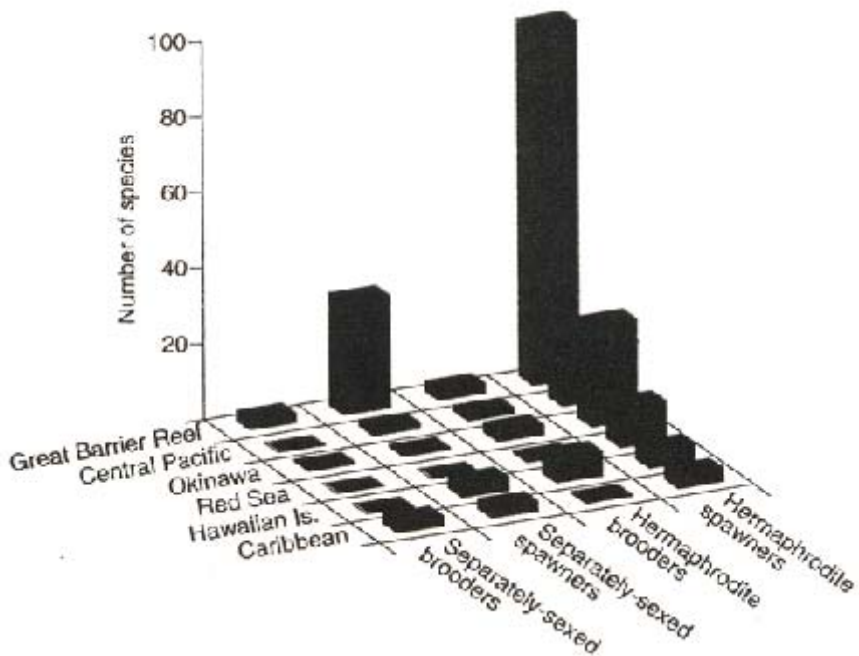
Karang yang melakukan reproduksi secara brooding tidak seluruhnya dilakukan secara seksual, akan tetapi juga ditemui dengan cara aseksual. Hasil ini diperoleh dari analisa secara genetik terhadap planulae karang *Pocillopora damicornis* oleh (Stoddart, 1993), dimana ternyata planulae yang dihasilkannya tidak didahului dengan proses fertilisasi (Stoddart, 1983; Aire et al., 1986). Karena antara induk dan planulae yang dihasilkan karang *Pocillopora damicornis* memiliki genetik yang identik.

Jumlah model atau cara reproduksi hewan karang tergolong sedikit bila dibandingkan dengan hewan tingkat rendah lainnya melalui proses perkawinan (dengan cara seksual). Dalam jumlah terbatas spesies karang melakukan reproduksi secara brooding dan sebagian besar dengan cara pembuahan di luar tubuh induk yang

disusul fertilisasi di dalam kolom air (*spawning*). Sementara banyak dari kelompok kerabat karang yang lain seperti dari kelompok *Actinia* memiliki cara reproduksi secara seksual paling sedikit dengan enam cara (Chia, 1976).

Perkembangan gamet karang ditemukan dalam dua kelompok, yaitu sebagian besar bersifat hermaprodit dan sebagian kecil bersifat gonochoric (gonokorik). Baik yang bersifat hermaprodit maupun yang bersifat gonokorik, kedua tipe ini sebagian besar melakukan fertilisasi dan embriogenesis di dalam kolom air atau di luar tubuh induk (*spawning*), dan sebaliknya sebagian kecil melakukan fertilisasi dan embriogenesis di dalam tubuh induk (*brooding*). Jadi dapat disimpulkan hewan karang baik yang bersifat hermaprodit maupun yang gonokorik dijumpai melakukan fertilisasi disusul embriogenesis di dalam tubuh, dan ada juga yang melakukan *spawning* yang disusul fertilisasi dan embriogenesis di dalam kolom air.

Tipe perkembangan gamet dan tempat terjadinya fertilisasi dan embriogenesis tidak konsisten pada hewan karang, dan hal ini dipengaruhi lingkungan dan letak lintang di bumi di mana karang ditemukan. Seperti karang antara di *Great Barrier Reef* dan di Pertengahan Lautan Pasifik, di *Great Barrier Reef* ditemukan tipe perkembangan gamet yang terbanyak ditemukan bertipe hermaprodit dengan *spawning* dan terbanyak yang kedua bersifat gonokorik dengan *spawning*. Akan tetapi di Pertengahan Lautan Pasifik yang terbanyak bersifat hermaprodit dengan *spawning* dan tipe yang lainnya memiliki jumlah hampir sama. Keadaan ini berbeda lagi bila dibandingkan dengan yang dijumpai di Kepulauan Hawaii, dimana jenis karang terbanyak bersifat hermaprodit dengan *spawning*, tetapi jumlah spesies yang terbanyak yang kedua justru ditemukan pada tipe hermaprodit dengan *brooding*. Namun secara umum yang terbesar jenis karang memiliki perkembangan gamet secara hermaprodit dengan fertilisasi/pembuahan serta embriogenesis terjadi di dalam kolom air atau dengan *spawning* (Gambar 12).



dereproduksi pada enam daeran penting terumbu karang dunia (Veron, 2000).

Dari gambar di atas diperoleh walaupun terumbu karang merupakan ekosistem daerah tropis yang mengkondisikan Indonesia secara geografis merupakan sentralnya di dunia, namun dari gambar di atas menunjukkan bahwa penelitian berhubungan dengan reproduksi karang belum pernah atau sangat minim dilakukan. Penelitian yang berhubungan dengan reproduksi karang yang terbanyak justru ditemukan di Geat Barrier Reef, diikuti Okinawa Jepang dan di Central Pasifik. Sementara Indonesia, Papua Nyugini dan Pilipina yang merupakan tree anggle pertumbuhan terumbu karang memiliki jumlah penelitian tentang reproduksi sangat terbatas.

Disamping itu gambar 10 juga menunjukkan bahwa sebagian besar karang memiliki sifat hermaprodit secara spawning, dan yang terbesar dijumpai di Great Barrier Reef Australias. Sebaliknya sebagian kecil karang memiliki sifat gonokorik secara brooding yang ditemukan pada hampir keempat lokasi penelitian, Great Barrier Reef, Central Pasifik, Okinawa Jepang, Laut Merah, Kpulauan Hawaii dan Karibia. Sementara urutan kedua ditempati hewan karang bersifat hermaprodit

dengan pembuahan secara spawning dan yang paling rendah adalah memiliki sifat gonokorik dengan brooding.

Pada organisme perairan lain selain karang juga ditemukan hermaprodit secara protandri dan hermaprodit protagini. Hewan karang kemungkinan ada yang memiliki sifat kedua hermaprodit tersebut, namun dalam membuktikannya sangat sulit dilakukan. Sehingga penekanan penelitian reproduksi pada karang lebih banyak diarahkan pada hermaprodit secara simulatan, apakah dalam tingkat individu ataupun dalam tingkat koloni.

4.2. Perkembangan gamet karang

Gametogenesis atau perkembangan gamet karang terjadi di dalam jaringan mesentery, tepatnya di dalam jaringan endodermis yang juga selalu disebut lapisan gastrodermis mesentery. Oosit dan testis pada umumnya karang berkembang di dalam mesentery yang dibungkus lapisan mesoglea dan endodermis mesentery. Namun beberapa jenis karang juga ditemukan gamet berkembang pada tangkai dan melekat pada mesentery. Tetapi tetap berasal dari mesentery ditutupi mesoglea endodermis mesentery, seperti yang dijumpai pada karang *Acropora* (*Isopora*), *Pocillopora damicornis*, *P. verrucosa*, *Seriatopora caliendrum* dan *Stylophora pistillata* (Rinkevich dan Loya, 1979^a; Harriott, 1983b; Kojis, 1984; 1986^a; Muir, 1984; Shlesinger dan Loya, 1985; Stoddart dan Black, 1985 dan Martin-Chaves, 1986).

Perkembangan gamet dimulai dari perpindahan sel primordial germ ke dalam lapisan mesoglea endodermis mesentery. Pada awal kemunculan testis di dalam mesoglea terlihat seperti lapisan tipis yang buram, dan berkembang selama spermatogenesis mengandung sack atau locus dimana antara satu dengan lainnya dipisahkan oleh lapisan tipis mesoglea. Sementara susunan perkembangan gamet betina karang tidak sama diantara spesies yang berbeda. Ovari adakalanya ditemukan berkembang dalam bentuk susunan oosit yang menyerupai bentuk rangkaian buah anggur atau tersusun menjuntai dari atas ke bawah sepanjang mesentery (Gambar 13).

Sebagai hewan tingkat rendah, karang tidak memiliki ciri-ciri jenis kelamin sekunder, dan tidak dapat dibedakan dari bentuk morfologi luar atau warna polip atau koloni. Untuk membedakan jenis kelamin pada karang satu-satunya adalah lansung tertuju pada gametnya sendiri (Harrison and Wallace, 1990). Sperma yang diproduksi setiap jenis karang pada umumnya memiliki bentuk tidak

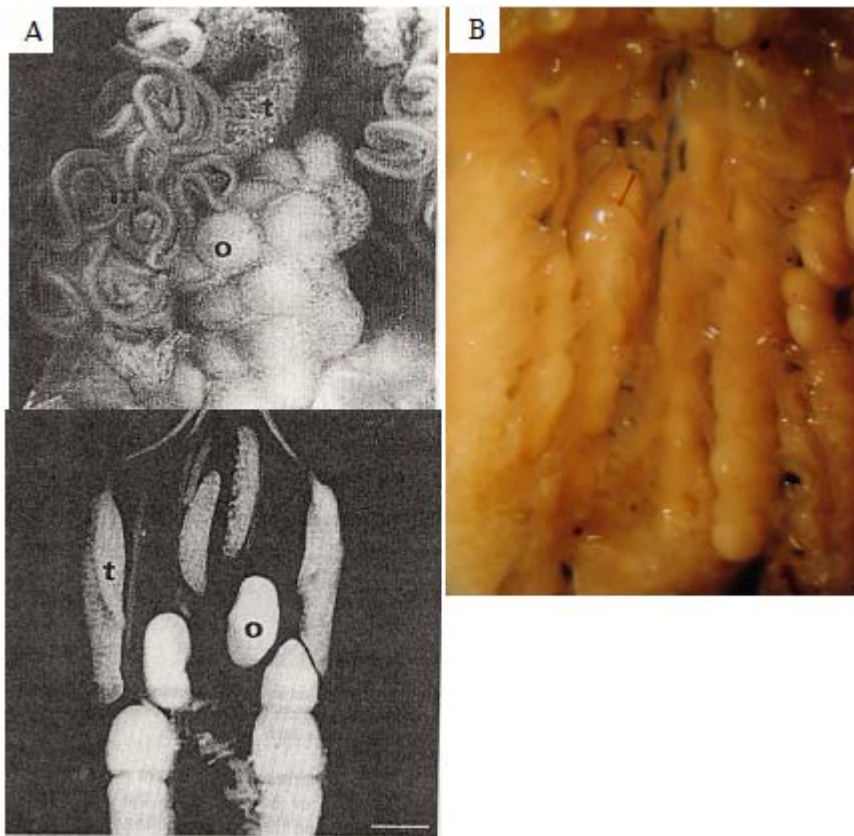
sama. Karena pada karang dalam genus yang sama sekalipun ditemukan memiliki bentuk sperma yang berbeda. Seperti pada karang *Acropora*, perbedaan antara sperma jenis karang satu dengan yang lain ditemukan pada bentuk *nucleus*, jumlah *pro-acrosomal vesicle*, bentuk *shoulder region*, *mid-piece* dan jumlah serta susunan lamella. Beberapa bentuk sperma dari karang *Acropora* untuk pertama kali diamati bisa dilihat seperti pada Gambar 13.

4.2.1. Perkembangan Gamet Betina

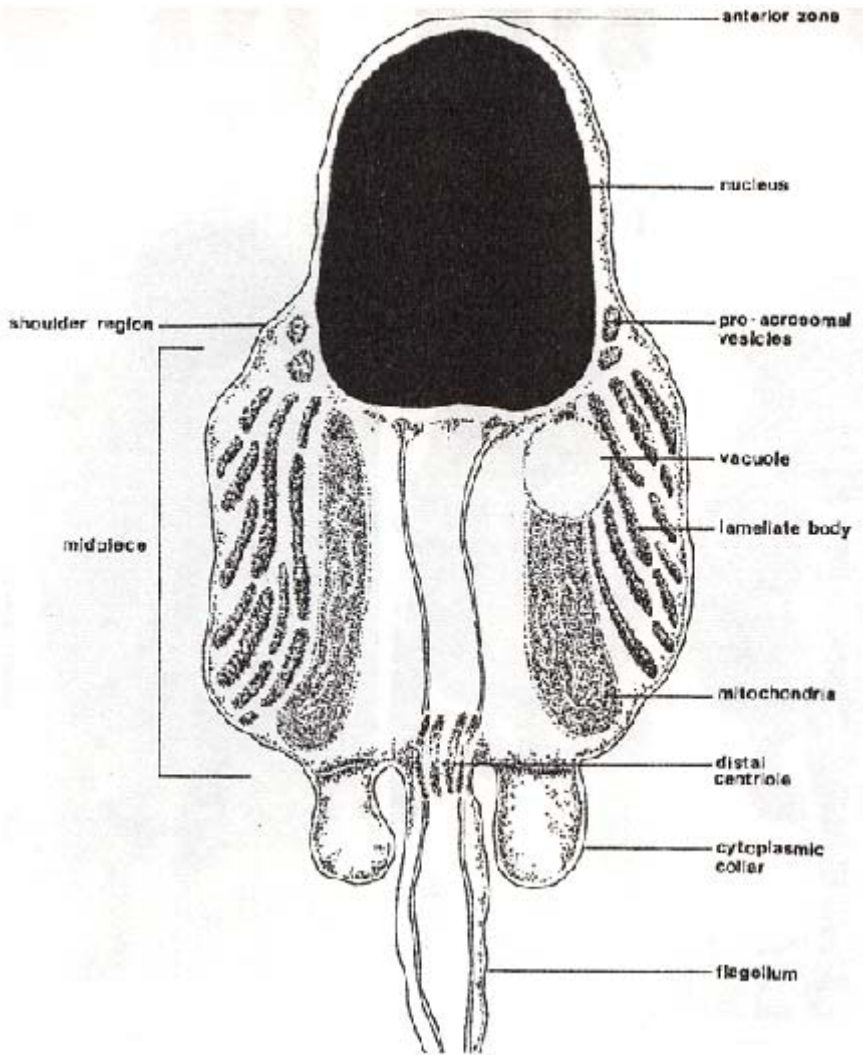
Untuk gamet betina, karang juga memproduksi telur yang mirip dengan hewan tingkat tinggi. Warna telur karang tidak sama, tergantung spesies karangnya. Pada umumnya berwarna merah muda atau merah. Disamping itu juga ditemukan berwarna kuning, jingga tua, ungu, hijau atau berwarna lembayung (Babcock et al., 1986). Perbedaan warna oosit disebabkan pigmen yang berada di dalam telur karang. Bentuk oosit karang memiliki kemiripan antara bertipe *spawning* dan tipe *brooding*. Sebagai contoh bentuk telur karang bertipe *spawning* yang telah dikeluarkan dari tubuh induknya dapat dilihat pada Gambar 14. Oosit pada karang memiliki ukuran diameter paling kecil ditemukan pada spesies *Porites astreoides* (Szmant, 1986) dengan ukuran diameter rata-rata 40 μm dan yang paling besar ditemukan pada spesies karang *Flabellum rubrum* dengan ukuran 1500 x 1000 μm (Gardiner, 1902a).

Pengelompokkan oogenesis pada karang dapat diklasifikasikan berdasarkan histologinya antara 3 sampai 5 stadium. Tetapi pada umumnya membagi menjadi 4 Stadium. Begitu juga dengan spermatogenesis juga diklasifikasikan umumnya menjadi 4, tetapi memiliki kisaran antara 3 sampai 5 stadium berdasarkan karakteristik histologinya.

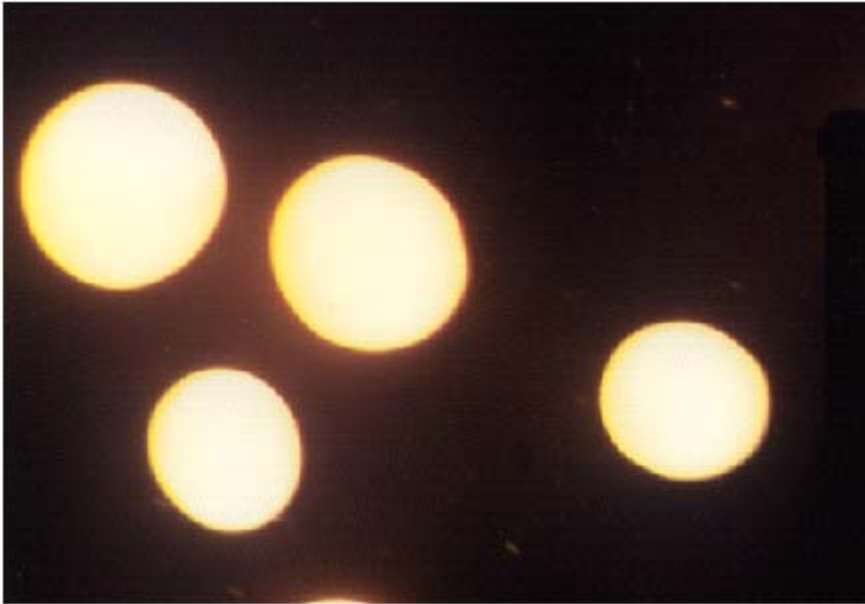
Gametogenesis karang yang diklasifikasikan menjadi 4 stadium baik oogenesis maupun spermatogenesis seperti pada spesies *Pavona gigantea* dan *Gardineroseris planulata* oleh



Gambar 13. Testis dan oosit dalam polip karang. A). Oosit dan testis diamati langsung pada polyp karang hidup *Symphyllia recta* yang dipecahkan skeletonnya; Bar = 400 um. B). Oosit pada karang C). Oosit dan testis *Acropora formosa* diamati dari hasil pengamatan histologi melalui pembuatan preparat; Bar = 800 um; O = oosit; t = testis. (A dan C oleh Wallace 2000; C. Foto oleh Thamrin)



Gambar 14. Bentuk dan bagian-bagian organ sperma karang secara umum (Wallace, 2000).



Gambar 15. Oosit (telur) karang *Galaxea fascicularis* yang baru keluar dari dalam tubuh polipnya (Foto oleh S. Nojima)

Glynn et al. (1996). Untuk oogenesis ke-empat stadium tersebut memiliki ciri-ciri histologi sebagai berikut:

1. Stadium I. Stadium memiliki diameter 5 sampai 14 μm . Stadium terletak di luar mesoglea, dan pada saat ini diperkirakan terjadi peleburan diantara oosit. Bentuk oval sampai oblong, dan adakalanya fusiform atau berbentuk tidak beraturan. Cytoplasma telur *P. Gigantea* selalu berwarna biru muda sampai berwarna abu-abu, dengan nukleus berwarna merah muda. Sementara *Gardinoseris planulata* oosit setelah distaining berwarna ungu gelap, merah ungu terang atau merah jambu. Nukleus memiliki warna yang sama dengan cytoplasma. Nukleus berwarna jelas pada kedua spesies.
2. Stadium II. Stadium II berbentuk oval dan agak lebih besar, dengan kisaran sampai ukuran diameter 35 μm , dan untuk *Pavona gigantea* memiliki diameter antara 10-30 μm , dan antara 22-35 μm untuk *Gardinoseris planulata*. Warna telur *P. gigantea* abu-abu atau merah muda dengan warna nukleus berwarna jambu muda. Sebagian besar *G. planulata* Stadium II berwarna coklat, antara

abu-abu dan coklat. Nukleus kedua spesies menerima granular yang tidak kentara, namun selalu kurang berwarna, akan tetapi adakalanya abu-abu kebiru-biruan atau berwarna lembayung muda.

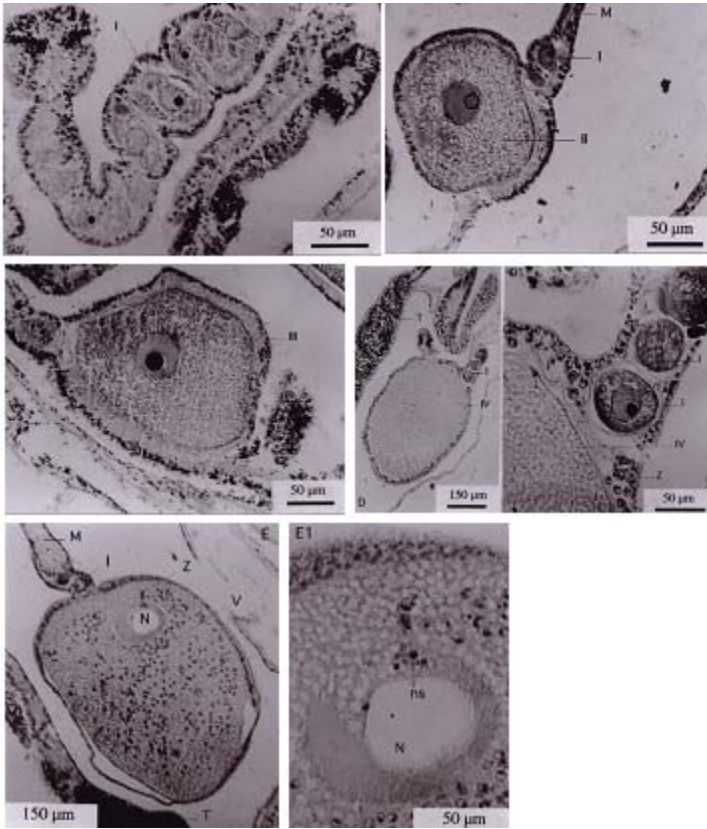
3. Stadium III. Stadium ini memiliki ukuran diameter berkisar antara 30 sampai 110 μm , dimana *Pavona gigantea* memiliki ukuran antara 30-100 μm dan *Gardineroseris planulata* memiliki ukuran berkisar antara 35-110 μm . Warna oosit *P. Gigantea* selalu berwarna abu-abu sampai berwarna anggur, dengan nukleus berwarna merah muda yang melebar. *G. Planulata* juga bisa berwarna abu kebiru-biruan atau berwarna abu-abu, akan tetapi selalu berwarna lebih berwarna jingga tua sebagaimana vitellogenesis dalam perkembangan. Peningkatan ukuran nukleus berwarna antara abu-abu dan coklat, abu-abu muda, atau tanpa warna. Kuning telur karang kelompok karang Agaricidae distaining agak pucat dan agak kasar, kesat atau granular. Pada saat akhir Stadium III, posisi nukleus mulai bergerak dari pertengahan ke arah tepi telur. Nukleus selalu bergerak ke arah satu arah.
4. Stadium IV. Oosit berubah menjadi Stadium IV setelah nukleus mencapai tepi oosit. Nukleus biasanya lebih berbentuk segitiga atau berbentuk kubah pada saat tersebut. Ketika Stadium oosit terus berkembang, kemudian nukleus menjadi tidak lebih beraturan, dan berada berdekatan dengan tepi kuning telur. Warna berubah selalu mengikuti masa transisi. Nukleus menjadi lebih gelap sampai berwarna anggur atau berwarna magenta, dan kemudian menjadi lebih tajam lembayung muda gelap atau merah anggur. Pada akhir Stadium IV, adakalanya muncul nukleus berbentuk sabit. Neklouli jarang ditemukan. Ukuran oosit Stadium IV memiliki kisaran antara 50 sampai 200 μm , dimana untuk *Pavona gigantea* antara 54 sampai 216 μm dan untuk *Gardineroseris planulata* memiliki kisaran diameter antara 62 sampai 144 μm . Walau telur *P. gigantea* selalu memiliki warna seperti anggur, Stadium IV oosit kedua spesies adakalanya memiliki warna dari berwarna merah jambu sampai berwarna jingga tua cerah.

Kehadiran kelompok gamet pada tempat terjadinya gametogesis karang dapat dikelompokkan menjadi dua sifat, yaitu bersifat gonochoric (gonokorik) dan bersifat hermaphrodit. Gonokorik adalah karang baik dalam tingkat individu (polip atau koloni) hanya mampu memproduksi salah satu jenis alat reproduksi, atau ovum atau testis berkembang pada individu atau koloni berbeda. Jadi individunya

memiliki jenis kelamin jantan dan betina. Sementara hermaphrodit adalah bila karang baik tingkat individu (polip atau koloni) mampu memproduksi kedua jenis kelamin jantan dan betina selama hidupnya. Jadi ada karang jantan dan karang betina. Berdasarkan tempat terjadinya fertilisasi dan embriogenesis, maka baik yang bertipe hermaphrodit maupun yang gonokorik dapat dikelompokkan lagi menjadi dua, yaitu: 1) fertilisasi dan embriogenesis terjadi di dalam tubuh induk yang disebut juga dengan karang tipe brooding, dan 2) fertilisasi dan embriogenesis terjadi di dalam kolom air yang disebut juga dengan karang tipe spawning.

Sebagian besar karang bersifat hermaphrodit dan sebaliknya hanya sebagian kecil bersifat gonokorik (Gambar 16). Jenis-jenis karang yang memproduksi testis dan oosit oleh individu/koloni berbeda dijumpai pada genus *Porites* dan *Galaxea*. Untuk membuktikan kedua kelompok ini memang termasuk ke dalam kategori gonokorik telah dilakukan pengambilan sampel secara berulang-ulang pada spesies *Porites cylindrica*, *P. lobata* dan *P. lutea* oleh Kojis dan Quinn (1982a). Sementara untuk membuktikan kelompok *Porites* termasuk kelompok gonokorik ini juga telah dibuktikan melalui prosedur yang sama oleh Harriott (1983a) pada spesies *P. australiensis* dan *P. lutea*.

Faktor utama yang mengontrol perkembangan gamet karang scleractinia adalah fluktuasi temperatur perairan. Pengaruh parameter ini telah dibuktikan oleh beberapa peneliti (Fadlallah, 1983; Harriott, 1983b; Harrison *et al.*, 1984; Kojis, 1986; Szmant, 1986; Heyward *et al.*, 1987; Richmond and Hunter, 1990). Sebagai contoh pada karang *Alveopora japonica* di Amakusa Jepang juga yang ditemukan keadaan yang sama. Perubahan ukuran gamet mulai merangkak naik sejalan dengan



Gambar 16. Oogenesis karang karang bertipe *brooding Alveopora japonica*. A, Oosit stadium I pada salah satu mesentery; B, Oosit Stadium I dan II oosit; C, Oosit Stadium I dan III; D, oosit Stadium I dan IV; dan E, Oosit Stadium I dan V. N, nukleus dan ns, tiga nukleus berubah ukuran menjadi kecil. Stadium V terlihat dipenuhi oleh zooxanthellae (Thamrin, 2001).

peningkatan temperatur air laut. Perkembangan gamet paling cepat terjadi antara bulan Juni sampai bulan Agustus 1998 dan 1999 ketika temperatur air laut telah berada di atas 20°C bergerak menuju titik maksimum (29°C). Sementara karang *A. japonica* memiliki siklus yang berbeda antara koloni yang ditemukan di Teluk Tokyo Jepang (Harii, 1995), dan yang ditemukan di Amakusa pada negara yang sama (Thamrin, 2001). Namun waktu pengeluaran planulae terjadi dalam bulan yang sama, yakni pada musim semi dalam bulan September setiap tahunnya.

4.2.2. Perkembangan Gamet Jantan (spermatogenesis) karang tipe brooding

Testis berkembang di dalam mesoglea mesentery (mesenteri). Perkembangan testis pada spesies bertipe hermaphrodit secara simultan ada yang berkembang pada mesenteri terpisah dan ada yang berkembang pada mesenteri yang sama di dalam sebuah polyp. Perkembangan testis akan membentuk sperma yang tersusun secara radial, dengan kepala berada pada bagian tepi dan ekor berada pada lumen. Secara umum sperma tidak jauh berbeda diantara jenis karang berbeda, baik dari kelompok gonokorik maupun dari kelompok hermaphrodit. Pada dasarnya sperma dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian anterior, bagian tengah (*midplace*) dan bagian flagella. Pembagian lebih rinci tubuh sperma dapat dilihat pada Gambar 14 sebelumnya.

Spermatogenesis memiliki siklus yang jelas dan lebih simpel, dan selalu memiliki periode siklus yang lebih pendek dibandingkan oogenesis. Pada karang *A. japonica* memiliki satu siklus perkembangan testis dalam setahun. Testis mulai muncul bulan Februari ketika oosit mengalami perkembangan mencapai Stadium II, sekitar 4 bulan setelah planulasi sebelumnya. Sementara pada karang *Pocillophora damicornis*, testis muncul ketika oosit mencapai Stadium IV (Stoddart and Black, 1985). Spermatisit membentuk beberapa spermatid di dalam mesenteri. Pada karang *A. japonica*, testis mulai terdeteksi menggunakan pengamatan histologi pada bulan Februari, dan berkembang dengan cepat menjelang bulan Agustus ketika temperatur air laut mencapai maksimum (29°C) sebagai mana yang terjadi pada siklus perkembangan oosit. Testis matang pada bulan Agustus dan menghilang pada penghujung bulan yang sama yang diikuti munculnya planula.

Contoh yang lain bisa ditemukan pada spermatogenesis pada karang hermaphrodit *Stylophora pystillata* yang ditemukan di Laut Merah lebih lambat 3 bulan munculnya dibandingkan oogenesis. Oogenesis mulai muncul pada bulan Juli, sementara testis muncul tiga bulan kemudian, yaitu pada bulan Oktober setiap tahunnya (Rinkevich dan Loya, 1979). Kemudian diikuti planulasi (pelepasan planulae) selama delapan bulan dari bulan Desember sampai bulan Juli. Sedangkan *Acropora cuneata* yang memiliki dua siklus gametogenesis di Kepulauan Heron Great Barrier Reef muncul pada bulan Februari atau Maret dan matang pada bulan Agustus bersamaan dengan matangnya oosit. Akan tetapi oosit mulai muncul satu bulan lebih dulu dari

spermatogenesis. Sementara pada karang *Alveopora japonica*, perkembangan gamet jantan dibagi Thamrin (2001) menjadi 4 Stadium sebagai berikut:

Pembagian Stadium testis karang *Alveopora japonica* di Amakusa Jepang sebagai berikut:

1. Stadium I dicirikan dengan kemunculan kelompok sel memiliki diameter dari 3 atau 5 sampai 8. Pada umumnya kelompok sel ini terdapat di luar lapisan mesoglea, dengan rata-rata kelompok memiliki diameter antara 10 sampai 15 μm . Setelah distaining memiliki warna biru atau abu-abu. Beberapa hari sebelum pembentukan spermary, sel interstisial dipersiapkan membentuk Stadium I testis selalu membentang lurus sepanjang mesoglea mesentery. Spermatosit primordial memiliki ukuran sampai 1,5 kali lebih besar dari sel endodermis interstitial yang lain.
2. Stadium II. Menjelang Stadium II spermary bergerak menuju lapisan mesoglea. Stadium II memiliki kisaran ukuran diameter antara 15 sampai 30 μm yang dilapisi lapisan mesoglea. Ukuran sel memiliki ukuran sel yang sama sebagaimana ditemukan pada stadium I.
3. Stadium III. Jumlah sel meningkat dengan tajam pada Stadium III, dan pada kedua spesies memiliki diameter antara 30 sampai 130 μm . Setelah distaining memiliki warna merah keungu-unguan atau merah coklat keabu-abuan sampai ungu kehitam-hitaman. Pada umumnya, sebuah lumen terdapat pada bagian tengah. Pada awal Stadium III spermary pada spesies *Gardineroseris planulata* berwarna jingga tua sampai berwarna merah.
4. Stadium IV. Penurunan ukuran spermatosit sampai sekitar 50 % dan peningkatan jumlah sel menandakan awal Stadium IV. Pembelahan sel dimulai pada bagian tengah di dalam mesentery dan berkembang pada bagian tepi. Walau tidak ada perubahan warna pada Stadium IV, tetapi selalu berwarna buah arbei gelap, merah coklat keabu-abuan sampai ungu kehitam-hitaman, atau merah muda. Pada penghujung Stadium IV spermary memiliki warna antara abu-abu dan berwarna coklat, kuning, atau memiliki ekor spermatozoa berwarna merah muda yang tersusun secara seragam. Spermary yang matang memiliki ukuran diameter sekitar antara 120 μm sampai 180 μm untuk *Pavona gigantean*, dan sekitar 50 μm sampai 112 μm untuk *Gardineroseris planulata*. Transisi antara Stadium III dan IV juga dimasukkan ke dalam Stadium IV. Neklouli jarang ditemukan. Ukuran oosit Stadium IV memiliki kisaran antara 50 μm sampai 200 μm , dimana untuk

Pavona gigantea antara 54 sampai 216 μm dan untuk *Gardineroseris planulata* memiliki ukuran diameter antara 62 μm sampai 144 μm . Walau telur *P. gigantea* selalu memiliki warna anggur, Stadium IV oosit kedua spesies adakalanya memiliki warna dari berwarna merah jambu sampai berwarna jingga tua cerah.

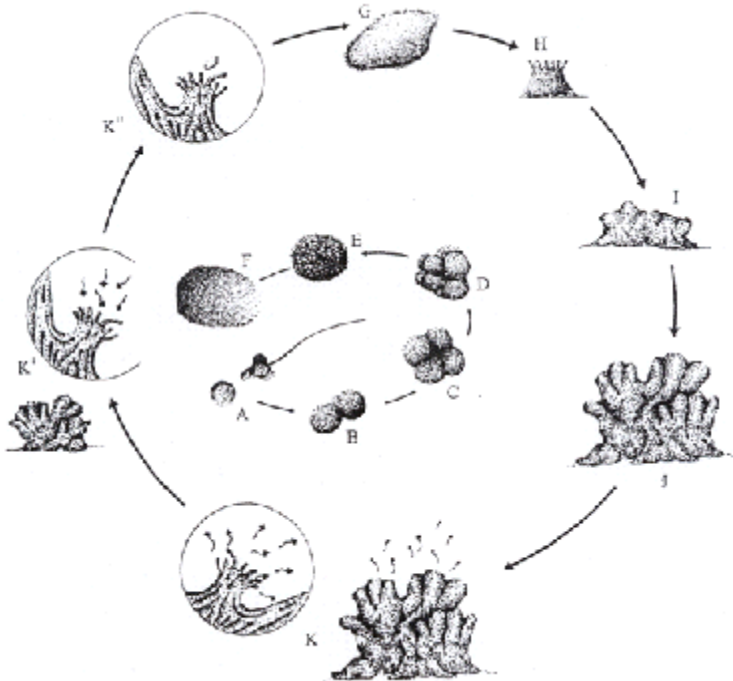
4.2.3. Fertilisasi di Dalam Tubuh (fertilisasi internal)

Fertilisasi karang tipe brooding terjadi di dalam tubuh induk. Proses fertilisasi dimulai dengan pelepasan sperma ke dalam kolom air oleh karang jantan/hermaprodit dan sperma akan berenang mencari induk karang betina. Sperma yang berada di dalam air akan masuk ke dalam rongga polyp karang betina yang mengandung oosit yang telah matang. Sperma masuk ke dalam rongga polyp jenis karang yang sama melalui mulut polyp, menelusuri oral tube (*pharynx*) dan terus ke dalam coelenteron tempat oosit berada. Setelah terjadi pertemuan antara sperma dan oosit yang matang atau pembuahan telur oleh sperma di dalam tubuh ini disebut dengan fertilisasi internal (*internal fertilization*). Telur yang telah dibuahi membentuk zigot, dan kemudian disusul dengan embriogenesis yang juga tetap terjadi di dalam tubuh induk betina sampai embrio matang.

Pembuahan secara internal ditemukan baik pada tipe karang hermaprodit brooding maupun dari jenis karang tipe gonokorik tipe brooding. Pada karang tipe hermaphrodit brooding diperkirakan proses fertilisasi dapat dibagi menjadi dua, yaitu: 1) pembuahan secara silang (*cross fertilization*), dan 2) pembuahan sendiri (*self fertilization*). Salah satu karang tipe brooding yang melakukan pembuahan dengan *self fertilization* diperkirakan termasuk karang *Alveopora japonica*. Gametogenesis karang *A. japonica* berkembang secara sinkron hanya antara gamet jantan dan gamet betina pada individu polip yang sama dalam koloni yang sama. Sementara antara koloni berbeda ditemukan gamet matang tidak secara bersamaan. Siklus karang tipe brooding secara sederhana dapat digambarkan seperti pada Gambar 17. Pembuahan terjadi di dalam tubuh induk dan zigot berkembang menjadi larva planula di dalam polip, kemudian setelah planula matang dilepaskan dari tubuh induknya.

Siklus karang tipe brooding secara sederhana dapat diterangkan sebagai berikut (Gambar 17): K adalah karang dewasa yang sedang mengeluarkan spermatozoa, dan kemudian spermatozoa akan berenang dan masuk ke dalam tubuh karang betina yang memiliki

oosit yang telah matang (K'). Dari A sampai F menggambarkan proses fertilisasi oosit oleh spermatozoa dan embriogenesis di dalam tubuh induk betina. Setelah oosit dibuahi oleh spermatozoa yang dinamakan zigot (A) akan terjadi pembelahan pertama menjadi dua sel (B), kemudian dari dua berubah menjadi 4 sel embrio (C) dan seterusnya berubah menjadi 8 sel embrio (D). Setelah itu terbentuk stadium blastula (E) yang kemudian berkembang menjadi awal stadium planula (F). Setelah planula matang dikeluarkan oleh induknya melalui mulut polyp (K''), dan planula berfungsi sebagai plankton menjelang menemukan tempat menempel (G). Setelah menemukan tempat menempel berkembang menjadi polyp muda dan skeletogenesis dimulai, yang kemudian berkembang menjadi koloni muda (I) dan selanjutnya menjadi koloni yang matang kembali untuk melakukan reproduksi (J).



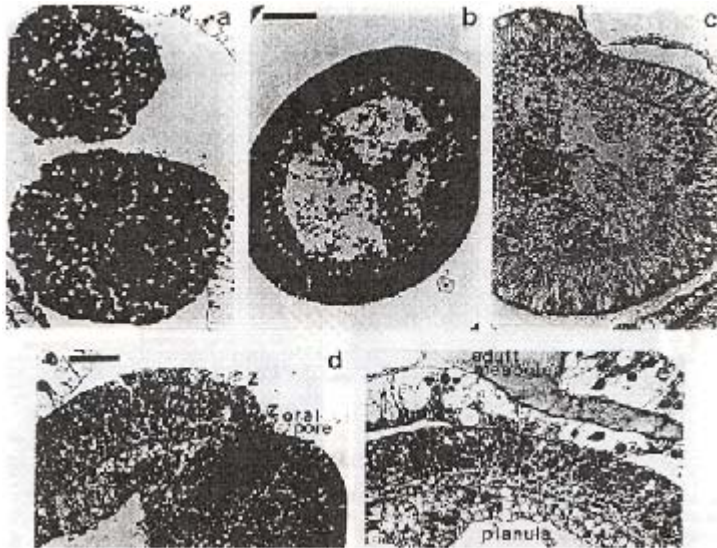
Gambar 17. Siklus hidup dan embriogenesis karang tipe *brooding* (Wallace, 2000).

Pada karang tipe *brooding* sulit mendeteksi fertilisasi oosit oleh sperma. Karena dalam mendeteksi pembuahan sel telur oleh sperma satu-satunya untuk karang tipe *brooding* hanya dengan metode histologi melalui pembuatan preparat. Namun embriogenesis beberapa karang telah diketahui pada beberapa spesies, seperti embriogenesis karang *Favia fragum* dan *Alveopora japonica* (Szmant-Froelich et al., 1985; Thamrin, 2001). Proses fertilisasi serta embriogenesis sampai larva matang terjadi di dalam tubuh induk. Setelah matang baru dilahirkan dalam bentuk larva yang disebut planula. Pada beberapa kejadian planula juga ada yang dikeluarkan dalam kondisi belum matang (abortus), dan kejadian ini umumnya dipengaruhi oleh perubahan atau memburuknya kondisi lingkungan perairan. Bila planula yang dikeluarkan telah matang, umumnya telah memiliki kemampuan untuk melekat di dasar perairan untuk melanjutkan proses pertumbuhan. Beberapa jenis karang yang melahirkan planula yang siap untuk menempel ditemukan pada spesies *Pocillopora damicornis* dan *Stylophora pistillata*.

4.2.4. Embriogenesis karang tipe *brooding*

Fertilisasi dan embriogenesis pada karang tipe *brooding* terjadi di dalam tubuh induk, kemudian disusul terbentuk zigot dan embriogenesis (Gambar 18). Pengamatan sangat rinci tentang embriogenesis pada karang tipe *brooding* dilakukan Szmant-Froelich et al. (1985) pada karang *Favia fragum*. Karang tipe *brooding* dalam melakukan embriogenesis terhitung mulai dari proses fertilisasi telur oleh sperma sampai dalam bentuk planula matang memakan waktu sekitar empat hari. Setelah embrio (planula) matang dilepaskan ke dalam air melalui mulut polyp. Setelah berada di dalam kolom air planula berkedudukan juga sebagai zooplankton menjelang menemukan substrat untuk tempat menempel, dan berkembang kembali menjadi dewasa.

Embriogenesis pada karang tipe *brooding* dapat dikelompokkan menjadi dua cara, yaitu: 1) Embrio berkembang di dalam mesoglea dan dibungkus oleh lapisan endodermis (gastrodermis) yang berada pada mesentery, dimana terjadi gametogenesis sebelumnya. Sebagai contoh yang terjadi pada karang *Acropora cuneata* dan *A. palifera* (Kojis, 1986). 2) Embriogenesis ditemukan di dalam coelenteron. Oosit dilepaskan ke dalam coelenteron segera setelah atau sebelum fertilisasi, dan selanjutnya embrio berkembang sampai matang di dalam rongga tersebut. Salah satu jenis karang yang mengalami embriogenesis seperti ini terjadi pada *Favia fragum* (Szmant-Froelich et al., 1985).



Gambar 18. Embriogenesis karang tipe brooding *Favia fragum*. a) Dua Stadium I embrio dengan eksterior berbentuk bumpy (stadium blastula); b) Awal Stadium II embrio. Lapisan interior sedang terbentuk dan coelenteron sudah hampir terbuka; c) Stadium III planula menunjukkan stomadeum dan pertumbuhan mesentery; d) Zooxanthellae masuk pada Stadium IV tisu larva. M = mesentery; bar 50 μm untuk a-c, dan 30 μm untuk d dan e (Szmant-Froelich et al., 1985).

Gambar 18 menggambarkan embrio muncul di dalam coelenteron bersamaan dengan hilangnya oosit yang telah matang di dalam mesentery. Awal perkembangan embrio ditemukan pada dasar coelenteron dan berbentuk bumpy sebagai pengaruh pertambahan dalam jumlah besar (Gambar 18a). Stadium ini berbentuk seperti blastula. Ciri-ciri lainnya berupa, stadium ini berbentuk kompak (streoblastula), gastrulasi muncul terjadi oleh pemisahan lapisan primordial menjadi dua lapisan disebabkan terjadinya delaminasi migrasi sel membentuk sebuah stereogastrula. Sel epidermis lebih berbentuk columnar dan lapisan endodermis lebih jelas (Szmant-Froelich et al., 1985).

Gambar 18b menunjukkan Stadium II embrio mulai tumbuh dan berkembang dengan warna kuning telur berwarna merah distaining

serta lebih menyebar. Lapisan epiderm menjadi lebih jelas berbentuk columnar dan mesoglea yang memisahkan antara lapisan epidermis/ektoderem dengan endodermis semakin jelas. Kemudian embrio merubah menjadi lebih memanjang dan *oral pore* dapat terlihat jelas sedang terbentuk sebagai *invagination* lapisan epidermis, dan coelenteron mulai terbuka ke atas serta lapisan endoderem lebih jelas. Gambar 18d menunjukkan zooxanthellae mulai masuk ke dalam larva melalui lapisan ektoderem di dekat aral pore. Ujung planula selalu ditemukan berbatasan dengan tisu lapisan endoderem induk dimana selalu terkonsentrasi zooxanthellae. Gambar 18e memperlihatkan proses transfer zooxanthellae dari sel endodermis induk menuju larva terlihat pada.

Stadium III ditandai dengan telah masuknya zooxanthellae pada lapisan ektoderem, dan kemudian berpindah ke lapisan endoderem planula. Formasi mesentery terlihat dengan jelas dengan kehadiran untaian mesoglea menyebar ke dalam lapisan endodermis yang memiliki vakuola yang tidak terpisah. Keadaan ini muncul pertama kali di dekat *oral pore*. Lapisan endoderem kemudian muncul disekitar mesoglea. Kemudian setelah pembentukan lapisan endodermis terbentuk mesentery (Gambar 18e). Jumlah mesentery terus meningkat dan biasanya 6 dimana 3 pasang mesentery yang kompleks dan 3 pasang tidak kompleks. Pada Stadium IV planulae telah matang, dan mesentery telah berkembang dengan panjang sekitar 2 mm serta diameter antara 0,5 mm sampai 1,5 mm.

4.2.5. Pelepasan Planulae Karang Tipe *Brooding*

Planulasi karang pada umumnya terjadi sepanjang tahun di daerah tropis, dan di daerah subtropis pada umumnya terjadi pada musim panas. Planulasi adalah proses pelepasan planulae oleh polip karang. Seperti planula *Seriatopora hystrix* Dana, planulae dikeluarkan setiap bulan sepanjang tahun dimana mekanisme pelepasannya dikontrol oleh fase bulan. Sementara planulae karang scleractinia bertipe *brooding Alveopora japonica* hanya dikeluarkan sekitar satu bulan di Amakusa Jepang. Planula berwarna coklat kekuning-kuningan dan sedikit lebih besar dari planula *Stylophora*, akan tetapi lebih kecil dari planula *Pocillopora*.

Musim planulasi dan rentang periode breeding pada karang bervariasi bila dihubungkan dengan mode reproduksi dan letak lintang di bumi (Harrison dan Wallace, 1990). Spesies tipe spawning

melakukan breeding dalam periode waktu yang pendek, sebaliknya spesies tipe brooding condong melakukan planulasi dengan rentang periode waktu yang lebih panjang atau sepanjang tahun. Pada karang tipe brooding walaupun periode pengeluaran planulae condong dalam periode waktu lebih panjang, akan tetapi tetap memiliki beberapa puncak jumlah planulae yang dikeluarkan. Puncak tertinggi jumlah planula yang dikeluarkan pada umumnya berdekatan dengan awal pelepasan planula dari induk, yang semakin ke ujung periode waktu pelepasan akan semakin rendah.

Bila diamati lebih rinci reproduksi pada hewan karang sangat rumit karena spesies yang sama sekalipun tidak selalu memiliki mode reproduksi termasuk tingkah laku pelepasan larva atau gamet yang sama. Fase dan puncak pelepasan planula juga dipengaruhi lingkungan yang berbeda. Pelepasan larva spesies yang sama juga menunjukkan periode pelepasan yang berbeda pada daerah yang berbeda. Seperti karang tipe brooding *Pocillopora damicornis* yang di Enewetak memiliki fase dan puncak pelepasan planulae yang berbeda dibandingkan dengan spesies yang sama yang dijumpai di Hawaii (Richmond dan Jokiel, 1984). Dimana fase dan puncak pelepasan planulae karang *P. damicornis* yang di Enewetak dan yang di Hawaii tidak menunjukkan waktu yang sama. Karang *P. damicornis* secara konsisten memiliki puncak pelepasan planulae antara bulan baru dan seperempat bulan pertama di Enewetak dan serupa dengan fase pelepasan planulae karang yang sama yang berada di Palau (Atoda, 1947a). Sementara di Hawaii spesies ini memiliki dua tipe, yakni tipe B dan tipe Y. Karang *P. damicornis* tipe B memiliki puncak pelepasan planulae antara seperempat bulan pertama dan bulan purnama, dan *P. damicornis* tipe Y memiliki puncak pelepasan planulae sekitar seperempat bulan ketiga di Hawaii. Akan tetapi berbeda sekali dengan karang *P. damicornis* yang berada di Laut Merah, justru spesies ini tidak memiliki periode pelepasan planulae (Rinkevich dan Loya, 1979).

Waktu planulasi karang tipe brooding dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu: 1) pada malam hari, 2) siang hari, dan 3) pada malam dan siang hari. Sebagian besar karang tipe brooding melepaskan planula pada malam hari. Sementara juga ditemukan yang melepaskan larva planula pada pagi hari seperti karang spesies endemik *Alveopora japonica* di Jepang. Sedangkan yang melepaskan planula pada siang dan malam hari ditemukan pada karang *Favia fragum* di Barbados serta *Balanophyllia elegans* dan *Pocillopora damicornis* di Hawaii. *F. fragum* di Barbados melepaskan planulae dalam jumlah yang hampir sama antara malam dan siang hari menjelang seperempat bulan pertama,

akan tetapi kemudian memiliki perbandingan sekitar 80 % dilepaskan pada malam hari dan sisanya 20 % dilepaskan pada siang hari. Sementara pada karang *B. elegans* dan *P. damicornis* yang ditemukan di Hawaii melepaskan jumlah planulae yang bervariasi antara malam dan siang hari.

4.3. Karang Tipe *Spawning*

Reproduksi secara spawning merupakan mode/tipe yang dominan dimiliki karang scleractinia, dimana oosit dan sperma dikeluarkan dari dalam tubuh induk, yang disusul dengan fertilisasi telur oleh sperma yang dilanjutkan embriogenesis terjadi pada umumnya dipermukaan air. Dibandingkan dengan karang tipe brooding, kelompok karang ini memiliki siklus perkembangan gamet lebih jelas. Namun gamet betina tetap lebih panjang membutuhkan periode waktu untuk berkembang dibandingkan gamet jantan (testis).

Gametogenesis karang tipe spawning memiliki beragam sifat, terutama pada saat awal perkembangan gamet. Sebagian besar jenis karang tipe spawning memiliki gametogenesis yang sinkron diantara koloni berbeda untuk spesies yang sama, akan tetapi juga dijumpai gametogenesis yang berbeda diantara spesies yang sama untuk koloni berbeda. Perbedaan kemunculan gamet diantara koloni berbeda untuk spesies yang sama ini mencapai perbedaan waktu 4 bulan, seperti yang dijumpai pada spesies karang *Lobophyllia corymbosa* yang di Kepulauan Lizard Great Barrier Reef (Harriott, 1983). Untuk gamet betina mulai muncul antara bulan Januari sampai bulan April, dan untuk gamet jantan testis mulai muncul antara bulan Oktober dan bulan Nopember. Walaupun pada awal perkembangan gamet tidak sinkron, namun gamet selalu matang secara bersamaan menjelang masa spawning yang diikuti fertilisasi secara eksternal.

4.3.1. Perkembangan Gamet Betina

Siklus oosit berbeda antara karang tipe brooding dan tipe spawning. Karang tipe spawning umumnya hanya memiliki satu siklus oosit dalam setahun, sementara tipe brooding memiliki siklus oosit lebih dari satu. Siklus perkembangan gamet karang pada dasarnya dapat dibagi menjadi dua kelompok besar, yakni jenis karang yang memiliki periode oogenesis kurang dari satu tahun dan kelompok karang memiliki periode oogenesis lebih dari satu tahun. Kelompok

karang yang memiliki periode perkembangan oosit kurang dari setahun (beberapa bulan) seperti karang *Goniastrea aspera* di Teluk Geoffrey Great Barrier Reef Australia, yang membutuhkan waktu kurang dari enam bulan untuk satu siklus oogenesis. Oosit mulai terlihat pada bulan Mei dan matang menjelang bulan November, serta spawning terjadi dipenghujung bulan Oktober (Babcock, 1984). Setelah terjadi spawning kemudian terjadi kekosongan menjelang terjadi siklus berikutnya diulangi kembali.

Karang tipe spawning *Montastrea cavernosa* adalah salah satu spesies bersifat gonokorik di daerah Santa Marta, Perairan Pantai Karibia, Kolumbia. *M. annularis* memiliki satu siklus gamet dalam setahun, dengan siklus oosit lebih kurang 11 bulan, yang menyebabkan induk betina hanya beberapa minggu saja tanpa kehadiran oosit. Oogenesis dimulai hanya beberapa minggu setelah spawning pada bulan Juni. Sementara di Puerto Riko dimulai pada bulan April dan bulan Mei (Szmant, 1991). Dimulai dalam sebulan setelah spawning setiap tahunnya.

Spawning besar-besaran secara serentak yang disusul dengan fertilisasi di dalam kolom air, yang disebut juga dengan istilah mass spawning di 5 daerah terumbu karang di pertengahan dan di sebelah utara Great Barrier Reef pada tahun 1981 dan 1982. Semua spesies yang ikut serta dalam mass spawning ini memiliki siklus gametogenesis tahunan. Seperti kelompok *Acropora*, *Galaxea fascicularis*, *Goniastrea aspera*, *G. favulus* dan *Platygyra sinensis*. Sebaliknya pada sebagian kecil karang ditemukan satu siklus melebihi satu tahun. Untuk satu periode oogenesis mencapai 14 atau 15 bulan pada karang gonokorik kelompok spawner ini. Akan tetapi spawning tetap terjadi setiap tahun, seperti karang *Astrangia lajollaensis*, *Paracyathus stearnsii* dan *Turbinaria mesenterina*. Keadaan ini dicapai dengan terjadinya tumpang tindih perkembangan gamet pada karang. Siklus gamet baru muncul ketika oosit yang sedang berkembang, atau sebelum spawning terjadi. Sehingga gamet pada karang ini dijumpai sepanjang tahun (Fadlallah, 1982; Fadlallah and Pearse, 1982b; Willis, 1987).

Berdasarkan model oogenesis pada karang yang memiliki ukuran oosit yang beragam dapat dikelompokkan menjadi dua, 1) kelompok karang dimana semua ukuran oosit mengalami perkembangan secara sinkron antara koloni berbeda dalam spesies yang sama, dan 2) kelompok karang yang beragam ukuran oosit dari awal sampai menjelang matang antara koloni berbeda dalam spesies yang sama, tetapi tetap matang pada waktu yang bersamaan. Untuk

perkembangan oosit tipe ini umum ditemukan pada organisme karang tipe spawning, seperti pada karang *Acropora*.

Gametogenesis berlangsung tidak sinkron diantara koloni berbeda pada spesies yang sama terjadi mulai dari kemunculan oosit yang juga tidak sama. Waktu kemunculan oosit tidak sama diantara koloni berbeda pada spesies yang sama dan memiliki perbedaan mencapai 4 bulan ditemukan pada karang hermaprodit *Lobophyllia corymbosa* di Kepulauan Lizard GBR. Oosit spesies ini mulai muncul antara bulan Januari dan bulan April (Harriott, 1983). Kemudian ia juga menemukan keadaan yang hampir sama pada karang hermaprodit *Favia favus* di daerah yang sama. Akan tetapi oosit muncul lebih lambat dari oosit karang *L. corymbosa*, yaitu antara bulan Juni dan bulan Agustus. Kedua spesies ini matang pada waktu yang sama, yaitu sekitar bulan Nopember dan bulan Desember setiap tahunnya. Walaupun kedua spesies berada pada perairan yang sama, namun waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus oogenesis berbeda. Karang *L. corymbosa* membutuhkan waktu satu siklus oosit antara 8 bulan (April-Nopember) sampai 12 bulan (Januari-Desember). Sementara untuk karang *F. favus* membutuhkan satu siklus oosit berkisar hanya antara 4 bulan (Agustus-Nopember) sampai 7 bulan (Juni-Desember).

Karang gonokorik *Porites lutea* dan *P. australiensis* di perairan Kepulauan Lizard Great Barrier Reef memiliki jangka waktu oogenesis lebih pendek. Untuk oogenesis *P. lutea* membutuhkan waktu antara 4 bulan sampai 8 bulan, sedangkan untuk spesies *P. australiensis* membutuhkan waktu antara 3 bulan sampai 7 bulan. Akan tetapi kedua spesies ini juga melakukan spawning pada waktu yang sama dengan karang tipe hermaprodit *L. corymbosa* dan *F. favus* yang ditemukan pada perairan tersebut. Ke-empat spesies ini melakukan spawning pada bulan November atau Desember setiap tahunnya.

4.3.2. Perkembangan Gamet jantan (Spermatogenesis)

Perkembangan gamet jantan karang tipe spawning mirip dengan karang tipe brooding. Spermatogenesis lebih jelas dan membutuhkan waktu jauh lebih pendek dibandingkan dengan gamet betina. Total waktu yang dibutuhkan mulai dari kurang dari satu bulan sampai beberapa bulan. Pada *Gonisatrea aspera* yang berada di Teluk Geoffrey Great Barrier Reef Australia membutuhkan waktu kurang dari satu bulan, yakni terjadi pada bulan Oktober setiap tahunnya, dan pada

spesies ini hampir lima bulan lebih panjang waktu yang dibutuhkan untuk gamet betinanya, yang dimulai pada bulan Mei untuk melakukan spawning dipenghujung musim panas (Babcock, 1984).

Untuk spermatogenesis *Montastrea cavernosa* yang ditemukan di Santa Marta, Perairan Pantai Karibia, Kolumbia juga memiliki satu siklus dalam setahun dan membutuhkan waktu jauh lebih pendek. Oogenesis spesies ini membutuhkan waktu sekitar 11 bulan, sementara spermatogenesisnya hanya membutuhkan waktu sekitar 2 sampai 4 bulan, dimulai dalam bulan Oktober dan Nopember dan menghilang sampai bulan purnama pada bulan Juni setiap tahunnya. Perkembangan gonat spesies ini tidak sinkron antara koloni satu dengan yang lainnya baik antara jantan dan betina maupun dalam jenis kelamin yang sama. Sehingga spawning spesies ini juga tidak sinkron dalam populasi yang sama.

Spermatogenesis *Lobophyllia corymbosa* membutuhkan waktu jauh lebih pendek, yaitu antara 1 bulan sampai 2 bulan di Kepulauan Lizard Great Barrier Reef. Sementara oogenesis yang dibutuhkan sekitar 3 bulan antara bulan Januari dan bulan April (Harriott, 1983). Sementara Untuk karang hermaprodit *F. favus* yang dijumpai pada daerah yang sama hanya membutuhkan waktu untuk spermatogenesis antara bulan Agustus sampai bulan Desember setiap tahunnya.

Karang gonokorik *Porites lutea* dan *P. australiensis* di perairan Kepulauan Lizard Great Barrier Reef memiliki jangka waktu oogenesis berbeda. Untuk *P. lutea* membutuhkan waktu antara 4 bulan sampai 8 bulan dan untuk *P. australiensis* membutuhkan waktu antara 3 bulan sampai 7 bulan. Akan tetapi untuk satu siklus spermatogenesis kedua jenis karang membutuhkan periode waktu yang sama, yaitu sekitar antara 1 bulan sampai 2 bulan, dan matang juga bersamaan dengan kedua oosit jenis karang tersebut pada bulan Nopember atau bulan Desember setiap tahunnya.

4.3. Fekunditas

Fekunditas pada karang dihitung dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu: 1) jumlah telur per satuan luas permukaan koloni, dan 2) jumlah telur per satuan individu (individu/polyp). Untuk polyp karang yang berukuran kecil biasanya diukur persatuan luas, sementara untuk jenis karang yang memiliki ukuran polyp berukuran

besar lebih condong dihitung dalam satuan individu. Hal ini menyebabkan pengamatan fekunditas dilakukan dengan salah satu atau dengan kedua metode tersebut, baik fekunditas dalam satuan polyp maupun fekunditas dengan satuan luas, atau dengan kedua metode tersebut (Tabel 1).

Fekunditas tidak selalu garis lurus dengan penurunan ukuran telur pada karang. Fekunditas terkecil ditemukan bertolak belakang dengan ukuran oosit, yaitu ditemukan pada spesies yang memiliki ukuran oosit yang paling besar (*Acropora valida*) dengan diameter antara 663-728 μm , sebaliknya jumlah fekunditas sekitar 96 buah/polyp dengan rata 5,6 buah/polyp. Kondisi ini juga ditemukan pada diameter terkecil pada *A. granulosa* yang memiliki fekunditas tertinggi untuk satuan individu polyp. Namun fekunditas pada karang spesies yang sama *A. granulosa* tidak menempati kedudukan terbesar bila dilihat dari fekunditas untuk persatuan luas. Diameter oosit terkecil ditemukan pada *A. granulosa*, berkisar antara 534 sampai 601 μm , namun fekunditas berdasarkan luas permukaan karang ditemukan pada karang *A. nobilis* dengan fekunditas 261 buah/cm². Sementara *A. nobilis* memiliki diameter oosit jauh lebih besar dari *A. granulosa* dengan diameter oosit berkisar antara 571 μm sampai 696 μm dibandingkan diameter oosit *A. granulosa*.

Tabel 1. Perbandingan fekunditas dengan memakai kedua satuan individu dan persatuan luas pada beberapa spesies karang *Acropora* (Wallace, 1985).

Spesies	Fekunditas Polyp		Fekunditas per cm ²	Diameter oosit (μm)	
	Rata-rata	Kisaran		Min.	Maks.
<i>Acropora loripes</i>	11,8	5-22	156	560	637
<i>A. granulosa</i>	12,8	6-23	116	534	601
<i>A. sarmentosa</i>	10,2	6-14	169	652	687
<i>A. longicyathus</i>	11,7	6-18	190	591	636
<i>A. florida</i>	9,5	6-14	209**	584	694
<i>A. nobilis</i>	7,7	2-12	261	571	696
<i>A. hyacinthus</i>	6,1	4-11	182	622	722
<i>A. valida</i>	5,6	3-11	96*	633	728

Ukuran koloni karang mulai matang untuk melakukan aktifitas reproduksi tidak sama diantara spesies, baik pada kelompok karang tipe berkoloni maupun tipe soliter. Perbedaan ukuran ini ditentukan oleh ukuran maksimal koloni bersangkutan. Umumnya karang yang memiliki ukuran koloni maksimal lebih kecil condong memiliki ukuran minimal koloni lebih kecil mulai melakukan reproduksi. Ukuran koloni karang terkecil melakukan reproduksi ditemukan pada spesies karang bertipe massive *Favia fragum*, dengan ukuran koloni 0,6 x 0,6 cm. Koloni terbesar mulai matang untuk melakukan reproduksi ditemukan pada karang *A. cervicornis* dengan ukuran sekitar 8 x 18 cm.

Perbedaan ukuran koloni/individu ini tidak saja terjadi pada spesies yang berbeda maupun pada spesies yang sama. Untuk karang *Montasrea annularis* bertipe columnar baru matang untuk melakukan reproduksi setelah mencapai ukuran koloni di atas 50 cm², dan pada spesies yang sama yang bertipe massive baru matang setelah berukuran lebih besar dari 100 cm². Sementara karang *M. annularis* tipe bumpy memiliki fekunditas lebih rendah secara signifikan dibandingkan pada koloni berukuran lebih kecil (< 300 cm²) (van Veghel dan Kahman, 1994). Beberapa jenis karang berturut-turut mulai memproduksi gamet dengan ukuran terkecil sebagai berikut: karang *Favia fragum* berukuran 3,6 cm², *Siderastrea radians* berukuran 1,43 cm², *Porites astreoides* berukuran 6 cm², *Montastrea cavernosa* berukuran 20 cm², *Diploria clivosa* berukuran 35 cm², *Siderastrea siderea* berukuran 63 cm², *D. strigosa* berukuran 42 cm², *Acropora cervicornis* memiliki panjang minimal 9 cm, dan *Porites furcata* memiliki panjang minimal 1 cm.

Faktor yang mempengaruhi fekunditas karang sangat beragam. Faktor lingkungan umum yang mempengaruhi fekunditas karang diantaranya adalah yang berhubungan dengan penurunan kualitas air, seperti kekeruhan dan sedimentasi, polusi, peningkatan dan penurunan temperatur, peningkatan dan penurunan salinitas, ukuran koloni/umur karang, jenis karang, dalam hal ini termasuk spesies yang sama tetapi morphotype berbeda, lokasi berbeda, organisme yang hidup menempel pada koloni karang dan lain-lain.

Fekunditas karang juga dipengaruhi oleh pengalihan peruntukan energi pada saat gametogenesis. Pengalihan energi ini disebabkan berbagai faktor, terutama berhubungan dengan faktor biologi, kimia atau faktor fisika yang berhubungan dengan kualitas air dan aktifitas yang menyebabkan tisu karang menjadi rusak. Untuk

polip yang berdampingan dengan tisu atau polip yang mengalami kerusakan menyebabkan energi yang seharusnya untuk pertumbuhan gamet dialihkan untuk memperbaiki tisu yang rusak tersebut. Seperti yang terjadi pada karang *Montastrea annularis* (van Veghel dan Bak, 1994), *Stylophora pistillata* (Rinkevich dan Loya, 1989).

Peningkatan temperatur air merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan penurunan fekunditas pada umumnya karang. Terutama terjadi pada saat suhu air laut mencapai titik maksimum dalam waktu yang agak lama, atau naik lebih dari 2°C di atas ambang secara mendadak. Penurunan fekunditas berhubungan dengan temperatur yang menyebabkan stres pada karang dilaporkan Kojis dan Quinn (1984). Bila temperatur air laut melebihi titik maksimum fluktuasi temperatur tahunan akan menyebabkan pengaruh lebih fatal, yaitu dapat menyebabkan kematian secara massal pada karang.

Pengaruh polusi seperti tumpahan minyak yang kronis tidak hanya menurunkan fekunditas, akan tetapi lebih jauh juga merusak jaringan organisme karang. Keadaan ini menyebabkan penurunan fekunditas mencapai lima kali lebih rendah dibandingkan karang normal. Seperti yang terjadi pada karang *Stylophora pistillata* Eilat Israil, dimana fekunditas karang *Stylophora pistillata* menurun sampai empat kali lipat disebabkan polusi minyak yang kronis, akan tetapi populasi memiliki koloni lebih sedikit yang melakukan breeding, menurunkan ovari dan jumlah planulae setiap polip, serta menurunkan indeks reproduksi keseluruhan. Disamping itu polusi minyak juga bisa menyebabkan planulae dilahirkan dalam keadaan belum matang atau abortus (Rinkevich dan Loya, 1977).

Peristiwa abortus tidak hanya dikenal pada manusia, tetapi juga pada karang sebagai mana pengaruh polusi minyak yang disebutkan di atas. Faktor lain yang menyebabkan planulae mengalami abortus termasuk pengaruh salinitas rendah, penurunan air pasang yang luar biasa, temperatur air laut yang tinggi dan penurunan intensitas cahaya.

Posisi polip dalam koloni juga berpengaruh terhadap fekunditas karang. Polip-polip karang tipe massive yang berada di tepi umumnya memiliki fekunditas lebih rendah dari polip yang berada di tengah koloni, atau tidak memiliki gamet sama sekali, mirip dengan polip pada bagian ujung percabangan bagi umumnya karang bertipe bercabang. Seperti pada karang *Montastrea annularis* dan *Alveopora japonica*, polip-polip yang berada di atau dekat ke tepi memiliki fekunditas lebih rendah dari polip yang berada di tengah koloni (van

Veghel dan Kahman, 1994; Thamrin 2001). Perbedaan fekunditas ini disamping disebabkan perbedaan fungsi antara polip yang berada di tepi/ujung dengan di tengah koloni juga disebabkan umur polip pada kedua posisi berbeda. Sebagai pengecualian dijumpai pada *Favia fragum*, yang sampai saat ini dikenal sebagai satu-satunya karang bertipe massive dimana polip-polipnya yang berada di tepi memproduksi larva planula (Soong dan Lang, 1992). Karakteristik beberapa spesies karang lebih rinci berhubungan dengan fekunditas seperti pada Tabel 1.

Spesies sama dengan tipe koloni berbeda juga berpengaruh pada fekunditas karang. Seperti yang terjadi pada karang *M. annularis* (van Veghel dan Kahman, 1994), dimana rata-rata fekunditas karang *M. annularis* pada morphotypes (berbeda tipe) berbeda memiliki perbedaan fekunditas yang signifikan, dimana fekunditas untuk koloni bertipe bumpy memiliki jumlah rata-rata oosit 71 setiap polip, koloni bertipe massive berjumlah 30 oosit/polip, dan koloni bertipe columnar berjumlah 19 oosit/polip.

Karang kelompok *Acropora* memiliki kekhususan, karena polip-polip genus karang ini dapat dibedakan menjadi dua jenis polip, yaitu polip axial dan polip radial. Umumnya polip axial yang berada pada ujung bagian percabangan yang masih mengalami pertumbuhan belum memproduksi gamet. Hal ini juga di alami polip radial yang berdekatan dengan polip axial, sehingga sekitar 0,5 cm sampai 10 cm dari ujung percabangan selalu tidak memiliki gamet, terutama pada ujung percabangan yang masih mengalami pertumbuhan (Table 2).

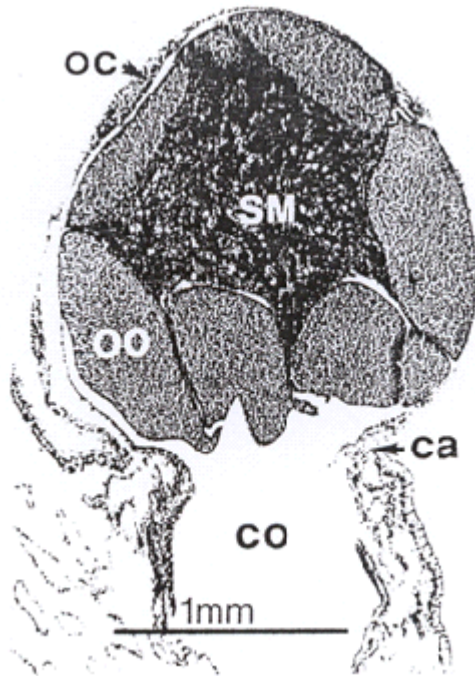
Tabel 2. Rata-rata ukuran beberapa koloni mulai matang pada beberapa spesies dan bentuk koloni serta kondisi dan lokasi polip pada polip yang telah matang (Song dan Lang, 1992).

No	Spesies	Bentuk Koloni	Lokasi Polip Belum Produktif	Koloni terkecil (cm)
1.	<i>Faviafragum</i>	Massive	Tidak ada, tetapi 27 % marginal polyp (polip) di tepi koloni menurun dan 7 % sentral polip kekurangan planulae	0,6 - 0,6
2.	<i>Siderastrea radican</i>	Massive	0,25-0,5 cm dari tepi (satu sampai dua baris dari tepi)	1,3 x 1,1
3.	<i>Porites astreoides</i>	Massive	0,5-1,5 cm dari tepi (3-10 baris dari tepi)	3 x 2
4.	<i>Montastrea cavernosa</i>	Massive	0,7-2 cm dari tepi (satu baris polip)	5 x 4
5.	<i>Siderastrea siderea</i>	Massive	0,7-2 cm dari tepi secara horisontal (minimal 3 baris polip), dan 1-4 cm vertical dari tepi.	7 x 5
6.	<i>Diploria strigosa</i>	Massive	1-3,5 cm dari tepi	9 x 7
7.	<i>D. clivosa</i>	Encrusting	1-4 cm dari tepi	7 x 6
8.	<i>Acropora cervicornis</i>	Branching	2-6 cm dari ujung dan 1-4,5 dari pangkal	18 x 8
9.	<i>A. palmata</i>	Branching	3-10 dari ujung dan 2-3,5 dari pangkal	9 (p)
10.	<i>Porites furcata</i>	Branching	0,5 dari ujung, dan 1-3 cm dari pangkal	1 (p)

4.5. *Spawning* (Pembuahan di dalam kolom air)

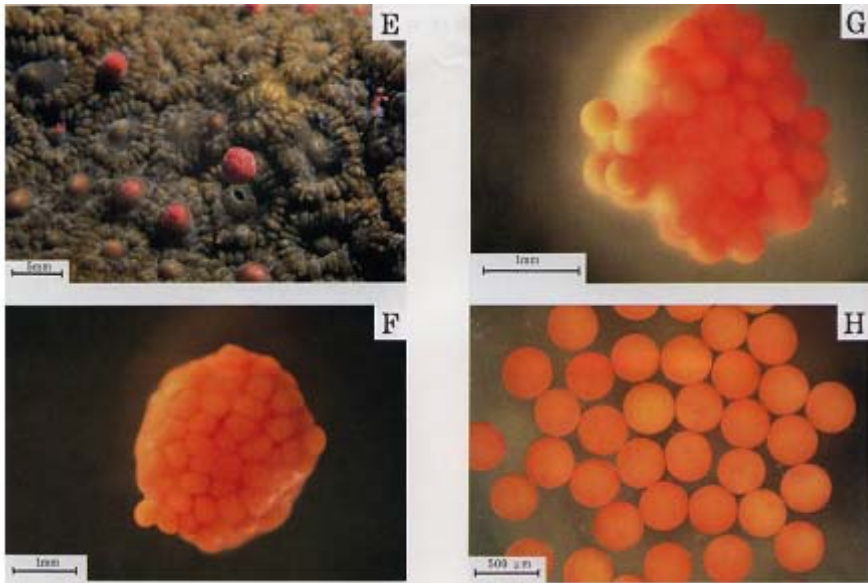
Istilah spawning mengacu pada pelepasan gamet baik gamet jantan maupun gamet betina dari dalam tubuh induk untuk melakukan fertilisasi dan embriogenesis di dalam air laut. Pada organisme karang, mekanisme pelepasan gamet dapat berupa gumpalan oosit, gumpalan sperma-oosit, atau telur dan sperma secara terpisah. Gumpalan gamet yang menyatu diantara sperma dan gumpalan telur bisa ditemukan pada karang *Acropora* sp., dan bila diamati melalui histologi akan terlihat seperti pada Gambar 19. Pada karang yang hanya mengeluarkan gumpalan telur sebagai contoh ditemukan pada karang spesies *Montastrea valenciennesi* (Gambar 20). Setelah gumpalan oosit berada di dalam air, individu oosit terlihat melalui lembaran membran pembungkus gumpalan gamet. Gamet dalam bentuk gumpalan setelah berada di dalam kolom air kemudian baru terpisah menjadi gumpalan-gumpalan lebih kecil. Seperti pada karang *M. annularis* dan *Diploria strigosa*, diameter gumpalan gamet yang dikeluarkan memiliki ukuran sekitar 2 - 4 mm, dan diameter setiap individu oosit sekitar 400 – 600 μm (Gittings et al., 1992). Disamping itu oosit yang dikeluarkan ada juga yang terpisah sama sekali (Gambar 21). Sementara sperma dikeluarkan menyerupai lembaran matrik yang kemungkinan disertai dengan mucus atau sperma-mucus complex (Gambar 22). Gamet karang yang dikeluarkan akan mengapung dipermukaan air, dan pada saat mass spawning gamet yang dihasilkan karang akan terlihat dengan mudah dipermukaan air dari atas kapal penelitian.

Oosit yang diproduksi karang tipe spawning dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu: 1) mengapung di permukaan perairan, dan 2) tenggelam serta melekat di dasar perairan. Bagi gamet bersifat mengapung, bundelan gamet yang dilepaskan karang akan menuju permukaan perairan setelah dikeluarkan dari tubuh induknya. Bundelan gamet yang mengapung ini baik yang terdiri dari sperma dan oosit maupun yang hanya berupa bundelan oosit saja akan terpisah setelah berada di permukaan air. Pada karang *Montipora digitata*, *Acropora tenuis*, *Goniastrea aspera* yang melepaskan oosit dan sperma berbentuk bundelan hanya bertahan selama 30 menit di dalam air, kemudian memisahkan diri satu sama lainnya.



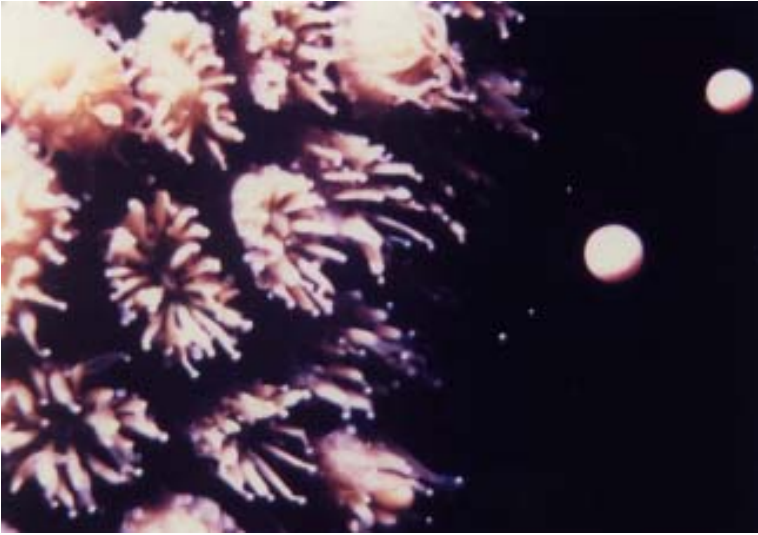
Gambar 19. Bundel gamet jantan dan betina karang *Acropora* sp. (Wallace, 2000).

Peristiwa mass spawning pada karang terjadi hanya dalam beberapa malam dalam setahun. Jumlah spesies karang terbanyak yang pernah diamati melakukan mass spawning secara bersamaan dilakukan Babcock et al. (1986) di Great Barrier Reef Australia. Pada saat tersebut sebanyak 105 spesies karang dari 36 genus, yang terdiri dari 11 famili melakukan spawning secara bersamaan. Spawning berlangsung secara sinkron di dalam dan diantara 5 terumbu karang yang berbeda yang terpisah 5° lintang (500 km) di pusat dan bagian utara Great Barrier Reef. Peristiwa ini terjadi antara bulan purnama dan seperempat bulan terakhir di penghujung musim semi.

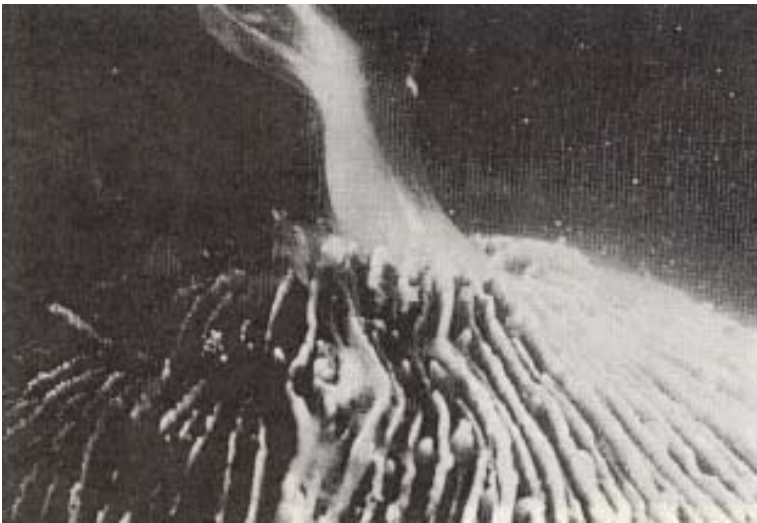


Gambar 20. Bundel oosit dikeluarkan karang *Montastrea valenciennesi* A) Oosit dalam bentuk bundel sedang dikeluarkan, B) Bundel oosit dilihat dari dekat, C) Masing-masing telur mulai memisahkan diri dari bundel, dan D) Oosit satu sama lainnya telah memisahkan diri (Foto oleh S. Nojima)

Mass spawning yang dilakukan hewan karang adakalanya juga bersamaan atau diikuti oleh organisme laut lainnya. Seperti peristiwa mass spawning karang yang terjadi di daerah terumbu karang Curacao yang disertai organisme bentik lain selain organisme karang (Van Veghel, 1993). Beberapa kelompok organisme lain yang ikut serta dalam melakukan mass spawning adalah *Diadema antillarum*, *Holothuria mexicana*, *Ophiocoma echinata* dan *O. flaccita* dari kelompok Echinodermata, *Plexaura* spp dari kelompok Gorgonia, *Eurythoe complanata*, *Hermodice carunculata*, *Spirobranchus giganteus*, Cacing (worms) unidentified spp. dari kelompok Polychaeta, *Arca ibricata* dari kelompok Molusca, *Ircinia campana* dan *Neofibularia nolitangere* dari kelompok Sponge (Gambar 23). Sementara dari kelompok karang scleractinia yang ikut serta dalam melakukan spawning adalah *Acropora palmata*, *Diploria clivosa*, *Montastrea annularis* dan *M. cavernosa*.



Gambar 21. Spesies karang *Galaxea facicularis* sedang melepaskan telur secara satu persatu (Foto oleh S. Nojima).



Gambar 22. Karang mushroom *Fungia fungites* sedang mengeluarkan sperma yang berwarna buram (Harrison dan Wallece 1990).



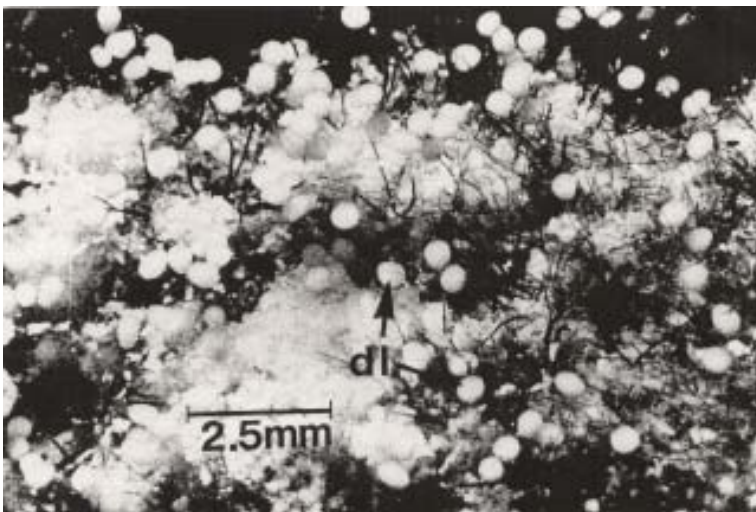
Gambar 23. Karang *Acropora* sedang melakukan spawning bersama spesies karang lainnya (Foto oleh S. Nojima).

Oosit karang tipe spawning sebagian besar mengapung di air laut. Sebaliknya dalam jumlah terbatas juga ditemukan ada yang tenggelam dan melekat pada substrat termasuk pada tumbuhan di dasar perairan. Spesies karang yang memiliki sifat oosit yang tenggelam seperti ini dijumpai pada karang *Montastrea annularis* di Perairan Flower Garden dan *Goniastrea favulus* yang ditemukan di Pasifik (Gambar 24), serta *Pocillopora verrucosa* dan *P. eydouxi* di Sesoko Okinawa Jepang (juga di Pasifik).

Berdasarkan waktu terjadinya spawning organisme karang dapat dibagi menjadi dua, berdasarkan waktu terjadinya, yaitu: 1) malam hari, dan 2) siang hari. Berbeda dengan waktu pelepasan planula pada karang tipe brooding yang waktu pelepasan ditemukan pada siang hari, pada malam hari, serta pada malam dan siang hari. Pada umumnya karang melakukan spawning dan pelepasan larva planula pada malam hari, diantara senja sampai tengah malam. Untuk spesies yang melakukan spawning pada siang hari dapat dibagi menjadi dua, yaitu pada pagi hari dan pada sore hari. Diantara karang yang melakukan spawning pada pagi hari adalah *Fungia concinna* dan *Pavona cactus* yang melakukan spawning pada saat matahari menyingsing. Sementara karang *Pocillopora verrucosa* dan *P. eydouxi* di Kepulauan Sesoko Okinawa Jepang melakukan spawning pada jam 7:00 pagi

selama 15 sampai 30 menit (Kinzie, 1993), serta *Porites* yang melakukan spawning antara pagi menjelang tengah hari di Indo-Pasifik (Richmond dan Hunter, 1990).

Spesies karang yang melakukan spawning pada sore hari diantaranya termasuk *Caryophyllia smithi*, *Galaxea fascicularis* dan *Goniastrea favulus* serta *Fungia scutaria* di Hawaii. Kelima spesies karang ini melakukan spawning antara 17:00 sampai 19:00 ketika cahaya matahari masih ada atau matahari belum tenggelam (Krupp, 1983). Sementara *Pavona gigantea* juga melakukan spawning menjelang matahari tenggelam dengan kisaran waktu antara 25 menit sampai 30 menit di Kepulauan Galapagos (Glynn et al., 1996). Akan tetapi belum ditemukan spesies karang yang sama pada daerah yang sama melakukan spawning pada malam dan siang hari sebagaimana yang terjadi pada beberapa spesies karang tipe brooding dalam melepaskan planulae.



Gambar 24. Telur-telur karang *Goniastrea favulus* melakat pada substrat dasar setelah dilepaskan induknya ke dalam air (Kojis dan Quinn, 1981).

Beberapa spesies karang juga ditemukan melepaskan oosit pada saat spawning secara satu-persatu atau tidak dalam bentuk bundelan (tidak dalam bentuk gumpalan) sebagaimana diuraikan sebelumnya. Pada umumnya telur yang dilepaskan bersifat tidak begitu mengapung. Beberapa spesies karang yang melepaskan telur dalam

bentuk terpisah seperti ditemukan pada kelompok karang gonokorik *Paracyatus stearnsii* (Fadlallah dan Pear, 1982). Gamet dikeluarkan secara terpisah baik diantara telur pada induk betina maupun sperma yang berasal dari kelompok induk jantan.

Periode waktu yang dibutuhkan karang untuk spawning jauh lebih pendek dibandingkan periode waktu untuk planulasi (pengeluaran planulae) oleh karang tipe brooding. Spawning bagi karang yang melakukan pembuahan di luar tubuh induk membutuhkan waktu hanya beberapa hari, sementara bagi karang yang bertipe brooding mengeluarkan planula secara bulanan, musiman atau sepanjang tahun. Bagi karang tipe brooding, keadaan seperti ini dijumpai pada karang yang berada di perairan tropis maupun subtropis. Pengecualian bagi karang di daerah sub-tropis pada umumnya yang melepaskan planulae hanya terjadi pada musim panas.

Waktu melakukan spawning organisme karang memiliki kecondongan secara bersamaan (mass spawning) mengikuti bulan purnama. Peristiwa seperti ini dijumpai pada musim semi di Great Barrier Reef, sebagian besar spesies karang di Okinawa dan bagian barat Lautan Atlantik. Kecuali di Hawaii yang diantara spesies memiliki kecondongan melakukan spawning pada waktu yang berbeda. Namun beberapa spesies masih ditemukan melakukan spawning secara bersamaan.

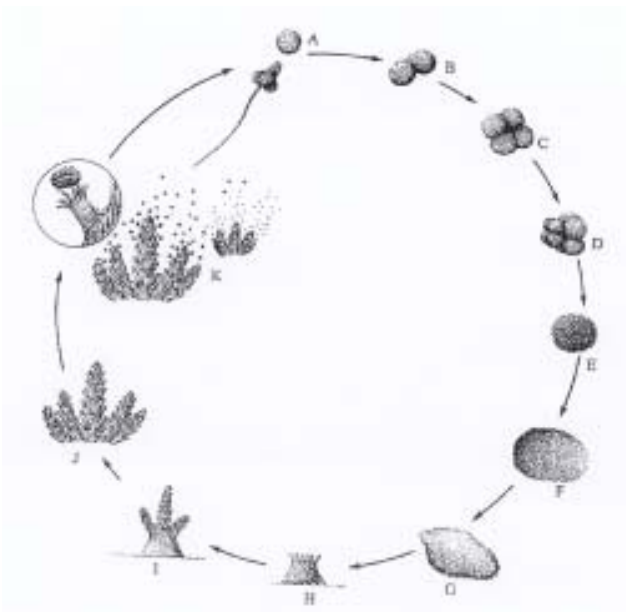
Berdasarkan waktu terjadinya spawning atau pelepasan planula (planulasi) pada karang dapat dikelompokkan kepada: 1) berhubungan dengan cahaya bulan, 2) berhubungan siklus pasang, atau faktor yang berhubungan. Namun sebagian besar peristiwa spawning terjadi berhubungan dengan siklus bulan, seperti yang peristiwa mass spawning di Pasifik, Great Barrier Reef dan di Barat Australia. Di Great Barrier Reef, periode mass spawning terjadi antara petang menjelang malam dan pertengahan malam, dan umumnya terjadi antara 4 sampai 8 hari mengikuti bulan purnama dipenghujung musim semi selama pasang perbani, terutama di bulan Oktober dan Nopember (Babcock et al., 1986; Bull, 1986; Willis dan Oliver, 1988). Pada saat tersebut merupakan masa peningkatan temperatur air laut dengan cepat, sebagai masa transisi menjelang temperatur maksimum pada musim panas. Pengaruh temperatur air juga ditemukan Perairan Taiwan, dimana pengaruh temperatur Perairan di daerah tersebut menyebabkan perbedaan waktu spawning mencapai dua bulan lebih dahulu pada karang yang berada disebelah selatan dibandingkan dengan yang berada di sebelah utara Taiwan.

4.6. Fertilisasi (Pembuahan)

Sebagian besar reproduksi secara seksual pada karang terjadi dengan cara spawning, yaitu sperma dan sel telur dilepaskan ke dalam kolom air, dan pembuahan mungkin terjadi di dasar atau di dalam kolom air. Dalam arti kata pembuahan dan embriogenesis terjadi di dalam kolom air. Hanya sebagian kecil yang melakukan reproduksi secara brooding, yaitu pembuahan dan embriogenesis terjadi di dalam tubuh induk, kemudian keturunan dikeluarkan dalam bentuk larva. Perkembangan kedua tipe reproduksi tersebut adalah sebagai berikut:

4.6.1. Karang Tipe Spawning

Karang tipe spawning melakukan pembuahan (fertilisasi) oosit oleh sperma di luar tubuh atau di dalam kolom air/di permukaan air. Fertilisasi dan embriogenesis karang tipe spawning sangat jelas dan jauh lebih mudah dalam pengamatannya. Sehingga penelitian tentang fertilisasi dan embriogenesis karang tipe spawning ini telah banyak dilakukan (Tranter et al., 1982; Heyward dan Babcock, 1985; Oliver dan Babcock 1992; Gilmour, 1999). Siklus reproduksi karang tipe spawning ini secara umum seperti Gambar 25.



Gambar 25. Siklus hidup karang bertipe spawning (Wallace, 2000).

Siklus hidup karang tipe spawning secara sederhana dapat digambarkan sebagaimana ditunjukkan Gambar 25. Proses dan siklus dari fertilisasi (A) sampai terbentuk planula (F) karang tipe spawning ini sama dengan proses embriogenesis karang tipe brooding dari proses fertilisasi (A) sampai terbentuk planula matang (F) yang terjadi di dalam tubuh induk karang tipe brooder (Gambar 39). K adalah karang dewasa yang sedang melakukan spawning, yang jantan akan mengeluarkan spermatozoa dan yang betina mengeluarkan oosit. Pertemuan oosit dan spermatozoa (fertilisasi) terjadi di dalam kolom air (A), kemudian disusul pembelahan pertama terjadi pada zigot (B). Dari pembelahan sel menjadi dua (B) berubah menjadi 4 sel embrio (C), dan kemudian membelah lagi menjadi 8 sel embrio. E adalah stadium blastula terbentuk dan F stadium awal planula yang kemudian berubah menjadi larva planula (G) sebagai planktonik. Gambar 25H menunjukkan planula menempel dan membentuk polyp muda dan skeletogenesis dimulai. Dari polyp muda berkembang dan percabangan mulai terbentuk (I), dan dengan perkecambahan berikut berubah kebalikan menjadi karang dewasa yang siap melakukan proses reproduksi kembali (K).

Pelepasan gamet umumnya terjadi dalam bentuk bundelan sebagaimana diterangkan sebelumnya. Pembuahan telur oleh sperma terjadi setelah telur terpisah satu sama lain dari bundelannya, mengingat telur karang yang dilepaskan ke dalam air pada umumnya belum sepenuhnya matang dan belum siap dibuahi sperma. Beberapa spesies dari kelompok *Favia* termasuk *Goniastrea favulus*, menunjukkan bahwa oosit sepenuhnya matang berkisar antara 15 sampai 30 menit setelah spawning. Hal ini menyebabkan oosit tidak mungkin matang sebelum terpisah dari bundelannya (Heyward dan Babcock 1986).

Konsentrasi sperma sangat menentukan tingkat keberhasilan fertilisasi telur pada hewan karang. Tingkat keberhasilan fertilisasi berada pada titik optimal konsentrasi sperma sendiri, tidak terlalu tinggi dan tidak terlalu rendah. Sehingga menyebabkan semakin rendah konsentrasi sperma semakin rendah tingkat keberhasilan fertilisasi (kecepatan fertilisasi), dan begitu juga bila semakin tinggi konsentrasi sperma bukan meningkatkan kecepatan fertilisasi, akan tetapi juga menyebabkan semakin rendah tingkat keberhasilan fertilisasi. Kecepatan fertilisasi sangat dipengaruhi oleh konsentrasi sperma. Konsentrasi sperma optimum karang untuk melakukan fertilisasi sekitar 105 -106 individu/liter. Oliver dan Babcock (1992) telah membuktikan hasil ini melalui eksperimen laboratorium yang

dilakukan pada tiga spesies karang, yakni *Montipora digitata*, *Platygyra sinensis* dan *Favites pentagona*.

Banyak faktor yang menyebabkan keberhasilan fertilisasi, diantaranya termasuk kualitas telur dan sperma, kualitas lingkungan (air), arus dan lain-lain. Sementara berhubungan dengan penurunan kecepatan fertilisasi pada konsentrasi sperma yang rendah termasuk disebabkan penurunan kesempatan pertemuan antara sperma dengan telur. Sementara kecepatan fertilisasi menurun juga dengan peningkatan konsentrasi dari konsentrasi optimal disebabkan kombinasi pengaruh penurunan oksigen yang menyebabkan peningkatan karbon dioksida (CO₂) dan terjadinya penurunan pH. Keadaan yang sama juga terjadi pada organisme lain selain hewan karang, seperti pada echinoid dan ascidian yang telah diterangkan dengan sangat rinci oleh Chia dan Bickell (1983), dan pada bivalve *Mytilus edulis* yang telah dibahas oleh Ginzburg dalam Sprung dan Bayne (1984).

Berhubung proses fertilisasi berada di alam terbuka bagi karang tipe spawning, proses fertilisasi sangat sensitive bagi karang tipe *spawning* tersebut, dimana pembuahan terjadi di dalam kolom air dan juga sangat dipengaruhi oleh kualitas air. Peningkatan kekeruhan (padatan tersuspensi) sedikit saja akan berpengaruh signifikan terhadap keberhasilan fertilisasi telur oleh sperma karang. Padatan tersuspensi di dalam air dapat menghalangi proses fertilisasi telur di dalam air. Disamping menghalangi proses fertilisasi telur oleh sperma, padatan tersuspensi di dalam air juga merusak sperma sehingga menurunkan jumlah telur yang dibuahi.

Fertilisasi pada karang dapat dibagi menjadi dua, yaitu pembuahan sendiri (*self fertilization*) dan pembuahan silang (*cross fertilization*). Pembuahan sendiri kemungkinan besar dilakukan karang bersifat hermaphrodit, terutama untuk spesies yang memiliki siklus dan waktu kematangan gamet tidak sama diantara koloni satu dengan yang lainnya. Termasuk jenis karang yang bersifat hermaphrodit yang memiliki sifat dimana oosit melekat di dasar perairan. Seperti yang dijumpai pada karang *Goniastrea favulus* (Kojis dan Quinn, 1981). Termasuk untuk karang tipe hermaphrodit spawning yang melakukan spawning secara sinkron diperkirakan juga bisa terjadi karena gamet pada umumnya karang bersifat mengapung di permukaan air sampai terbentuk planula.

4.6.2. Embriogenesis Karang Tipe *Spawning*

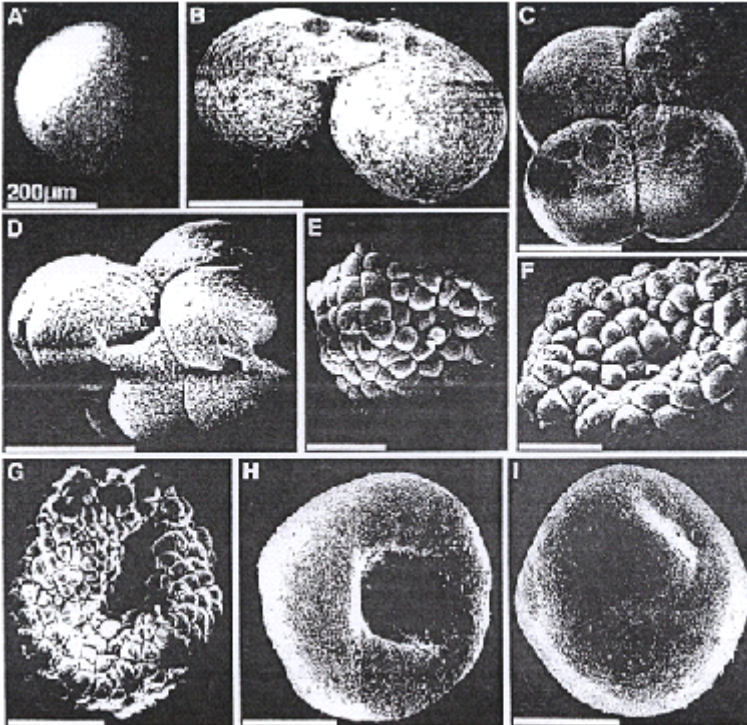
Embriogenesis dimulai dengan proses fertilisasi telur oleh sperma di dalam air. Proses embriogenesis pada karang tipe *spawning* yang terjadi di luar tubuh induk jauh lebih pendek membutuhkan waktu dibandingkan dengan pembuahan dan embriogenesis di dalam tubuh. Embriogenesis pada karang tipe *brooding* memakan waktu selama 4 hari, sementara pada karang tipe *spawning* memakan waktu antara 6 sampai 24 jam. Embriogenesis karang tipe *spawning* *Astrangia danae* membutuhkan waktu hanya antara 6 sampai 8 jam, akan tetapi pada umumnya embriogenesis karang tipe *spawning* memakan waktu antara 14 sampai 24 jam.

Telur yang diproduksi karang tipe *spawning* diperkirakan belum matang pada saat dilepaskan, dan baru matang setelah beberapa saat berada di dalam air. Beberapa spesies dari kelompok *Favia* termasuk *Goniastrea favulus* diketahui baru matang setelah 15 sampai 30 menit setelah *spawning*. Bagi karang *hermaprodit* yang melepaskan gamet dalam bentuk bundelan diperkirakan melakukan *fertilisasi* setelah terpisah dari bundelannya. Hal ini menyebabkan *oosit* tidak mungkin matang sebelum terpisah dari bundelannya. Telur karang yang dibuahi mulai membelah sekitar 2 jam setelah *spawning*, dan berubah menjadi *blastula* setelah 2 sampai 10 hari. Pada umumnya karang, *embrio* mulai bergerak 36 jam setelah *spawning*, dan pergerakan penuh dicapai menjelang 48 jam. Proses perkembangan dari telur sampai terbentuknya *planula* dapat dilihat pada Gambar 26.

Tingkat keberhasilan fertilisasi telur karang dipengaruhi oleh konsentrasi sperma. Semakin rendah konsentrasi sperma semakin rendah tingkat keberhasilan fertilisasi (kecepatan fertilisasi), dan begitu juga bila semakin tinggi konsentrasi sperma bukan meningkatkan kecepatan fertilisasi, akan tetapi juga menyebabkan semakin rendah tingkat keberhasilan fertilisasi. Kecepatan fertilisasi sangat dipengaruhi oleh konsentrasi sperma. Konsentrasi sperma optimum karang untuk melakukan fertilisasi sekitar 105 -106 individu/liter. Oliver dan Babcock (1992) telah membuktikan hasil ini melalui eksperimen laboratorium yang dilakukan pada tiga spesies karang, yakni *Montipora digitata*, *Platygyra sinensis* dan *Favites pentagona*.

Penurunan kecepatan fertilisasi pada konsentrasi sperma yang rendah kemungkinan disebabkan penurunan kesempatan pertemuan antara sperma dengan telur. Sementara kecepatan fertilisasi menurun juga dengan peningkatan konsentrasi dari konsentrasi optimal disebabkan kombinasi pengaruh penurunan oksigen yang

menyebabkan peningkatan karbon dioksida (CO₂) dan terjadinya penurunan pH. Keadaan yang sama juga terjadi pada organisme lain selain hewan karang, seperti pada echinoid dan ascidian yang telah diterangkan dengan sangat rinci oleh Chia dan Bickell (1983), dan pada bivalve *Mytilus edulis* yang telah dibahas oleh Ginzburg dalam Sprung dan Bayne (1984).



Gambar 26. Embriogenesis karang *Acropora*. A), oosit yang belum dibuahi; B), oosit sedang membentuk cleavage (belahan); C), 4 sel embrio membentuk ukuran yang sama blastomeres; D), 16 sel sedang menunjukkan penggabungan pseudopiral; E), lubang shperical blastula terbentuk; F), blastula mendarat dan menjadi cekung, menjelang masa untuk gastrulasi; G), gastrula terbentuk dengan terjadinya penggabungan sisi dari setiap sisi blastula dengan sebuah lubang oral terbentuk dimana sisi embrio yang bersentuhan; H), larva terbentuk dengan adanya perbedaan dan migrasi sel-sel; I), larva planula dan silia serta lubang oral (oral pore) terbentuk (SEM dipersiapkan oleh F. Pantus dan B. Willis dalam Wallace, 2000).

4.7. Karang tipe brooding sekaligus dengan spawning

Karang yang memiliki kedua tipe *brooding* sekaligus melakukan reproduksi secara spawning ini baru dilaporkan pada dua jenis karang. Kedua jenis karang tersebut adalah *Goniastrea aspera* dan *Pocillopora damicornis*. Namun tidak pada semua perairan yang ditemukan kedua spesies ini melakukan reproduksi dengan cara *brooding* sekaligus dengan cara spawning. Untuk karang *G. aspera* hanya yang ditemukan di Perairan Okinawa (Sakai, 1997), dan untuk *P. damicornis* hanya yang dijumpai di sebelah barat Australia (Ward, 1992).

4.8. Reproduksi Secara Aseksual

Karang sebagai kelompok hewan tingkat rendah memiliki kemampuan melakukan reproduksi secara seksual dan aseksual. Pada awal perkembangan ilmu mengenai karang sampai pertengahan tahun 1980-an, reproduksi secara seksual pada karang dipercaya hanya satu-satunya melalui proses *brooding*, dimana pembuahan dan embriogenesis terjadi di dalam tubuh induk betina, kemudian setelah matang anak karang dikeluarkan dalam bentuk larva yang disebut planula (planulae = jamak). Dengan perkembangan ilmu pengetahuan diketahui bahwa larva planula sendiri yang diproduksi karang tidak semuanya dihasilkan secara seksual. Terutama dari kelompok planulae karang tipe brooding ditemukan bahwa planulae yang diproduksi juga ditemukan dengan cara aseksual.

Hewan karang dalam melakukan reproduksi dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu 1) secara seksual, 2) secara aseksual, dan 3) secara seksual dan secara aseksual. Sebagian besar melakukan reproduksi secara seksual dan sebagian kecil melakukan reproduksi secara aseksual. Reproduksi secara aseksual dapat dikelompokkan menjadi 4, yaitu secara *brooding*, secara fragmentasi, *polyp bail-out* dan *polyp expulsion*. Reproduksi secara *brooding* melahirkan keturunan dalam bentuk larva, namun larva yang diproduksi dapat dibagi menjadi dua, yaitu secara seksual dan secara aseksual.

4.8.1. Brooding

Karang tipe *brooding* merupakan karang yang melakukan embriogenesis di dalam tubuh induk dan keturunan yang dilahirkan dalam bentuk larvae yang diberi nama planulae. Untuk karang,

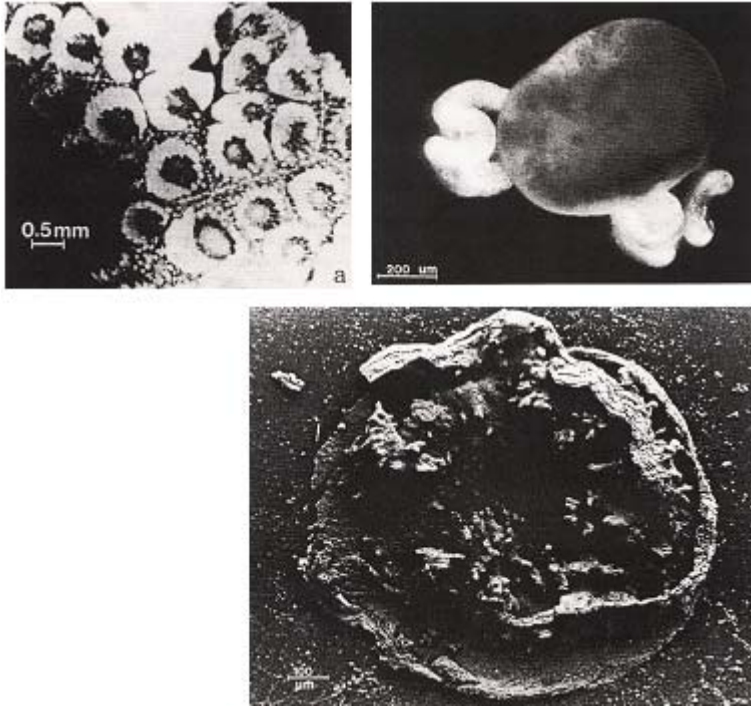
embrio atau planula (planulae = jamak) yang diproduksi dapat dibagi ke dalam dua kelompok, yaitu yang diproduksi secara seksual dan yang diproduksi secara aseksual. Karang scleractinia yang melakukan reproduksi secara *brooding* pada umumnya memproduksi planulae secara seksual atau melalui proses perkawinan, yang didahului oleh fertilisasi telur oleh sperma di dalam tubuh induk. Kemudian setelah terbentuk zigot dilanjutkan embriogenesis masih di dalam tubuh induk, dan kemudian setelah matang dikeluarkan dalam bentuk larva planulae. Sebaliknya sebagian kecil karang scleractinia tipe brooding diketahui memproduksi larvae secara aseksual. Seperti planulae yang diproduksi secara aseksual terjadi pada karang *Pocillopora damicornis* (Stoddart, 1983), dan pada karang *Tubastrea coccinea* serta *T. diaphana* yang juga memproduksi planula secara aseksual (Aire dan Resing, 1986).

4.6.2. *Polyp bail-out*

Polyp bail-out adalah respon karang terhadap stres yang disebabkan terjadinya perubahan lingkungan. Proses terjadinya *polyp bail-out* ada tiga, yaitu: 1) isolasi individu polip melalui daerah pergerakan polip dari coenosarc, 2) pelepasan polip dan terpisah dari skeleton, dan 3) menyebar, dan kemudian melekat kembali pada substrat, dan kemudian memproduksi skeleton baru (Sammarco, 1982). Kemampuan beradaptasi polip ini cukup tinggi sehingga menyebabkan mortalitas polip yang mengalami reproduksi secara *bail-out* ini sangat rendah. Keadaan ini didukung oleh kemampuan untuk menempel kembali polip *bail-out* pada substrat baru hampir 100 %, yakni sekitar 95 % dari jumlah *polyp bail-out* keseluruhan. Kemampuan polip-polip yang memisahkan diri dari koloni induknya ini mampu menempel dan melekat kembali serta memproduksi skeleton dalam 9 hari (Gambar 27).

Proses terjadinya reproduksi dengan *polyp bail-out* dimulai dengan pergerakan coenosarc polip tersebut. Tumpukkan berwarna coklat pada individu polip dan disekelilingnya secara sederhana mengalami penipisan tisu secara progressif terlebih dahulu. Permukaan tisu karang kemudian menjadi lebih tipis dan skeleton menjadi menonjol ke permukaan. Polip-polip inipun sebenarnya telah terpisah dari skeleton, tetapi tetap bisa memisahkan diri dari koloni induk sampai sepenuhnya tisu tipis yang pada permukaan karang sepenuhnya terputus. Kemudian disusul secara perlahan-lahan polip-polip ini melepaskan diri dari calic dan terpisah dari skeleton. Peristiwa

pelepasan ini memakan waktu sekitar 30 menit sampai beberapa jam. Sementara waktu yang dibutuhkan untuk satu koloni mencapai 2 sampai 3 hari.



Gambar 27. *Polyp bail-out* dari *Seriatopora hystrix* dalam keadaan bebas yang memiliki dua filamen yang berbentuk coil (b). a, Salah satu corallite pada koloni telah kosong ditinggalkan polip, dan c, Gambar SEM skeleton yang dihasilkan *polyp bail-out* sekitar 7-9 hari setelah *bail-out* (Sammarco, 1984).

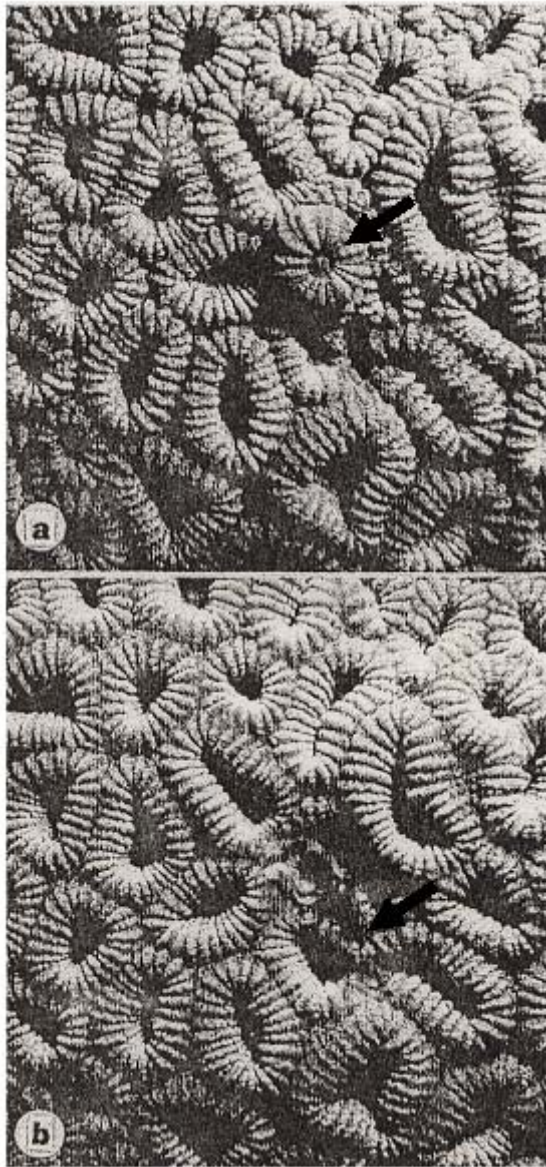
Individu polip yang baru saja melepaskan diri dari koloni induk biasanya memiliki bentuk permukaan oral yang bulat dan gastrovascular yang terbuka. Sementara tentakel tidak begitu kelihatan, akan tetapi memiliki zooxanthellae. Pada bagian aboral bagian tisu yang memisahkan diri dari skeleton memiliki dua filamen yang biasanya berbentuk melingkar yang diduga mesenterial filamen, yang mampu melakukan kontraksi baik memanjang maupun memendek.

Polip yang melepaskan diri dari koloni induknya memiliki daya apung agak negatif, yang kemudian secara perlahan-lahan tenggelam ke dasar container setelah melepaskan diri dari koloni induk bila diamati di laboratorium. Kemampuan bergerak sangat terbatas, akan tetapi muda bergerak dengan adanya sedikit sumber gerakan. Pada sebagian besar polip-polip ini memiliki filamen, dan kemudian diserap dan masuk ke dalam polip kembali dalam 7 hari. Beberapa polip melepaskan filamen-filamen dalam 48 jam. Dalam 7 hari sampai 9 hari, sebagian polip-polip bebas ini melekat kembali pada substrat dan kemudian membentuk tentakel baru.

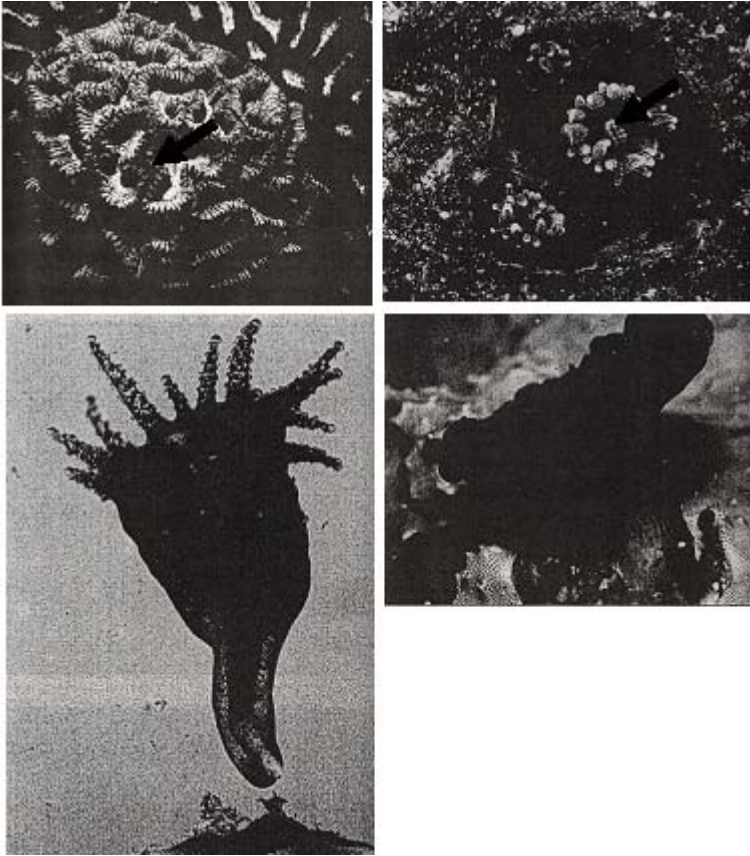
4.6.3. *Polyp Expulsion*

Teknik dan prosedur reproduksi karang dengan polyp-expulsion ini memiliki kesamaan dengan *polyp bail-out*. Reproduksi dengan *polyp-expulsion* terjadi pada karang tipe berkoloni dan prosesnya dimana polip memisahkan diri dari koloni induk. Jadi *polyp-expulsion* juga merupakan pemisahan diri individu polip dari suatu koloni karang. Dalam proses ini individu polip meninggalkan skeleton koloninya dan melekat serta tumbuh pada substrat baru yang ditempatinya. Perbedaan antara *polyp bail-out* dan *polyp-expulsion* adalah: *polyp bail-out* memiliki tentakel yang tidak begitu terlihat nyata, dan bagian aboral polip yang terpisah memiliki dua filamen berbentuk *coil*. Sementara *polyp-expulsion* dimana polyp yang melepaskan diri dari koloni induknya memiliki tubuh yang utuh, memiliki tentakel, mulut, dan organ lainnya, kecuali tidak disertai skeleton sebagaimana juga yang terjadi pada *polyp bail-out* (Gambar 28 dan 29).

Polyp expulsion merupakan pemisahan polip-polip dari koloni induk pada karang, dimana struktur polip yang memisahkan diri termasuk calice-nya. Fenomena ini berbeda dengan *polyp bail-out* dengan *polyp expulsion*. Pada *polyp bail-out* terjadi seluruh polip-polip dari calice. Beberapa diantaranya mengandung planula dan induk koloni yang ditinggalkan kemudian mati setelah seluruh polipnya terpisah. Berbeda dengan *polyp expulsion*, dimana polip yang memisahkan diri dari induk koloni yang secara fisiologi merupakan koloni yang sehat, dan



Gambar 28. Koloni karang yang ditinggalkan polip pada bagian tengah menjadi kosong (a). (b), *polyp-expulsion* dalam keadaan bebas; (c), *polyp-expulsion* menempel kembali pada substrat baru; dan (d) *polyp-expulsion* mulai tumbuh kembali membentuk polip muda (Wallace, 2000).



Gambar 29. Proses terjadinya *polyp expulsion* pada karang tipe massive *Favia fragum* (Kramarsky-Winter et al., 1997).

Seluruh polip-polip termasuk calice-nya melepaskan diri dari koloni induk. Sebagaimana yang terjadi pada karang *Favia fava* di Laut Merah dan *Oculina patagonica* di perairan pantai Laut Mediteranian Israel (Kramarsku-Winter et al., 1997).

Bekas polip yang melepaskan diri dari koloni induk melakukan regenerasi dalam dua minggu. Propagule baru kemudian menempel, tisuanya melebar termasuk tangkai dan pada substrat, serta polip membentuk koloni baru melalui pertunasan. Di laboratorium, propagule *O. patagonica* dan *F. fava* berkembang dan tumbuh menjadi koloni baru dalam dua bulan. Peristiwa ini ditemukan pada daerah yang menderita kronis sedimentasi, selama musim panas dan musim gugur ketika temperature air laut lebih tinggi dari 26°C di Laut Eilat dan sekitar 29°C di Laut Mediteranian. Akan tetapi peristiwa ini hanya

terjadi pada perairan dangkal dan tidak dijumpai lebih dalam dari 4 m di Laut Merah serta tidak lebih dalam dari 7 m di Laut Mediteranian. Daerah yang selalu mengalami perubahan dengan mudah menandakan kejadian yang hanya terjadi di perairan dangkal, dan yang merupakan perairan yang selalu menerima berbagai pengaruh dari daratan.

Peristiwa pelepasan polip dari koloni induknya dapat dilihat pada Gambar 98 sebagai mana yang terjadi pada spesies karang *Favia fragum*. Pada awalnya polip yang akan melepaskan diri terangkat dan kelihatan lebih menonjol dari polip-polip lainnya dalam suatu koloni (Gambar 29A). Polyp yang sedang terangkat ini dapat terlihat pada individu polip bagian tengah koloni (panah hitam) secara bertahap melepaskan diri polip dari koloni induk, dan setelah sepenuhnya terlepas dari koloni induk kemudian polip bergerak mengikuti arus air sampai menemukan substrat dan lingkungan yang cocok untuk melekat dan kembali melanjutkan kehidupannya seperti Gambar 29C-D. Polip yang melepaskan diri meninggalkan corallite pada koloni induk (Gambar 29B). Corallite yang ditinggalkan polip ini akan ditutupi tissu kembali dalam periode waktu 2 hari.

4.6.4. *Fragmentasi*

Reproduksi dengan fragmentasi terjadi pada tumbuhan hewan. Khususnya dalam kelompok hewan umumnya terjadi pada hewan tingkat rendah. Reproduksi secara aseksual dengan fragmentasi terjadi bila fragmen bisa beradaptasi, dan mampu berkembang sebagai hasil dari seleksi alam, mempengaruhi bentuk dan sifat mekanik dari koloni berbentuk bercabang (Cook, 1979; Highsmith, 1982; Highsmith *et al.* 1980). Dalam buku ini mengacu pada proses pembentukan individu baru (jenis sama dengan induknya), dan secara sederhana suatu organisme bisa dikatakan memiliki kemampuan bereproduksi secara fragmentasi bila fragmen yang terbentuk mampu bertahan hidup, membentuk individu baru, melanjutkan kehidupan dan mampu melanjutkan fungsi yang dialami induknya dalam berkembang biak. Tetapi yang menjadi kunci sebagai organisme yang hidup melekat di dasar perairan (substrat) terletak pada kemampuan fragmen sendiri untuk melekat kembali pada substrat dimana fragmen terdampar di dasar perairan.

Reproduksi dengan fragmentasi berbeda dengan penambahan jumlah polip suatu koloni dalam proses pertumbuhan koloni. Terutama antara konteks reproduksi dengan fragmentasi dan penambahan polip-

polip baru dalam suatu koloni. Dalam arti kata, reproduksi secara aseksual dipisahkan antara pertumbuhan dengan penambahan individu-individu polip baru dalam suatu koloni dengan pembentukan koloni baru yang terjadi pada reproduksi dengan aseksual.

Proses melekat kembali fragmen karang terhadap substrat dapat dibedakan menjadi dua cara (Tunncliffe, 1983; Thamrin 2005), yaitu: 1) Karang sendiri mengalami pertumbuhan yang berlebihan dan menempel kembali pada substrat, dan 2) Bagian yang mati pada bagian dasar karang melengkat kembali pada substrat dengan proses semenisasi. Proses semenisasi ini dilakukan oleh *coralin algae* atau oleh foraminifera dari spesies *Gypsina plana* Carter. Sementara proses melekat kembali yang dilakukan fragmen sendiri ditemukan pada karang *A. Fruinosa*. Fragmen (patahan koloni karang yang terpisah dari induknya) *A. fruinososa* mampu bertahan hidup selama penelitian dilakukan di *Amakusa Marine Biological Laboratori (AMBL) Kyushu University*, Jepang. Dalam penelitian ini menunjukkan 100 persen sampel bertahan hidup sampai berakhirnya penelitian (12 minggu). Bagian sampel yang mengalami patah yang memisahkan fragmen dari induk koloni tidak memiliki tisu sesuai dengan besar lingkaran percabangan koloni yang membentuk fragmen. Pada fragmen spesies *A. fruinososa* yang patah ini memiliki diameter sekitar 2 cm, dan mampu ditutupi tisu yang berasal dari polip disekitar patahan dalam waktu kurang dari satu minggu. Sehingga bagian patah yang tidak memiliki tisu ini tertutup kembali oleh tisu menjelang minggu ke dua.

Hewan karang memiliki beragam variasi bentuk pertumbuhan, mulai dari bentuk folioceus, mengikuti kontur permukaan dasar substrat, bulat, agak bercabang sampai bentuk bercabang. Dalam proses pembentukan fragmen yang disebabkan beragam faktor, bentuk pertumbuhan bercabang lebih memungkinkan terjadi dengan mudah membentuk fragmen. Namun beberapa jenis karang massive (bentuk bulat) juga ditemukan melakukan reproduksi dengan cara fragmentasi. Dalam arti kata reproduksi dengan fragmentasi tidak hanya terjadi pada bentuk pertumbuhan karang bentuk bercabang yang lebih rentan terhadap gangguan bersifat fisika. Hal ini disebabkan koloni karang tipe bercabang lebih mudah patah oleh faktor fisika (seperti ombak atau badai) atau faktor biologi (predasi oleh ikan). Patahan karang yang lepas dari koloni induk, dapat menempel kembali di dasar dan membentuk tunas serta koloni baru. Hal itu hanya dapat terjadi jika patahan karang masih memiliki jaringan tubuh (tisu) yang masih hidup, kecuali bagi proses melekat kembali dengan subtrat fragmen karang dibawa kendali koralin algae.

Mortalitas fragmen karang di alam pada dasarnya sangat ditentukan oleh bentuk pertumbuhan koloni, jenis (spesies), ukuran fragmen, kecepatan arus dan substrat dimana fragmen terdampar. Kelebihan karang bentuk bercabang dalam melakukan reproduksi secara aseksual melalui fragmentasi meliputi: 1) bentuk koloni bercabang memungkinkan hanya sebagian kecil individu polip karang yang bersentuhan dengan substrat tempatnya terdampar. 2) Bentuk koloni bercabang akan membentuk kaki-kaki untuk berdiri lebih kokoh bagi koloni baru sehingga bila jatuh pada substrat pasir sekalipun akan memiliki kesempatan untuk tetap bertahan hidup (Gambar 30). 3) Untuk melekat kembali pada substrat baru dilakukan oleh polip yang bersentuhan dengan substrat. Pada fragmen karang tipe bercabang, setiap polip yang bersentuhan dengan substrat tetap memiliki kesempatan besar untuk menerima cahaya yang dibutuhkan oleh zooxanthellae yang berada di dalam jaringan tubuh fragmen. 4) Fragmen koloni bercabang menerima tekanan arus jauh lebih rendah dibandingkan bentuk massive yang akan menyebabkan fragmen jatuh lebih jauh dari koloni induk sehingga jatuh pada perairan lebih dalam. 5) Karang tipe bercabang pada umumnya memiliki pertumbuhan koloni lebih cepat dari spesies lain. Sehingga sangat mendukung usaha fragmen untuk melekat kembali dengan cepat, karena untuk melekat kembali pada substrat pada umumnya karang dengan membentuk fondasi atau telapak baru.

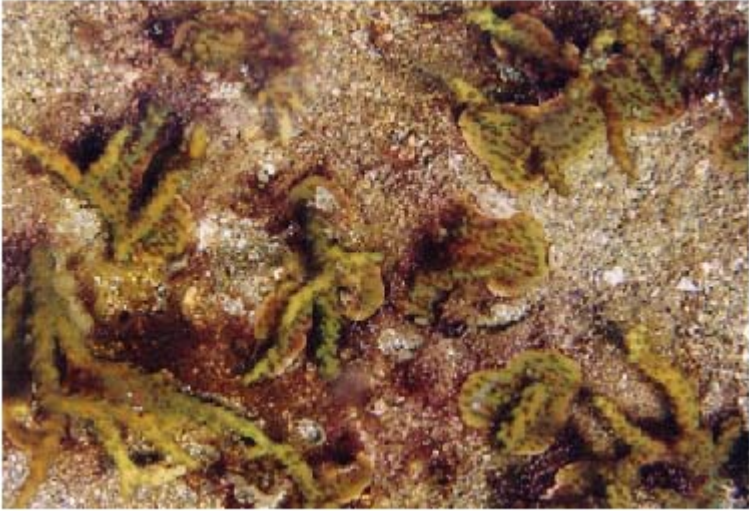
Pada sebagian besar fragmen karang dari karang tipe bercabang ditutupi oleh tisu atau permukaan yang hidup. Bila fragmen karang tipe bercabang tersangkut pada substrat yang keras berkemungkinan akan membentuk koloni baru. Proses melekat kembali fragmen dilakukan oleh tisu fragmen karang yang bersentuhan dengan substrat, sehingga berbentuk seperti pondasi atau telapak baru. Telapak baru fragmen tumbuh kesegala arah mengikuti substrat tempat menempel dari polip-polip dan tisu yang bersentuhan dengan substrat. Dalam pembentukan telapak baru, tisu tumbuh melebar dan diikuti penambahan polip-polip baru dan di bawah polip-polip dan tisu yang tumbuh melebar dari fragmen disertai penumpukan kalsium karbonat yang menyebabkan fragmen melekat kembali pada substrat (Gambar 31).

Beberapa faktor umum yang mempengaruhi reproduksi dengan fragmentasi meliputi: 1) ukuran fragmen, 2) tipe substrat tempat fragmen mendarat, dan 3) jenis karang. Hubungan antara ukuran fragmen dan survival fragmen tidak konsisten, namun ada kecenderungan kelulusan hidup meningkat dengan meningkatnya ukuran fragmen. Fragmen berukuran besar memiliki kelulusan hidup yang lebih baik dari yang

berukuran kecil (Smith dan Hughes, 1999). Tipe substrat tempat fragmen mendarat juga berpengaruh besar terhadap kelulusan hidup fragmen, dimana kelulusan hidup lebih tinggi terjadi pada substrat padat atau keras. Kelulusan hidup fragmen juga dipengaruhi oleh kecepatan pertumbuhan bentuk dan posisi fragmen yang terbentuk. Bagi jenis karang yang memiliki kecepatan pertumbuhan yang cepat memiliki pengaruh terhadap fragmen untuk melekat kembali juga lebih cepat, termasuk juga berpengaruh terhadap kecepatan penutupan skeleton patahan yang tidak memiliki tisu oleh fragmen.



Gambar 30. Fragmen-ragmen karang *Acropora fruinosa* terpisah dari koloni utama dan berserakan di atas pasir setelah mengalami kerusakan. Gambar 47B terlihat lebih jelas polip-polip pada fragmen sedang memanjang (Foto oleh Thamrin).



Gambar 31. Fragmen karang *Acropora fruinosa* di atas substrat pasir tetap hidup dan berkembang (Foto oleh Thamrin).

Keadaan di alam jauh berbeda bila dibandingkan dengan di laboratorium yang jauh dari pengaruh arus, predator, dan lain-lain. Seperti pengaruh angin topan di Terumbu Karang Belize pada 18 September 1978 mencapai kedalaman 25 m, dan diperkirakan sekitar 35 % fragmen yang terlepas dari koloninya tetap bertahan hidup. Sementara dari eksperimen yang dilakukan Smith dan Hughes, (1999) pada tiga spesies *Acropora* memiliki kelulusan hidup yang berbeda, dimana fragmen *A. intermedia* memiliki kelulusan hidup yang paling tinggi, yakni 32 % dan bertahan hidup selama 17 bulan, dibandingkan dengan *A. millepora* 15 % dan hanya 8 % untuk spesies *A. hyacinthus*. Pada eksperimen di laboratorium yang dilakukan pada fragmen *A. fruinosa* mampu hidup 100 %, dan 95% fragmen mampu melekat kembali pada substrat dalam 10 minggu.

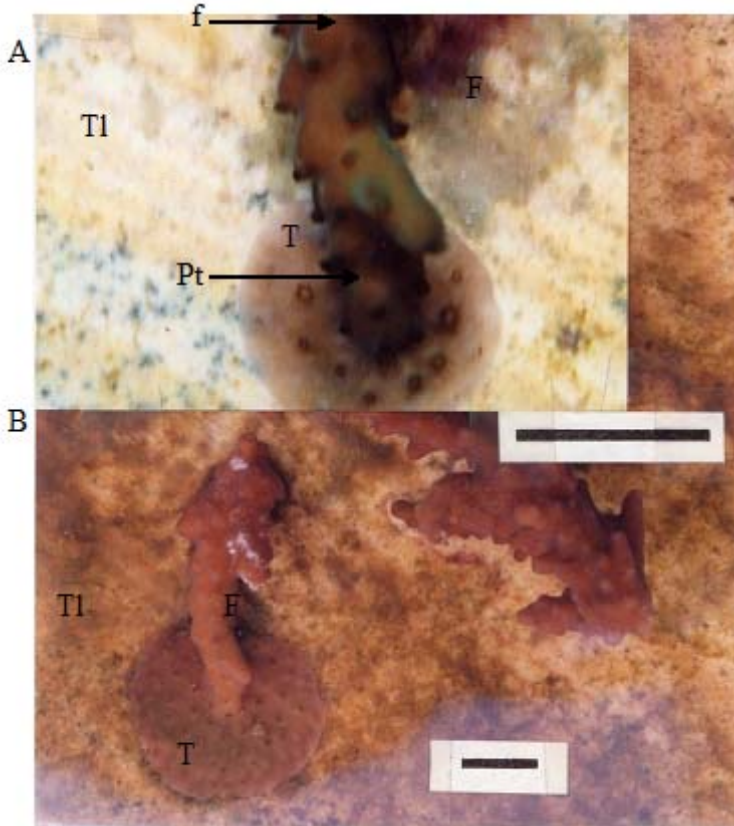
Fragmen karang *A. fruinosa* mulai melekat pada substrat menjelang minggu ke empat, dan memasuki minggu ke 10 jumlah fragmen yang mampu melekat kembali berkisar antara 93,75 % sampai 100 % dengan rata-rata 95,52 %. Jumlah rata-rata fragmen yang melekat kembali pada substrat pada minggu ke empat mencapai 40,89 %. Kecepatan melekat kembali fragmen pada substrat meningkat hampir secara beraturan menjelang minggu ke 10.

Proses melekat kembali fragmen karang *A. fruinosa* pada substrat tempatnya terdampar dilakukan oleh polyp dan tisu fragmen yang bersentuhan dengan substrat tersebut, dengan pertumbuhan tisu secara melebar pada substrat dari polip-polip dan tisu fragmen yang bersentuhan dengan substrat. Pada tisu fragmen yang tumbuh melebar pada substrat tersebut juga disertai kemunculan dan pertumbuhan polip-polip baru. Pada bagian bawah tisu yang tumbuh pada substrat tersebut terjadi penumpukkan kalsium karbonat untuk skeleton sebagai penopang polip-polip yang baru terbentuk. Proses melekat kembali fragmen-fragmen pada substrat dimana fragmen terdampar dilakukan oleh kalsium karbonat yang dihasilkan oleh polip-polip dan tisu fragmen karang yang bersentuhan dengan substrat. Pertumbuhan tisu fragmen secara melebar diikuti peningkatan ukuran tinggi (tebal), disebabkan penumpukan kalsium yang terus terjadi baik dilakukan polip yang lama yang melekat pada fragmen maupun polip yang baru terbentuk pada tisu yang tumbuh melebar pada substrat tersebut (Gambar 31).

Seperti hasil percobaan fragmen karang *A. fruinosa*, pertumbuhan terjadi pada setiap ujung fragmen, baik pada bagian ujung percabangan yang asli pada saat fragmen bersatu dengan koloni induk maupun pada bagian ujung yang mengalami patah. Arah pertumbuhan tetap mengarah ke atas, walaupun pada awal arah pertumbuhan mengikuti arah ujung percabangan. Bila posisi arah percabangan mengarah ke bawah, pertumbuhan fragmen pada awalnya tumbuh ke arah bawah, tetapi kemudian arah pertumbuhan membengkok mengarah ke arah atas. Sehingga ujung fragmen yang mengarah ke bawah (baik ujung yang patah maupun ujung percabangan) tetap mengalami arah pertumbuhan ke atas.

Gambar 31 di atas merupakan sebuah eksperimen kemampuan fragmen karang *Acropora fruinosa* untuk melekat kembali pada substrat ubin batu alam. Fragmen mulai melekat pada substrat minggu ke tiga penelitian, dan proses melekat kembali fragmen pada substrat dengan kemampuan fragmen sendiri, bukan melalui bantuan proses lainnya. Minggu ke lima pada beberapa fragmen karang yang bersentuhan dengan substrat terlihat terbentuk pelebaran pertumbuhan koloni pada substrat. Kecepatan pertumbuhan berlebihan terjadi pada bagian fragmen yang bersentuhan dengan substrat untuk melekat kembali sebagai telapak baru fragmen (koloni baru), sebagaimana yang dikemukakan Tunnicliffe (1983) pada kesimpulan pertama cara melekat kembali fragmen karang. Gambar

32 di menunjukkan mekanisasi fragment *A. fruinosa* dan kemampuannya untuk melekat kembali pada substrat ubin yang disediakan selama 13 minggu penelitian.




Gambar 32. Pertumbuhan telapak untuk melekat kembali fragmen karang *Acropora fruinosa* pada substrate ubin. A) pertumbuhan telapak fragmen setelah 5 minggu; B) pertumbuhan telapak fragmen setelah 13 minggu; F, fragmen; T, telapak baru fragmen untuk menempel; TI, tile. Pf, polip pada fragmen; dan Pt, polip pada telapak fragmen yang sedang berkembang (Foto oleh Thamrin).

Reproduksi Aseksual dengan fragmentasi berperan besar dan lebih penting dalam siklus hidup beberapa jenis karang, terutama pada karang yang memiliki bentuk koloni bercabang. Seperti fragmen

Acropora intermedia, *A. Millepora*, *A. hyacinthus*. Reproduksi secara aseksual hewan karang diantaranya dikendalikan oleh faktor intrinsic, seperti partenogenesis, pertunasan atau budding, dan *fussion*. Bentuk lainnya ada yang lebih pasif yang difasilitasi oleh pengaruh *extrinsic*, seperti patah terinjak dan fragmentasi. Fragmen pada karang dan organisme yang berada pada terumbu karang terjadi disebabkan oleh predasi, bioerosi, gempa bumi dan angin topan. Disamping hewan karang, sebagian besar organisme terumbu karang yang terpengaruh oleh faktor-faktor tersebut meliputi karang bercabang, gorgonia, zoanthid, stony hydrozoa, alcyonacean dan sponge (Smith dan Hughes, 1999).

Reproduksi dengan fragmentasi memiliki keuntungan terhadap genetik, dimana semua koloni diperoleh dari rekrut jenis kelamin yang sama memiliki kesempatan yang besar. Reproduksi dengan fragmentasi juga berpotensi membuat perkembangan dan distribusi spesies yang sama serta spesies dengan genetik yang sama semakin berlimpah secara lokal. Keadaan ini dapat menyebabkan kehadiran koloni baru suatu spesies dapat berasal dari sebuah potongan kecil dari clone berdampingan (Hunter 1993). Fragmen karang yang hidup diperkirakan akan berpindah secara pasif sampai sepuluh meter, yang disebabkan oleh pergerakan air atau grafitasi (Heyward dan Collins 1985, Dollar dan Tribble 1993). Disamping itu juga memungkinkan kolonisasi suatu habitat dimana larva tidak berkembang disebabkan habitat tidak stabil untuk menempel, seperti daerah berpasir di daerah pinggiran terumbu karang (Highsmith 1980; Bothwell 1993).

Kelemahan reproduksi dengan fragmen secara fisiologi dapat menurunkan kemampuan fragmen dalam bereproduksi secara seksual. Reproduksi secara aseksual dengan fragmentasi pada karang berbeda dengan organisme tingkat tinggi seumpama dari kelompok tumbuhan yang berasal dari hasil pencangkokan. Pada tumbuhan hasil cangkokan yang sebagian besar mampu berbuah segera setelah dipisahkan dari induknya. Berbeda dengan fragmen karang yang berasal dari kelompok hewan yang terpisah dari induknya. Fekunditas koloni karang sangat tergantung pada ukuran fragmen (Harrison dan Wallace 1990; Haqll dan Hughes 1996). Karena fragmen yang berukuran lebih kecil akan kehilangan kemampuan dalam bereproduksi secara seksual, sekurang-kurangnya dalam masa temporal sampai bagian yang rusak kembali normal dan tumbuh lebih besar (Kojis dan Quinn, 1985; Szmant-Froelich, 1985).



Bab 5

MANFAAT TERUMBU KARANG

Terumbu karang ditemukan di perairan dangkal yang jernih dan hangat dari daerah tropis sampai daerah sub-tropis. Perairan tropis pada dasarnya dikenal sebagai daerah yang miskin unsur hara, namun dengan kehadiran terumbu karang merubah kondisinya menjadi lingkungan yang paling subur di dunia. Kondisi ini menyebabkan daerah terumbu karang memiliki kesuburan mencapai dua kali lipat dibandingkan perairan disekitarnya yang tidak memiliki terumbu karang. Dalam arti kata bahwa kehadiran terumbu karang berperan besar dalam meningkatkan kesuburan suatu perairan.

Struktur terumbu berperan sebagai dasar untuk menjadi ekosistem yang memiliki keanekaragaman tertinggi di planet ini, dan mendukung luar biasa kecepatan pertumbuhan produksi primer (Adey and Steneck, 1985). Sebagai contoh walaupun terumbu karang hanya menempati kurang dari 0,2 % (600,000 km²) luas dasar laut keseluruhannya (Smith, 1978), namun terumbu karang ditempati lebih dari 25% dari seluruh jenis organisme laut yang sudah diketahui (Bryant et al., 1998). Terumbu karang diantaranya memainkan peranan sangat penting sebagai habitat dan nursery grounds untuk 10% sampai 20% perikanan dunia (Coral reefs, 2000).

5.1. Pengendali Keanekaragaman Hayati

Terumbu karang daerah tropis dapat menjadi topografi yang sangat besar dan mendukung keanekaragaman spesies dan produktifitas jauh melebihi batasan habitatnya (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 fotosintesis, zooxanthellae memfasilitasi kalsium karbonat (Goreau, 1959). Hasil fotosintesis 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 di daerah terumbu karang disebabkan beberapa faktor, yaitu: 1) kelebihan sumberdaya, dimana sumberdaya yang dibutuhkan organisme yang menempatnya melebihi kebutuhan organisme yang menempatnya, dan oleh karena itu kompetisi dan penyingkiran salah satu kompetitor tidak terjadi (Huston, 1994; Karlson and Levitan, 1990; Karlson and Hurd, 1993; Doherty and Fowler, 1994 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 dari yang berukuran paling besar sampai yang berukuran paling kecil (mikro).

Kelebihan yang dimiliki terumbu karang menciptakan produktifitas yang luar biasa besar. 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 berdapangan dengan rataan terumbu dan bakteri di dalam sedimen, sea grass beds dan mangroves.

Fauna laut tropis sangat berperan dalam mendistribusikan nutrien. Sehingga pergerakan massa nutrien antara seagrass meadows (rumput laut), 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). Sehingga ekosistem ini berperan besar dalam mendukung sumberdaya penting lainnya baik secara langsung maupun tidak langsung, dan sumberdaya ini diantaranya adalah: 1). Sumber makanan dan tempat berlindung bagi hewan seperti ikan, ketam, lobster, tridakna dan lain-lain.; 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 karang, 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 bawah air terumbu karang yang luar biasa ini adalah ekosistem yang sangat kompleks, dan 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. Sementara lebih mencengangkan lagi bahwa pada kenyataannya diperkirakan lebih dari satu juta spesies organisme pada terumbu karang masih belum teridentifikasi.

Nilai ekonomi biodiversitas terumbu karang tidak kalah besar. Untuk nilai total biodiversitas terumbu karang dari jumlah spesies yang sudah teridentifikasi diperkirakan mencapai \$29.8 milyar setahun (Cesar et al., 2003). Padahal masih banyak spesies-spesies yang hidup di terumbu karang yang belum diketahui, dan memerlukan penelitian lebih banyak lagi.

Untuk perairan terumbu karang yang berada di Guam diperkirakan memiliki nilai mencapai \$127.3 juta per-tahun (Van Beukering et al., 2007). Sementara dua tahun sebelumnya, Carleton and Lawrence (2005) telah memperhitungkan nilai ekonomi biodiversitas terumbu karang di Turks dan Kepulauan Caicos yang mencapai nilai sekitar \$ 4,7 juta per tahun.

5.2. Sumber Bahan Makanan dan Ekonomi

Pertambahan penduduk dunia yang terus berkembang akan meningkatkan ketergantungan manusia kepada sumberdaya laut. Lebih dari 80 negara sedang berkembang sangat menggantungkan sumber kehidupan dari terumbu karang. Diperkirakan sekitar 20 % jumlah populasi dunia saat ini menggantungkan kehidupan pada daerah terumbu karang yang sangat terbatas tersebut. Sementara manusia yang memiliki hubungan dan ketergantungan dengan terumbu karang semakin meningkat, sebaliknya kuantitas dan kualitas terumbu karang dari hari ke hari terus semakin menurun.

Ketergantungan manusia terhadap terumbu karang meliputi beragam aspek, dan diantaranya yang sangat penting adalah sebagai sumber makanan. 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. Apakah disebabkan ketidak tahuan masyarakat nelayan atau hanya memikirkan kebutuhan sesaat ataupun hanya memikirkan mendapatkan uang banyak dalam waktu singkat tidak jarang menguras sumberdaya ikan yang berada di terumbu karang dengan cara merusak lingkungan terumbu. Kondisi ini telah membangunkan pihak-pihak terkait untuk memperhatikan terumbu karang. Khususnya dalam rangka 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. Sebelumnya dikatakan bahwa produksi ikan pada terumbu karang yang baik mencapai 15 ton per kilometer persegi terumbu karang, dan bila Indonesia memiliki terumbu karang 50 kilometer persegi saja akan menyediakan 50.000 ton ikan dari terumbu karang. Malahan pada akhir-akhir ini dari 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. Bila satu dolar dipatok Rp. 9.000, maka keuntungan terumbu karang dunia akan menyumbang sekitar Rp. 270 trilyun per-tahun untuk bidang perikanan.

Terumbu karang yang sehat juga dapat menyediakan kesempatan ekonomi jauh lebih besar 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. 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, namun demikian ekosistem ini juga terus mendapatkan tekanan serta luasnya dari waktu ke waktu semakin menyempit.

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 menyuplai 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 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.

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 degradasi ekosistem sejalan dengan kecepatan pemiskinan daerah-daerah tersebut. Sebagai hasil, komunitas ini menghadapi kemungkinan peningkatan tekanan. Sebagai contoh, ketika metode penangkapan ikan berkelanjutan tidak memenuhi kuota suatu penangkapan, tidak jarang metoda

penangkapan yang tidak berkelanjutan dan yang merusak selalu digunakan. Keadaan ini dapat memulai sebuah lingkaran peningkatan kerusakan terumbu, 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.

5.3. Sumber Bahan Obat-obatan

Kehancuran terumbu karang akan berdampak besar terhadap keanekaragaman hayati yang sangat berlimpah pada daerah terumbu karang sendiri. Kepunahan organisme yang berlimpah tersebut tentu akan menghilangkan sumberdaya alam yang masih banyak yang belum diketahui manfaatnya bagi manusia termasuk untuk obat-obatan. Sampai saat ini saja lebih banyak sumberdaya di terumbu karang yang menyediakan bahan untuk sumber obat-obatan dibandingkan dengan organisme yang berada di daratan, sementara yang belum diketahui diperkirakan masih banyak lagi. Makanya sebagian besar orang yang memahami betapa besarnya manfaat terumbu karang termasuk dari sumber obat-obatan terus berusaha sekuat tenaga mempertahankan ekosistem tersebut.

Biodiversitas terumbu karang sangat penting karena membantu manusia dalam menyediakan sumber obat-obatan. Makanya ada yang mengatakan bahwa terumbu karang sebagai kabinet obat-obatan. Beberapa organisme hidup pada terumbu karang memiliki bahan kimia yang sangat potensial menjadi obat yang sangat mujarab, seperti obat penahan rasa sakit (painkillers) atau obat-obatan untuk membunuh kangker. Sebagai contoh adalah siput cone yang banyak ditemukan di daerah terumbu karang yang mengandung nematosit untuk melumpuhkan mangsa dan untuk berkompetisi.

Sebenarnya siput cone memiliki bisa sangat berbahaya dan bahkan dapat membunuh manusia. Bisa yang dihasilkan organisme ini termasuk yang dapat mematikan, dan mungkin ada yang bertanya bagaimana bisa menguntungkan bagi manusia. Saintis sedang mempelajari bahwa racun siput cone dalam jumlah kecil dapat dijadikan obat untuk membunuh kangker yang diidap manusia. Sementara diketahui terdapat sekitar 700 spesies siput cone, dan diantara masing-masing spesies menunjukkan sedikit perbedaan bisa yang terkandung di dalamnya (Gambar 32).



Gambar 33. Sifut cone (cone snail) yang umum ditemukan di daerah terumbu karang. Australia (Singleton, 2009)

Terumbu karang berperanan besar dalam dunia obat-obatan juga telah diinformasikan untuk mengobati penyakit sangat berbahaya lainnya. Salah satu contoh dari hasil yang tidak kalah pentingnya 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 penelitian obat penyakit kanker baru juga sedang difokuskan pada organisme laut.

5.4. Karang Untuk Konstruksi

Terumbu karang menghasilkan salah satu produksinya dalam bentuk pasir. Pasir ini terbentuk terutama dari kerangka skeleton karang yang mengalami degradasi baik disebabkan faktor fisika maupun disebabkan faktor biologi. Pasir yang dihasilkan terumbu karang memiliki peran terbesar masih untuk konstruksi bangunan bagi masyarakat, baik itu untuk bangunan rumah penduduk maupun untuk bangunan jalan (Gambar 34). Kadang-kadang potongan karang dipindahkan untuk pemakaian penahan erosi. Pasir dan limestone dari terumbu karang juga dibuat untuk semen pembanguna gedung

baru. Dari penelitian 1995, 20,000 kubik meter karang per-tahun diambil di Maladewa untuk meterial konstruksi (Brown, 1995).

Banyak fungsi lain terumbu karang berhubungan dengan konstruksi bangunan, apakah sebagai bahan dalam bentuk skeleton karang lansung secara utuh, ataupun hasil dari erosi terumbu berupa pasir, ataupun sebagai perekat bahan bangunan iru sendiri. Dalam perekat bahan bangunan konstruksi berupa bahan untuk pembentukan semen. Seperti di Fiji, negara ini tidak memiliki industri mengekstraksi karang untuk produksi semen atau produksi bangunan dan mungkin bisa dimulai. Namun pengerukan pasir tetap dilakukan, terutama di luar Pelabuhan Suva. Aktifitas tersebut dimulai setelah penelitian pengaruh lingkungan dilakukan dan menyimpulkan bahwa pengambilan pasir dapat dilakukan secara berkelanjutan tanpa merusak terumbu karang yang ada. Fiji tidak memiliki terumbu karang yang cukup untuk menopang pembangunan konstruksi atau pabrik semen untuk waktu lama tanpa merusak lingkungan terumbu karang. Sementara di Indonesia sekitar 25.000 ton karang diekstraksi untuk kapur oleh sebuah desa setiap tahun untuk campuran produksi semen. Sebagai perbandingan dengan perbandingan eksploitasi karang hias di Fiji, semua karang hias diekspor di Fiji tidak lebih dari dua ton karang per-tahun.

Pada daerah-daerah yang berdampingan dengan terumbu karang, masyarakatnya juga banyak yang menggunakan karang untuk pembangunan jalan atau pondasi rumah mereka lansung dari skeleton koloni karang. Skeleton koloni karang yang umum dipergunakan terutama dari kelompok massive atau karang otak. Terutama koloni-koloni yang masih mudah dipisahkan dari tempat melekatnya di dasar perairan. Sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 34 dan 35.



Gambar 34. Skeleton karang massive yang digunakan masyarakat untuk dasar/pondasi rumah di Tapak Tuan, Propinsi Aceh. Tanda panah penunjuk skeleton koloni karang yang digunakan untuk dasar bangunan rumah (Foto oleh Thamrin)



Gambar 35. Skeleton karang sebagai hiasan dan pemagar pohon bunga di samping rumah di Twin Beack Cebu Johor, Malaysia. Tanda panah adalah penunjuk skelon karang (Foto oleh Thamrin).

5.5. Ikan Hias Terumbu Karang

Ikan hias terumbu karang banyak yang hidup bersibiosis di terumbu karang (Gambar 36). Pada saat ini tidak ada bukti yang mendukung bahwa pengambilan ikan hias menyebabkan pengaruh negatif terhadap ekosistem atau ada penurunan ikan hias karang di Fiji. Metoda penangkapan oleh beberapa perusahaan disini menyiapkan industri penangkapan ikan dengan tangan yang benar dilakukan. Seorang kolektor sebagai fakta telah menangkap ikan hias pada daerah yang sama lebih dari 15 tahun dan ikan-ikan yang ditangkap secara kontinyu tersedia dalam kondisi yang baik. Terutama berhubungan dengan metode penangkapan dengan tangan di Fiji, penangkapan ikan hias terumbu karang berjalan secara berkelanjutan. Reputasi ikan hias terumbu karang hidup dari Fiji dianggap memiliki standar paling bagus dalam kesehatan dan kualitas.

Pada sisi lain, ditemukan di negara lain yang berasosiasi dengan beberapa praktek dan teknik sangat berbahaya dalam menangkap ikan hias terumbu karang. Sebagai mana pada umumnya di negera lain, di Fiji juga tidak diizinkan menangkap ikan di alam baik orang perorang maupun oleh perusahaan. Diketahui pada saat ini bahwa ada dua perusahaan yang baru saja melakukan praktek penambangan (dalam tahun yang lalu), dan memperkerjakan penyelam dari luar, terutama dari Pilipina yang telah lama melakukan penangkapan ikan hias terumbu karang.

Seperti halnya Pilipina, Indonesia juga telah lama melakukan perdagangan ikan hias terumbu karang, akan tetapi tidak dilakukan secara resmi. Sehingga kondisi sebenarnya tidak tergambar dalam bentuk data yang akurat. Baik Pilipina maupun Indonesia memiliki catatan kurang bagus berhubungan dengan perdagangan ikan hias, karena pada umumnya dilakukan dengan cara merusak lingkungan. Kondisi ini terlihat dari sejarah penangkapan ikan hias tersebut umumnya sangat disesalkan karena pada umumnya dalam praktek penangkapan ikan hidup dilakukan dalam bentuk yang tidak berkelanjutan, seperti pemakaian sianida dan chlorine untuk memingsankan organisme laut (ikan) dalam menangkap ikan yang ada.



Gambar 36. Ikan Amphiprion dan sea anemone (atas), dan ikan kepe-kepe (chaetodontidae) yang memiliki ketergantungan sangat besar dengan terumbu karang (Foto oleh Thamrin).

5.6. Pariwisata

Pariwisata merupakan salah satu sumber pendapatan utama dan merupakan salah satu bidang industri utama pada negara-negara Kepulauan yang memiliki terumbu karang di Fasifik. Pariwisata adalah salah satu penghasil devisa terbesar seperti yang dialami oleh Fiji. Hal ini juga merupakan fakta yang tidak perlu diragukan lagi bahwa pariwisata memiliki jumlah paling besar pengaruh manusia langsung

terhadap terumbu karang. Lebih dari 360.000 pengunjung tiap tahun, dimana dari jumlah kunjungan wisatawan tersebut telah mendapatkan umpan balik terhadap negara sekitar \$ 500.000.000. Porsentase besar kunjungan pariwisata terumbu karang di Fiji tersebar pada beberapa titik daerah pariwisata yang memiliki keindahan pantai yang disertai keelokan terumbu karang. Sayangnya, banyak turis tidak berpendidikan tentang aturan dan larangan perjalanan wisata di daerah terumbu karang yang baik, dan prosedur ini seharusnya berupa kewajiban operator penyelam dalam menginstruksikan anggotanya bagaimana berenang dan bertingkah laku di daerah terumbu karang dengan benar. Namun pelaksanaan dilapangan jarang dilakukan. Keadaan ini menyebabkan turis yang tidak memiliki pengetahuan dan tidak diberi pengarahan tidak jarang, menyentuh, berdiri di atas karang dan bahkan mengambilnya untuk dijadikan survenir. Industri pariwisata bawah air seharusnya memiliki catatan, menerapkan rencana manajemen kesadaran (awareness management plan) untuk operator penyelam.

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). Untuk contoh lainnya, terumbu karang teluk Montego Jamaika diperkirakan memiliki nilai \$ 13,6 juta dari

wisatawan dan memiliki nilai \$ 6 juta untuk residents Jamaika setiap tahun (Ruitenbeek and Cartier, 1999).

Banyak disekitar pantai pada pulau-pulau yang memiliki resort-resor terkenal memiliki daerah intertidal yang sangat terpengaruh oleh kehadiran wisatawan yang berkunjung. Dengan jutaan turis yang mengunjungi resort tersebut tidak mengherankan bahwa ada yang melakukan snorkeling atau mengikuti *glass bottom boat* melihat sampai mencapai terumbu bagian luar. Banyak darinya tidak dapat dielakan pengaruh turis melewati terumbu setiap hari. Bila dibandingkan dengan pulau lain dengan sedikit atau tidak ada turis yang mengunjunginya menyebabkan perbedaan nyata diversitas dan kelimpahan spesies lebih besar.

Total potensial ekonomi keuntungan bersih tahunan terumbu karang Asia Tenggara yang sehat diperkirakan antara \$ 23.100 sampai \$ 270.000 dari bidang perikanan, pelindung pantai, pariwisata, rekreasi dan nilai estetik (Burke, Selig dan Spalding, 2002). Sementara keuntungan bersih dari perikanan, wisata menyelam, dan pelindung pantai di Karibia adalah antara \$ 3,1 milyar dan \$ 4,6 milyar tahun 2000. Keuntungan bersih dari wisata menyelam adalah paling besar sumbangannya terhadap pendapatan suatu daerah, yaitu sekitar 2,1 milyar. Sementara bila dibandingkan dengan fungsinya sebagai pelindung pantai hanya sekitar \$ 700 juta sampai \$ 2,2 milyar, dan dari perikanan sekitar \$ 300 juta (Burke and Maidens, 2004).

Pentingnya pemeliharaan terumbu karang sebagai daerah wisata disebabkan keuntungan dari aktifitas kunjungan wisatawan sangat besar, dan lebih besar dari fungsi lainnya. Riopelle (1982) mengamati terumbu karang berhubungan dengan wisatawan di Barat Lombok (garis pantai sekitar 40-50 km), dan diperoleh total keuntungan net present value dari penyelam dan snorkeler sebesar US\$ 23.5 juta. Hal ini dengan nilai rata-rata keuntungan bersih sekitar US\$ 500,000 per km garis pantai. Kemudian nilai terumbu karang pada suatu daerah pasti akan berbeda, dan perbedaan ini disebabkan banyak faktor yang mempengaruhinya. Seumpama bila dibandingkan dengan nilai terumbu karang yang berada di Manado dan Bali. Nilai ekonomi terumbu karang jauh lebih besar di Bali dan Manado dibandingkan dengan terumbu karang yang berada di Barat Lombok, yang sekarang ini diperoleh US\$ 10-an juta per tahun dari wisata bahari, banyak dari mereka dari pengunjung ke thitare Bunaken Marine Park.

5.8. Karang Hias

Pada dasarnya pemanenan karang secara terus menerus tentu akan merusak kondisi terumbu karang itu sendiri. Apalagi pemanenan terhadap karang dilakukan tanpa aturan dan tanpa kendali. Diperkirakan sampai sekarang perdagangan karang hias masih hidup tetap berjalan. Seperti negara Fiji di Lautan Pasifik yang melakukan ekspor karang hias yang diperkirakan mencapai dua ton karang per-tahun.

Penghasilan pendapatan terbesar diperoleh bidang ekonomi Fiji dimana pemanenan karang dikonsentrasikan. Dalam pandangan perusak, terumbu karang, koleksi karang hidup pemakaian yang salah terumbu karang. Kondisi ini memiliki potensi termasuk untuk penghancuran secara politik sebaliknya industri dapat berjalan dan berkelanjutan. Dalam realitasnya, industri pengambilan karang hias hampir tidak memiliki pengaruh terhadap terumbu karang dan menyumbang bidang dan desa-desa dengan sistem pemanenan tersebut (Lovell, 1998). Karena industri memelihara profil imej yang besar dengan karang hidup pada pameran, fasilitas besar dan personel beragam, sangat penting untuk mendidik seluruh kritikan inidarikoleksi karang hidup dari pengaruh minimalnya pada terumbu karang. Salah satu segi negatif industri ini adalah kotoran manusia. Karena industri ini berhubungan dengankarang hidup yang ersisa harus kondisi bagus bila mencapai pasar luar negeri. Keadaan ini membutuhkan pengetahuan dan pengalaman staf dan pengelolaan tambahan instalasi sangat mahal dan profesional untuk menjagakarang hidup dan sehat untuk diekspor.

Perdagangan karang hias hidup adalah termasuk isu sensitif dinegara manapun berada, baik di Indonesia maupun di negara lainnya. Seperti di Fiji, diperkirakan bahwa perdagangan karang hidup yang diekspor Fiji menghasilkan pendapatan bersih sekitar \$ 12 juta per tahun. Walau jumlah ini termasuk kecil bila dibandingkan dengan pariwisata, namun dari rata-rata pendapatan penduduk individu lokal dalam perdagangan ini meningkat dua kali lipat yang diperoleh dari kedua pariwisata. Akan tetapi , ini hanya keuntungan awal bagi suatu negara. Sebuah keuntungan tergolong menjanjikan sekali yang berkembang untuk Fiji dalam promosi pariwisata melalui penjualan karang hias untuk umum atau bersifat pribadi keseluruhan dunia.

Perdagangan karang baik dalam bentuk hidup maupun dalam bentuk sudah mati atau dalam bentuk skeleton adalah merupakan isu yang sangat sensitif. Pemanenan dan perdagangan karang sebagai

pembentuk utama terumbu karang jelas akan merusak terumbu karang itu sendiri. Apalagi perdagangan karang ini dikendalikan oleh semacam perusahaan. Namun demikian diperkirakan pemanenan karang ini tidak selamanya akan merusak terumbu karang bila dilakukan dengan mengikuti hasil studi yang ketat. Karena terumbu karang sebagai salah satu sumberdaya alam yang dapat diperbaharui boleh jadi tidak hanya untuk di alam dimana ekosistem ini berada.

Karang sebagai pembentuk utama terumbu karang memiliki sifat berbeda antara spesies satu dengan spesies lainnya. Masing-masing spesies memiliki sifat sendiri-sendiri. Seperti dalam pertumbuhan, ada yang memiliki pertumbuhan cepat ada yang memiliki pertumbuhan sangat lambat. Karang yang memiliki pertumbuhan cepat terutama berasal dari bentuk pertumbuhan bercabang, seperti dari kelompok *Acropora*; dan yang memiliki pertumbuhan lambat umumnya dari bentuk pertumbuhan massive, seperti kelompok *Porites*, *Goniastrea* dan lain-lain.

Keanekaragaman hayati di terumbu karang dikendalikan oleh berbagai macam faktor, termasuk faktor lingkungan dan kompetisi diantara spesies yang sama maupun diantara spesies berbeda. Kelompok karang *Acropora* termasuk jenis karang yang sangat agresif dalam berkompetisi, dan disamping itu juga termasuk jenis karang yang memiliki pertumbuhan yang tinggi. Berhubung kelompok *Acropora* termasuk jenis karang yang agresif dalam kompetisi dan juga memiliki kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan kelompok lainnya, secara logis akan dapat menurunkan keanekaragaman hayati karang pada suatu terumbu karang.

Dalam dunia perdagangan karang, jenis karang yang umum menjadi target adalah dari kelompok karang yang memiliki pertumbuhan cepat dengan tipe berwarna warni sebagaimana yang dimiliki *Acropora*. Sebagian besar karang yang dipanen untuk diperdagangkan masih sangat muda, dengan koloni lebih besar dari koloni yang melakukan reproduksi setiap tahun. Jenis lain boleh jadi juga diperdagangkan, seperti dalam bentuk massive, namun dalam jumlah sangat terbatas sekali.

Secara logika mengapa pemanenan karang bisa dilakukan untuk diperdagangkan melihat sifat setiap jenis spesies karang berbeda-beda. Seperti *Acropora* memiliki sifat agresif dan memiliki kecepatan pertumbuhan lebih cepat, dan kondisi ini memungkinkan spesies *Acropora* bisa dimanfaatkan untuk pergangan. Karena bila dibiarkan justru dapat merusak keanekaragaman terumbu karang

yang tinggi tersebut, dan akan dapat mendominasi suatu terumbu karang. Dalam arti kata pemanenan yang ditujukan terhadap kelompok *Acropora* akan ikut membantu terciptanya keberlanjutan keanekaragaman tinggi terumbu karang dari dominasi *Acropora*.

5.7. Survenir Dari Karang:

Terumbu karang memiliki lingkungan yang sangat indah, namun disayangkan tidak semua orang dapat menikmatinya dengan leluasa. Untuk menikmatinya minimal memerlukan keahlian berenang yang pada dasarnya juga tidak semua orang memiliki keahlian tersebut. Karena berada dalam lingkungan berbeda dengan kehidupan manusia, yaitu di dalam air laut. Memang bisa dinikmati dari dalam kapal ber dinding kaca pada posisi tertentu lambung kapalnya (glassboat), namun tetap tidak semua orang dapat leluasa menikmatinya karena membutuhkan biaya ke lokasi dan untuk menaiki kapal tersebut.

Organisme yang menempati terumbu karang juga memiliki bentuk dan warna yang beraneka warna sehingga menambah keindahan ekosistem terumbu karang. Keindahan hewan yang berada di terumbu karang bukan saja dikala masih hidup, tetapi juga sudah dalam bentuk sisa atau skeleton (sudah mati) tetap memancarkan keindahan. Diantara cangkang dan skeleton organisme yang hidup di terumbu karang yang selalu diperdagangkan dapat dilihat pada Gambar 35.

Karang sebagai pembentuk utama terumbu karang tidak dibenarkan untuk diperjual belikan atau diperdagangkan, baik dalam keadaan hidup maupun dalam bentuk skeleton yang sudah mati. Akan tetapi di Indonesia tetap dilakukan masyarakat yang berada di daerah pinggiran pantai yang memiliki terumbu karang. Perdagangan skeleton karang dapat dengan mudah ditemukan seperti di Pantai Air Manis Padang Sumatera Barat, daerah wisata Pangandaran Jawa Barat dan lain-lain daerah wisata di Indonesia. Salah satu spesies karang yang umum diperdagangkan masyarakat pada setiap daerah wisata adalah skeleton *Pocillopora damicornis* (gambar 37).

Banyak survenir yang berasal dari terumbu karang. Survenir yang berasal dari terumbu karang umumnya berupa skeleton, seperti cangkang beragam jenis siput, kerang-kerangan, skeleton karang dan lain-lain. Dari beragam cangkang hewan tersebut, dijumpai dua perusahaan sedang beroperasi di Fiji yang membutuhkan karang bleaching untuk perdagangan survenir ke



Gambar 37. Beragam cangkang organisme yang hidup di daerah terumbu karang yang diperdagangkan di daerah wisata Pangandaran Jawa Barat (Foto oleh Thamrin).

seluruh dunia. Perusahaan ini mengekstrak karang hidup dan memprosesnya dan diperdagangkan ke pasar luar Fiji. Jenis karang yang diambil sangat selektif dan pada umumnya hanya yang memiliki pertumbuhan tergolong tinggi yang menjadi target, terutama yang memiliki bentuk bercabang. Disamping itu juga didukung oleh permintaan pasar yang umumnya terfokus hanya pada spesies-spesies tertentu. Sebagian besar spesies yang diperdagangkan tersebut yang memiliki kecepatan pertumbuhan tinggi tersebut berasal dari kelompok *Acropora* dengan usia antara 5 sampai 10 tahun.



Gambar 38. Skeleton *Pocillopora damicornis* yang diper-dagangkan di daera wisata Pangandaran Jawa Barat (Foto oleh Thamrin)

Perusahaan yang bergerak dalam perdagangan karang sangat memahami selera pasar berhubungan dengan karang yang menjadi target untuk diperdagangkan. Berhubung tidak seluruh jenis karang yang menjadi target, hanya terfokus pada jenis yang memiliki pertumbuhan tergolong cepa, sehingga pemanenan jenis karang tertentu yang dipanen untuk diperdagangkan sebenarnya secara tidak lansung juga berperan dalam memelihara keanekaragaman jenis karang. Karena aktifitas tersebut akan menekan dominasi jenis karang yang memiliki kecepatan pertumbuhan tergolong tinggi. Berhubung jenis karang yang memiliki kecepatan pertumbuhan lamban selalu berada dalam pihak yang kalah bila berkompetisi dengan jenis yang memiliki pertumbuhan lebih cepat.

Pemanenan karang untuk diperdagangkan kalau konsisten terfokus pada bagian ujung-ujung koloni karang yang memiliki pertumbuhan tergolong cepat dengan perhitungan yang tepat boleh jadi tidak merusak terumbu karang. Apalagi hampir seluruh jenis karang yang dipanen untuk diperdagangkan oleh sebuah industri masih sangat mudah, dengan bagian koloni yang ditinggalkan lebih besar, dan diperkirakan masih mampu melakukan reproduksi secara seksual dalam melanjutkan keturunannya.

Pemanenan jenis karang secara selektif pada dasarnya bertujuan sangat menguntungkan untuk melanjutkan rekrutmen karang baru. Namun dalam proses pelaksanaan selalu mengalami kendala karena yang melakukan pemanenan biasanya dilakukan oleh masyarakat tempatan, dalam rangka menghindari benturan dan dalam memberdayakan masyarakat disekitarnya. Namun permasalahan yang dihadapi perusahaan biasanya mengalami kesulitan dalam memberikan training masyarakat lokal tersebut untuk meminimalkan kerusakan karang saat pemanenan. Bahaya lain terhadap lingkungan pemanenan karang dapat memunculkan penentang dalam melanjutkan dan pergerakan secara beraturan sepanjang zona yang diperuntukan. Bila operator tidak mendidik pemanennya pada manajemen terumbu yang tepat dan tidak secara reguler mengawasinya dapat menyebabkan terjadinya over-eksploitasi karang target.

Dari Gambar 35 dapat terlihat bahwa organisme yang menjadi survenir dari daerah terumbu karang tidak terbatas pada beragam jenis karang batu, tetapi juga dari berbagai jenis organisme lainnya yang berdomisili di terumbu karang. Bagian organisme yang menjadi survenir terutama dalam bentuk skeleton atau cangkang baik dari kelompok karang, apakah karang hermatipik atau ahermatipik serta dari beragam kelompok moluska.

Bab 6

KONDISI DAN DEGRADASI TERUMBU KARANG

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara yang terletak pada sentral terumbu karang dunia, dan memiliki beban sangat berat dalam menjaga keberlanjutan ekosistem yang sangat subur ini. Terumbu karang Indonesia menerima tekanan dari beragam bentuk kegiatan manusia dan faktor-faktor lainnya. Pengaruh manusia terhadap terumbu karang dapat ditemukan mungkin secara langsung maupun dalam bentuk tidak langsung. Gangguan manusia secara langsung seperti penangkapan ikan menggunakan bom dan pamasium, perdagangan karang, reklamasi pantai; dan gangguan secara tidak langsung seperti aktifitas pembabatan hutan mangrove, berbagai bentuk limbah industri, pertambangan, reklamasi pantai dan lain-lain.

6.1. Kondisi Terumbu Karang Dunia

Terumbu karang memiliki total luas hanya sekitar 0,2% dari luas laut secara keseluruhan, atau hanya sekitar 600.000 km persegi. Melihat dari total luas yang sedemikian kecil seperti bisa diabaikan dari perhitungan. Hanya saja bila dilihat dari perannya jauh lebih besar dari total luas yang dimiliki. Terumbu karang memiliki sekitar 25 % dari jumlah total organisme yang terdapat di laut secara keseluruhan. Sementara bila ditinjau dari segi ekonomi terumbu karang

menyumbang sekitar US\$ 30 milyar dolar untuk perekonomian dunia (Cesar et al., 2003).

Kondisi ini menggambarkan bahwa terumbu karang merupakan ekosistem yang sangat subur dengan organisme yang sangat berlimpah. Dari perbandingan luas ekosistem terumbu karang dengan kelimpahan organisme yang menempatinya diperkirakan mencapai 125 kali lebih banyak dari kelimpahan rata-rata organisme laut secara keseluruhan. Namun ekosistem ini terus mengalami tekanan dari berbagai aspek, sehingga kondisinya dari waktu ke waktu terus mengalami penurunan.

Pada saat ini dimana-mana, ekosistem terumbu karang mengalami tekanan sangat hebat dari aktifitas manusia. Terumbu karang secara permanen telah hilang sekitar 27%, dan sementara sekitar 30 % akan menyusul punah menjelang 30 tahun ke depan (Gambar 39). Penyebab kerusakan terumbu karang tersebut sebagian besar disebabkan oleh aktifitas manusia baik secara langsung maupun tidak langsung. Kondisi ini diperkirakan akan terus semakin memburuk, terutama disebabkan pengaruh pertambahan penduduk dunia yang semakin membengkak.



Gambar 39. Persentase tutupan terumbu karang dunia yang mendapatkan tekanan (Wilkinson, 2000)

Gambar 39 menunjukkan bahwa terumbu karang dunia berada dalam posisi aman hanya berjumlah 41 %, dan 27 % telah punah. Sementara sisanya dengan total 32 % juga berada dalam posisi terancam dan yang sangat memerlukan perhatian dari seluruh pihak yang berhubungan.

6.2. Faktor-faktor Yang Merusak Terumbu Karang

Menyadari akan pentingnya ekosistem terumbu karang yang seharusnya memiliki andil besar dalam meningkatkan devisa negara sudah lama disadari bangsa Indonesia. Kesadaran pemerintah Indonesia akan pentingnya terumbu karang terlihat dari kehadiran mega proyek rehabilitasi ekosistem ini (Coralmap) beberapa tahun yang lalu. Walaupun mungkin kegiatan tersebut tidak menunjukkan hasil yang signifikan terhadap kondisi terumbu karang yang pada umumnya terlanjur rusak sebelum dimanfaatkan secara optimal. Namun sekurang-kurangnya pemerintah sendiri telah menunjukkan perhatian sangat besar terhadap aset negara tersebut.

Terumbu karang sebenarnya telah menjadi salah satu kepentingan dunia karena keanekaragaman hayati dan nilai estetika ekosistem tersebut. Disamping itu juga karena 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 ketidakseriusan aparat dan penegak hukum serta lemahnya sistem dan perangkat hukum. Kondisi ini tergambar dari topik utama 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).

Sebagian besar terumbu karang dunia yang 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 pemecah ombak alam (*breakwaters*) 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 komunitas yang berhubungan erat dengan terumbu karang akan terus mengalami tekanan.

Ekosistem terumbu karang adalah salah satu sumberdaya alam yang sangat terancam di dunia pada saat ini. Ancaman terhadap terumbu karang umumnya berasal dari aktifitas manusia, baik pengaruh langsung maupun tidak. Pengaruh tersebut mungkin berasal dari kegiatan manusia di daratan maupun yang berada di perairan laut sendiri. Baik yang dilakukan secara langsung terhadap terumbu karang maupun tidak, baik dengan tujuan pengrusakan langsung terumbu karang maupun tidak.

Jumlah manusia yang menghuni daerah pesisir diperkirakan antara 50 – 70%, dan penduduk Indonesia sendiri yang berada di daerah pesisir diperkirakan mencapai 60 %. Kondisi ini akan semakin menekan ekosistem yang berada di daerah pesisir termasuk terumbu karang, apakah dari hasil limbahnya yang umumnya di buang ke perairan ataupun dari sedimentasi yang dihasilkan dari hasil pembangunan yang dilakukan. Disamping itu juga termasuk pengaruh runoff yang mengalir ke perairan laut disebabkan penghalangnya menuju perairan semakin menipis.

Pada akhir-akhir ini ancaman terhadap terumbu karang di seluruh dunia sudah dalam skala global, terutama berhubungan dengan pemanasan global (*global warming*) yang mengarah pada peningkatan suhu permukaan air laut. Bila pemanasan global terus berkembang dapat dipastikan beberapa tahun ke depan ekosistem terumbu karang akan terus menurun secara drastis, dan malahan mungkin akan mengalami kepunahan. Untuk itu, pendidikan dan kepedulian bersama terhadap lingkungan termasuk ekosistem terumbu karang harus terus digalakan. Dalam bagian ini akan diuraikan faktor-faktor skala besar yang merusak terumbu karang.

6.2.1. Penangkapan ikan yang tidak ramah lingkungan

Walaupun terumbu karang telah dinyatakan mengalami perubahan dalam lingkungan global selama jutaan tahun, keadaan ini berlanjut sampai sekarang, dan pada saat ini terus mendapat tekanan serius oleh pengaruh manusia. Beberapa pengaruh manusia yang membahayakan terumbu karang seperti pembangunan daerah pantai, teknik penangkapan ikan merusak, perdagangan karang sebagai 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).

Seperti di Perairan 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). Kemudian juga diperkirakan kerugian dari penangkapan ikan dengan racun sianida secara berkala bisa mencapai sebesar US\$ 46 juta. Karena Sianida mempengaruhi karang sebagai pembentuk utama terumbu karang dalam setiap konsentrasi dan dalam setiap rentang waktu pemaparan terhadap karang (Cervino et al. 2003).

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 memiliki tipe terumbu karang tepi (*fringing reefs*), tumbuh dan berkembang 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% terus mengalami penurunan, dan malahan diperkirakan berubah dari 36 % menjadi 29 %. Terumbu karang di bagian barat Indonesia menghadapi ancaman terbesar berhubungan dengan tingkat pembangunan yang tinggi dan populasi penduduk di darat yang padat yang berdampingan dengan daerah terumbu karang.

6.2.2. Angin Topan

Kerusakan lingkungan secara umum dan khususnya terumbu karang sebagian besar diarahkan pada manusia, akan tetapi pada kenyataannya di lapangan juga ditemukan beberapa kerusakan terumbu karang sangat-sangat signifikan berasal dari pengaruh dari alam sendiri. Kerusakan yang sangat kentara baik juga bisa disebabkan apakah berasal dari faktor kimia, faktor biologi maupun disebabkan faktor fisika. Dari faktor fisika yang sangat besar berpengaruh terhadap terumbu karang adalah yang berasal dari angin topan. Terutama terumbu karang yang berada di daerah jalur angin topan yang hampir setiap tahun mengalami gangguan dari faktor tersebut.

Pengaruh angin topan terhadap terumbu karang disebabkan pengaruh tidak langsung dimana angin topan menimbulkan arus dan ombak yang sangat besar. Kondisi ini tidak jarang menyebabkan karang rusak dan patah, serta patahan yang terbentuk berserakan di daerah terumbu karang yang dilanda angin topan tersebut. Biasanya kejadian angin topan disertai hujan lebat yang meningkatkan runoff dan sedimentasi. Setelah kejadian tersebut adakalanya sebagian karang mengalami pertumbuhan sangat cepat disebabkan peningkatan pertumbuhan algae akibat peningkatan nutrisi dihasilkan runoff. Kemudian bila fragmen-fragmen yang terbentuk tidak bermasalah dengan substrat tempat terdamparnya akan melekat kembali dan tumbuh serta berkembang kembali. Kondisi ini pada umumnya terjadi pada karang tipe bercabang dari kelompok *Acropora* yang kebetulan juga merupakan kelompok yang banyak terkena dampak dari peristiwa angin topan yang terjadi.

Idealnya fragmen yang terbentuk disebabkan angin topan dapat membantu distribusi lokal karang dan regenerasi karang dan terumbu karang. Berhubung fragmen yang terbentuk akan menyebar dan sebagian akan melekat dan berkembang serta beradaptasi membentuk koloni-koloni baru dalam proses reproduksi karang secara fragmentasi. Peristiwa ini akan dialami bagi fragmen-fragmen karang yang jatuh dan berkembang kembali pada daerah lebih dalam di luar jangkauan pengaruh angin topan berikutnya. Namun bila terdampar dan kemudian tumbuh kembali pada daerah yang sama berkemungkinan koloni karang muda yang terbentuk dari fragmen tersebut tidak dapat bertahan karena biasanya angin topan setiap tahun melewati jalur yang sama. Karang yang berkembang dari fragmen tersebut belum berapa kuat menempel pada substrat dimana fragmen terdampar pada tahun berikutnya, karena kecepatan dan

kekuatan penempelan kembali fragmen pada substratnya juga dipengaruhi kecepatan pertumbuhan karang bersangkutan, yang paling tinggi hanya dalam hitungan belasan centimeter per-tahun.

6.2.3. Blooming Mahkota Berduri *Achantaster planci*

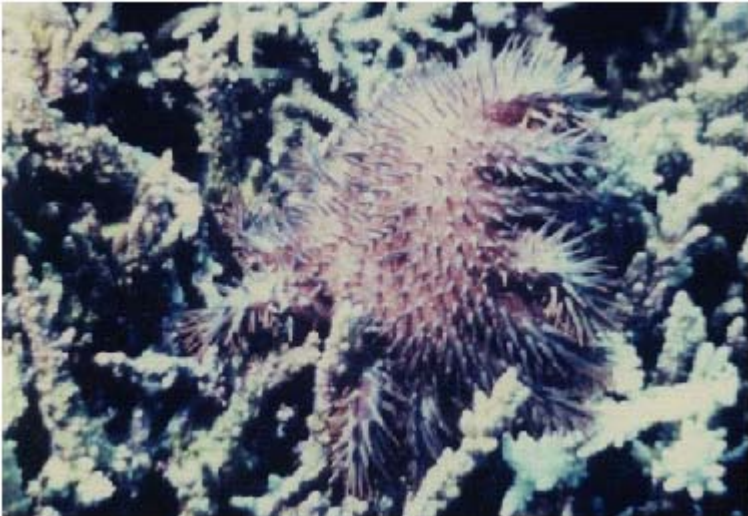
Sebelum disampaikan bahwa ada tiga faktor yang menyebabkan kerusakan terumbu karang, dan diantaranya termasuk faktor biologi. Tekanan lain yang tidak kurang berbahayanya terhadap terumbu karang adalah bila terjadi blooming Mahkota Berduri *Achantaster planci*. Mahkota berduri adalah bintang laut berukuran besar yang mengkonsumsi lapisan tisu karang. Predator ini adalah salah satu jenis fauna paling berdampak paling serius terhadap keberlanjutan populasi karang pada banyak daerah di Lautan Pasifik.

Achantaster planci adalah berasal dari kelompok Asteroids (bintang laut). Kelompok Asteroid sebagian besar adalah detritus feeders, akan tetapi juga ditemukan yang bersifat omnivora dan bersifat sebagai predator. Species *Culcita* terutama *C. coriacea*, *C. novaeguineae*, *C. schmideliana* dan *Acanthaster planci* adalah termasuk kelompok corallivore. Walau spesies *C. coriacea*, *C. novaeguineae*, *C. schmideliana* mengkonsumsi karang, namun berpengaruh dari tingkat cukup sampai tidak dapat dibiarkan sebagai makanan yang diperlukannya hanya bagian dari polip-popip karang. Hal ini tidak berlaku pada *A. planci* sebagai sebuah predator yang rakus terhadap karang scleractinia. Bila terjadi pembludakan dapat merusak terumbu karang dalam skala besar dan dalam waktu relatif singkat. Bintang laut *A. planci* ditemukan dalam skala area yang luas di Lautan Pasifik dan Lautan Hindia, namun tidak pernah ditemukan di Laut Karibia.

Pengaruh alam terhadap pembludakan *A. planci* di Great Barrier Reef (GBR) pernah terjadi hampir 50 tahun. Pada puncak kelimpahan *A. planci* ekosistem terumbu karang secara substansi di daerah tropis, akan tetapi pada akhir-akhir ini pengaruhnya terhadap karang sebagai pengendali terumbu karang telah banyak menyebabkan komunitas, dan menurunkan kelimpahan karang pada taraf kondisi paling bawah.

Mahkota berduri *A. planci* adalah anggota fauna yang menempati terumbu karang daerah Indo-Pacific. Pada dasarnya hewan ini tidak merusak terumbu karang dalam kondisi normal. Densitas normal bintang laut ini pada suatu terumbu karang berkisar antara 1 sampai 15 ekor/ha, atau tergantung tutupan karang hidup pada suatu perairan (Gambar 38). Kisaran jumlah ini bila merusak karang tidak

akan berpengaruh nyata dan juga akan segera kembali ke keadaan semula. Jenis karang yang dikonsumsi *A. Planci* juga hanya dari kelompok jenis karang *Acropora*, yang memiliki kecepatan pertumbuhan sangat cepat. Sehingga *Acropora* yang kebetulan memiliki kecepatan pertumbuhan yang cepat akan segera berkembang kembali. Berhubung *A. planci* lebih memilih mengkonsumsi kelompok karang tertentu terutama dari kelompok *Acropora*. Dalam kompetisi kelompok *Acropora* termasuk jenis karang yang sangat agresif, dan dalam pertumbuhan dan berkembang juga termasuk jenis karang yang paling cepat pertumbuhannya, dengan sebagian besar memiliki kecepatan pertumbuhan belasan centimeter per-tahun. Sementara bila *A. Planci* mengkonsumsi karang tersebut, justru akan memberi kesempatan kepada spesies karang lain yang lambat pertumbuhannya untuk dapat leluasa berkembang.



Gambar 40. Mahkota berduri *Acanthaster planci* sedang berada di atas koloni karang *Acropora* (Foto oleh S. Nojima).

Dalam kompetisi, kelompok karang *Acropora* adalah termasuk kelompok karang agresif. Spesies karang yang menjadi target *A. planci* pada umumnya dari kelompok *Acropora*. Adanya campur tangan *A. planci* bagaikan pengendali kelompok *Acropora* dalam mendominasi suatu terumbu karang. Sehingga serangan *A. planci* yang hanya terfokus pada kelompok *Acropora* merupakan salah satu strategi alam dalam menjaga kelimpahan spesies karang.

Pengaruh *A. planci* telah lama diketahui sangat berpengaruh terhadap kerusakan terumbu karang. Seperti di Guam telah dilaporkan semenjak tahun 1969 oleh Chesar dan dari Great Barrier Reefs oleh Pearson dan Endean juga pada tahun 1969. Bila terjadi pembudakan *A. planci* pada suatu terumbu karang dipastikan akan merubah struktur komunitas terumbu karang. Berhubung sifat *A. planci* ada yang selektif mengkonsumsi jenis karang dan ada juga yang mengkonsumsi semua spesies karang.

Mahkota berduri *A. planci* merupakan predator karang yang sangat membahayakan hewan karang bila terjadi pembudakan. Karena kelompok hewan ini termasuk rakus, beradaptasi dengan baik dan pada dasarnya dapat mengkonsumsi berbagai jenis karang. Memang di lapangan ditemukan *A. planci* memiliki kecenderungan memilih jenis karang tertentu, akan tetapi diperkirakan bukan disebabkan perbedaan rasa setiap jenis karang.

Mahkota berduri *A. planci* beradaptasi dengan baik pada beragam jenis karang, akan tetapi menunjukkan pilihan pada karang tertentu disebabkan oleh kehadiran kelompok hewan kecil lainnya yang hidup di dalam koloni karang tersebut. Mahkota berduri *A. planci* menunjukkan dengan jelas hirarki pilihan terhadap enam spesies karang yang dilakukan secara eksperimen bila koloni-koloni karang memiliki simbiosis dengan urutan pilihan yang paling disukai adalah *Acropora gemmifera*, diikuti *A. nasuta* = *A. loripes*, diikuti *Seriatopora hystrix*, diikuti *Pocillopora damicornis* dan pilihan terakhir *Stylophora pistillata* (Pratchett, 2001). Hasil ini diperoleh hanya bila simbiosis setiap jenis karang tetap berada di dalam koloni setiap jenis karang. Perbedaan hasil dan *A. planci* lebih memilih *A. gemmifera* dibandingkan lima spesies lainnya bukan disebabkan perbedaan rasa keenam jenis karang, tetapi disebabkan simbiosis masing-masing jenis karang tersebut yang hidup di dalam koloninya. Kesukaan Mahkota berduri *A. planci* menjadi tidak berbeda nyata disaat setiap simbiosis jenis karang dikeluarkan dari setiap koloni karang percobaan.

Selektifitas pilihan jenis karang sebagai makanan bagi *A. planci* bukan disebabkan oleh perbedaan kualitas rasa tisu setiap spesies karang sebagai mana disebutkan sebelumnya. *A. planci* memilih spesies karang tertentu untuk dimangsa lebih ditentukan keefektifan simbiosis yang dimiliki setiap spesies karang dalam mengusir *A. planci* sebagai predator. Terbukti dari percobaan yang dilakukan setelah simbiosis setiap jenis karang disingkirkan, dimana tidak terjadi perbedaan pilihan yang signifikan dari jenis karang oleh *A. planci*. Mahkota berduri

A. planci secara konsisten lebih memilih *Acropora* spp dibandingkan kelompok pocilloporid (De'ath & Moran 1998), dan faktor yang mempengaruhi diperkirakan disebabkan oleh perbedaan simbiosis yang berasosiasi dengan kedua kelompok karang tersebut. Simbiosis yang menempati seperti koloni karang *Acropora* spp dan kelompok pocilloporid biasanya konsisten (Tsuchiya et al., 1993). Sebagian besar *Acropora* biasanya memiliki simbiosis kelompok ketam *Tetralia* spp., sementara kelompok pocilloporid biasanya bersimbiosis dengan kelompok *Trapezia*. Spesies *Trapezia* memiliki ukuran carapace dan chelipeds yang besar dibandingkan dengan spesies *Tetralia*. *Trapezia* memiliki sifat lebih agresif dari *Tetralia* dan selalu menyerang *A. planci* sampai melukainya, dan berbeda dengan *Tetralia* yang tidak sampai merusak pada anggota badan *A. planci* (Pratchett et al., 2000).

Pada setiap daerah terumbu karang (Indo-Pasifik) ditemukan *A. planci*, namun jumlahnya sangat terbatas. Mahkota berduri *A. planci* tidak membahayakan karang dalam jumlah tersebut. Bila jumlah *A. planci* melebihi kapasitas terumbu karang untuk menanggung makanan, dan kerusakan yang ditimbulkan menjadi kentara dan untuk kembali ke keadaan semula memakan waktu lama. Pembludakan populasi *A. planci* biasanya sangat nyata, peningkatan jumlahnya dapat mencapai 10 kali lipat atau lebih banyak dari jumlah biasanya. Dalam kondisi pembludakan *A. planci* akan memakan sebagian besar karang, termasuk karang bentuk massive seperti karang otak, yang membutuhkan waktu beberapa dekade kembali ke keadaan semula disebabkan pertumbuhannya sangat lambat.

Bintang laut *A. planci* tidak ditemukan di Lautan Atlantik, hanya ditemukan di Indo – Pasifik. Mahkota berduri berpengaruh nyata pada terumbu karang hanya bila populasinya berkembang di luar kewajaran atau terjadi pembludakan. Penyebab melimpah *A. planci* masih belum diketahui karena perkiraan penelitian masih mengalami banyak permasalahan. Pembludakan hampir dipastikan disebabkan secara alami, akan tetapi diperkirakan menjadikannya lebih sering disebabkan aktivitas manusia seperti berasal dari pengaruh kualitas air dan overfishing terhadap predatornya.

6.2.4. Pembangunan daratan dan Kehutanan

Pembangunan di daratan dan permasalahan kehutanan merusak lingkungan mulai dari lingkungan yang berada di daratan sendiri sampai ke lautan. Diperkirakan sekitar 80% polusi yang terjadi di

lautan berasal dari pembangunan di daratan, termasuk pembangunan daerah pantai, kegiatan budidaya pertanian, aktifitas industri dan penggundulan hutan. Polusi dari daratan dan erosi adalah ancaman terbesar terhadap terumbu karang saat ini disamping yang diuraikan di sebelumnya.

Terumbu karang Indonesia terus mengalami tekanan yang beragam dari aktivitas di daratan, diantaranya penebangan hutan yang memiliki rata-rata kecepatan penebangan tahunan yang sangat tinggi, terutama antara tahun 1985 dan 1997 yang mencapai sebesar 1,7 juta hektar. Penebangan hutan dan perubahan tata guna lahan telah meningkatkan pelepasan sedimen ke perairan dimana terumbu karang berada, disamping tambahan yang berasal dari bahan pencemar berasal dari industri, buangan limbah, serta zat-zat penyubur pertanian 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).

Pariwisata dan pembangunan sangat penting di negara-negara kepulauan di Pasifik dalam meningkatkan perekonomian. Sehingga seperti di Fiji yang paling mengancam terumbu karang di negara ini berasal dari ekspansi manusia dan pembangunan. Di dalam kota di daratan dibersihkan untuk mengembangkan pariwisata, perumahan, industri atau jalan yang diantaranya menyebabkan terangkatnya tanah permukaan yang pada akhirnya berpotensi menimbulkan runoff ke laut. Di sepanjang pantai berdiri pembanguna hotel-hotel berukuran besar yang berdampingan dengan pantainya yang indah yang dilanjutkan dengan terumbu karang ke arah lautnya. Pembangunan hotel-hotel yang berukuran sangat besar dan megah tersebut dengan gampang ditemukan pada setiap daerah tujuan wisata pantai dan laut. Pembangunan konstruksi di sepanjang pantai tersebut apakah untuk hotel maupun bangunan lainnya bagaimanapun tetap akan menyumbangkan sedimen ke perairan disekitarnya apakah dari pengikisan lapisan tanah bagian atasnya atau dari proses penimbunan yang dilakukan.

Pembangunan seperi hotel dan fasilitas pariwisata lainnya tidak bisa menghindari proses land clearing tapak bangunan. Kondisi akan membawa sedimen dalam jumlah besar dari daerah land clearing, termasuk dalam jumlah besar posfor dan nitrogen dari areal pertanian. Peningkatan nutrien yang berlebihan yang diakibatkan runoff dapat

menyuburkan organisme terumbu lainnya seperti sponge dan kelompok algae yang dengan mudah berhasil berkompetisi dengan hewan karang dalam memperebutkan tempat dan cahaya, atau terbentuknya dasar perairan berlumpur disebabkan terjadinya proses sedimentasi.

Runoff mungkin membawa sedimen dalam jumlah besar dari daerah land clearing, tergantung jenis tanah, luas areal dan besar curah hujan. Sedimen dari daerah land clearing akan meningkatkan tekanan terhadap terumbu karang, sehingga memperburuk kondisi perairan pantai daerah lahan basah, terutama mangrove yang berfungsi sebagai buffer zone yang menyerap kelebihan nutrisi, sedimen dan polutan dari runoff berasal dari daratan.

Pengaruh sedimentasi tentu juga berasal dari aktifitas lainnya apakah yang berada di daratan jauh dari pantai maupun yang terjadi di laut sendiri. Termasuk aktifitas pertanian dan pembabatan hutan di hulu sungai tropis menyebabkan tanah longsor dan hanyut ke hilir sungai sampai ke laut termasuk ke areal terumbu karang. Bila tumbuhan di buang dari daerah yang cukup luas pada daerah lebih tinggi, permukaan tanah akan terbuka dan tidak terlindung. Sehingga pembangunan yang berlanjut untuk merubah landscape, akan meningkatkan pengikisan daratan serta peningkatan sedimentasi, serta juga akan mendorong jumlah runoff air tawar akan semakin meningkat.

6.2.5. Karang Untuk Konstruksi

Hamparan pasir putih yang indah di pantai-pantai pada perairan yang memiliki terumbu karang sebagian besar pasti berasal dari serpihan koloni-koloni karang yang mati. Terjadinya kematian karang dapat disebabkan banyak faktor, apakah disebabkan faktor fisika, kimia atau faktor biologi. Karang (karang batu) yang mati akan meninggalkan skeleton, dimana sebagian dari skeletonnya membentuk serpihan-serpihan yang didorong arus dan ombak akan menumpuk di pantai dalam bentuk pasir kalsium karbonat.

Pada beberapa daerah yang memiliki terumbu karang di Indonesia menggunakan pasir dari serpihan skeleton karang tersebut untuk bahan bangunan. Sementara skeleton karang yang masih utuh juga dimanfaatkan untuk menjadi pondasi bangunan (Gambar 41), apakah untuk jalan atau konstruksi lainnya. Kondisi ini tetap berlangsung pada beberapa daerah, disebabkan sulit dan mahal nya

bahan untuk pembangunan rumah atau jalan. Disamping itu di beberapa daerah juga melakukan pemanenan karang untuk dijadikan survenir, baik dalam koloni karang hidup maupun sudah dalam bentuk skeleton.

Pembangunan Fiji tidak memiliki industri yang mengekstraksi karang untuk produksi semen atau produksi bangunan dan tidak seharusnya dimulai. Sebagian pengecualian adalah pemanenan pasir hanya diluar Pelabuhan Suva dan dimulai setelah penelitian pengaruh lingkungan dilakukan dan menyimpulkan bahwa pengambilan pasir berkelanjutan. Fiji tidak memiliki terumbu karang yang cukup untuk menopang pembangunan konstruksi atau pabrik semen untuk waktu lama tanpa merusak serius lingkungan. Di Indonesia 25.000 ton karang diekstraksi untuk kapur oleh penduduk desa pesisir setiap tahun untuk campuran produksi semen.



Gambar 41. Penambangan batu karang (skeleton karang) untuk bahan konstruksi di Palau, http://coris.noaa.gov/about/eco_essays/palau/stressors.html



Gambar 42. Penulis dan seorang temannya berada diantara bongkahan-bongkahan skeleton karang yang sudah berada di daratan di salah satu tempat wisata di Okinawa Jepang.

Skeleton karang memiliki manfaat cukup banyak. Disamping yang disebutkan sebelumnya, skeleton karang diperdagangkan untuk hiasan akurium air laut, untuk pendidikan, dipelihara dan disimpan di museum-museum zoologi dan biologi dunia. Malahan di Okinawa Jepang juga ditemukan skeleton karang digunakan untuk menghiasi tempat-tempat rekreasi (Gambar 42).

6.2.6. Penangkapan Ikan Berlebihan

Salah satu faktor yang merusak terumbu karang adalah penangkapan ikan berlebihan. Dalam hal ini, kerusakan terumbu karang bukan disebabkan proses penangkapan, melainkan berasal dari pengaruh tidak langsung penurunan populasi ikan yang mengganggu kestabilan jaringan makanan di terumbu karang. Jadi, penangkapan ikan berlebihan ini berpengaruh tidak langsung terhadap terumbu karang, bukan pengaruh secara langsung.

Penangkapan ikan berlebihan pada suatu daerah (terumbu karang) menyebabkan penurunan ikan secara menyeluruh. Bila terjadi

over-fishing, seluruh jenis ikan akan menurun jumlah populasinya, apakah ikan bersifat karnivora, top karnivora, herbivora ataupun kelompok omnivora. Sebagai ekosistem yang sangat kompleks memang kerusakan yang disebabkan penangkapan ikan berlebihan tidak sesederhana itu. Namun secara sederhana, semua kategori ikan ini memiliki andil sangat penting dalam menjaga kestabilan jaringan makanan pada ekosistem terumbu karang. Bila kelompok ikan termasuk kelompok ikan herbivora menurun secara drastis, maka akan mengganggu beberapa aspek termasuk kelompok algae tumbuh tanpa kendali.

Terumbu karang adalah ekosistem yang paling subur dengan keanekaragaman hewan dan tumbuhan sangat berlimpah menempatinya. Keberlanjutan terumbu karang sangat tergantung pada kestabilan keanekaragaman hewan dan tumbuhan tersebut. Penangkapan ikan berlebihan pada dasarnya turut merusak terumbu karang karena kestabilan ekosistem terumbu karang khususnya pengendali algae menurun. Kondisi ini dapat menyebabkan blooming kelompok algae karena kelompok ikan herbivora sebagai pengendali algae menurun.

Over-fishing menjadi salah satu faktor perusak terumbu karang merupakan pengaruh tidak langsung, disebabkan *over-fishing* terjadi pada seluruh jenis ikan termasuk dari kelompok herbivora berdampak pada algae menjadi blooming karena tumbuh dan berkembang tanpa kendali. Karang disisi lain sebagai pembentuk utama terumbu karang memiliki kecepatan pertumbuhan sangat lambat, malahan untuk koloni bentuk massive hanya memiliki kecepatan pertumbuhan rata-rata 1 cm/tahun. Sementara kelompok algae memiliki kecepatan pertumbuhan sangat cepat. Sehingga bila kelompok algae tidak ada yang mengendalikannya akan secepatnya menutupi koloni-koloni karang yang pada akhirnya karang akan mati.

Untuk penangkapan ikan hias, pada saat ini tidak ada bukti yang mendukung bahwa pengambilan ikan hias menyebabkan pengaruh negatif terhadap ekosistem atau ada penurunan ikan hias karang di Fiji. Metoda penangkapan oleh beberapa perusahaan disini menyiapkan industri penangkapan ikan dengan tangan yang benar yang dilakukan. Seorang kolektor sebagai pakta telah menangkap ikan hias pada daerah yang sama lebih dari 15 tahun dan ikan-ikan yang ditangkap secara kontinyu tersedia dalam kondisi yang baik. Terutama berhubungan dengan metode penangkapan dengan tangan di Fiji, penangkapan ikan hias terumbu karang berjalan secara

berkelanjutan. Reputasi ikan hias terumbu karang hidup dari Fiji dianggap memiliki standar paling bagus dalam kesehatan dan kualitas.

Berbeda dengan praktek penangkapan ikan hias di beberapa negara termasuk Indonesia yang melakukan penangkapan ikan terumbu karang baik untuk ikan konsumsi maupun ikan hias dilakukan menggunakan bahan berbahaya. Seperti di Kepulauan Natuna dari beberapa informasi yang diperoleh dilakukan nelayan menggunakan sianida dan clorin. Dalam praktek penangkapan dengan sianida dan clorin ini memudahkan proses penangkapan ikan target, karena ikan-ikan sebagian besar mengalami pingsan, sehingga nelayan dengan mudah memungutnya. Namun disisi lain justru merusak terumbu karang, dan karang-karang yang terkena potasium menjadi mati. Kematian karang sebagai pembentuk utama terumbu karang akan menggiring ekosistem ini mengalami kerusakan, dan bila dilakukan secara berkelanjutan bukan tidak mungkin secara tidak langsung jelas bagaikan memusnakan terumbu karang secara bertahap.

Kembali pada penangkapan ikan hias terumbu karang secara lestari di Kepulauan Fiji bisa menjadi percontohan. Namun pada akhir-akhir ini di Fiji ditemukan perusahaan yang menggunakan tenaga penangkapan ikan dari Pilipina. Diketahui pada saat ini bahwa dua perusahaan lebih baru telah memulai (dalam tahun yang lalu) dan memperkerjakan penyelam dari Pilipina tersebut. Negara ini telah lama melakukan penangkapan ikan hias terumbu karang, akan tetapi sejarahnya menyedihkan karena mereka mempraktekan penangkapan ikan hidup yang tidak berkelanjutan seperti pemakaian sianida dan chlorine untuk memingsankan dan menangkap stok ikan yang ada.

6.2.7. Pariwisata

Terumbu karang di seluruh dunia sudah mengalami degradasi, baik yang berada di negara maju apalagi yang berada di negara sedang berkembang. Seperti hasil survei global oleh World Resources Institute yang memperkirakan bahwa 61 % terumbu karang di Mesir secara serius dalam kondisi beresiko dari pengaruh manusia (Bryant et al, 1998). Banyak faktor yang menyebabkan penurunan kondisi terumbu karang, dan salah satu faktor yang menyebabkannya adalah aktifitas wisatawan bawah laut.

Seperti kejadian di Kepulauan Fiji, aspek pariwisata adalah salah satu penghasil devisa Fiji terbesar. Namun dampak pariwisata terhadap terumbu karang juga tidak sedikit, apakah dampak langsung

dari wisatawan maupun dampak tidak langsung berupa pengaruh sampingan pembangunan sarana dan prasarana pariwisata itu sendiri. Hal ini merupakan fakta yang tidak perlu diragukan bahwa pariwisata memiliki paling besar pengaruh manusia langsung terhadap terumbu karang. Lebih dari 360.000 wisatawan tiap tahun berkunjung ke daerah terumbu karang, yang menopang perekonomian negara dan menggerakkan sekitar \$ 500.000.000 pendapatan dari pariwisata. Kehadiran wisatawan yang demikian besar secara bergantian mengunjungi beberapa titik berupa daerah tujuan wisata di Fiji tersebut. Sayangnya, banyak wisatawan tidak memiliki ilmu tentang terumbu yang baik, dan seharusnya menjadi kewajiban operator penyelam dalam memberikan bekal singkat tentang terumbu karang, termasuk perbuatan-perbuatan yang harus dihindari wisatawan bila berada di daerah terumbu karang. Prosedur tersebut seharusnya sudah baku, dan dilaksanakan oleh operator penyelam sebelum menggiring wisatawan menikmati ekosistem terumbu karang di dalam perairan. Namun pelaksanaan dilapangan jarang dilakukan. Keadaan ini menyebabkan turis yang tidak memiliki pengetahuan dan tidak diberi pengarahan, dan tidak jarang menyentuh organisme yang ditemukan di daerah terumbu karang.

Pengaruh lain yang termasuk tinggi terhadap terumbu karang adalah disebabkan ketidak-tahuan mereka banyak yang berdiri di atas koloni karang (Gambar 43) dan bahkan mengambilnya untuk dijadikan survenir. Industri pariwisata bawah air seharusnya memiliki catatan, dan harus menerapkan rencana manajemen kesadaran (awareness management plan) untuk operator penyelam. Tujuannya tentu dalam rangka dalam memelihara keberlanjutan terumbu karang itu sendiri.

Jangkar kapal terutama jangkar boat untuk membawa wisatawan bawah air juga berperan dalam merusak terumbu karang. Termasuk dampak ikutan yang berasal dari minyak boat tersebut. Kerusakan terumbu karang oleh jangkar dan polusi minyak adalah faktor lain yang harus diperhatikan. Walau beberapa operator menggunakan mooring pada sisi penyelamannya, akan tetapi sebagian besar tidak menggunakannya. Sebagai pertimbangan bahwa umumnya operator penyelam mengunjungi jalur yang sama beberapa kali dalam seminggu penting untuk dilaksanakan apa yang terjadi ketika mereka membuang jangkar ke terumbu karang. Jangkar dapat membersihkan beberapa meter persegi terumbu ketika kapal tertarik kesekitarnya oleh pengaruh ombak.



Gambar 43. Patahan atau kerusakan koloni karang disebabkan wisatawan berdiri di atas koloni karang. Tanda panah menunjukan patahan karang disebabkan injakan kaki snorkeler (Foto oleh Thamrin)

Kehadiran resort juga turut andil dalam menurunkan kondisi terumbu karang. Banyak disekitar pantai pada pulau-pulau resort yang lebih terkenal yang dapat dipertimbangkan ganjaran untuk zona intertidal. Jumlah wisatawan yang mencapai jutaan mengunjungi resort tidak mengherankan bahwa tidak ada untuk snorkeler atau glass bottom boat melihat sampai mereka mencapai terumbu karang dari segala sisi. Banyak darinya dengan muda tidak dapat dielakan pengaruh turis dalam menikmati terumbu setiap hari.

Terumbu karang seharusnya merupakan ekosistem yang subur sampai beberapa meter dari batas pasang. Kesuburan terumbu karang tersebut ditopang oleh intensitas matahari yang dibutuhkan simbiosis karang mikro-algae zooxanthellae untuk melakukan fotosintesis dalam posisi optimal sampai maksimal. Namun bagi daerah terumbu karang yang berada sampai beberapa meter dari batas pasang rata-rata merupakan daerah yang intensif dijangkau wisatawan. Keadaan ini menyebabkan terumbu karang pada daerah tersebut yang paling terpengaruh oleh aktifitas wisatawan.

Pengaruh wisatawan lain yang memiliki andil dalam menurunkan kondisi terumbu karang termasuk kegiatan yang sedang berkembang saat ini seperti dari industri olah raga air jet pendorong boat. Tekanan yang diberikan oleh jet tersebut termasuk sangat besar. Ketika jet menggerakkan ski air atau boat skim sepanjang permukaan bukan saja bisa melepaskan larva yang baru menempel atau polip karang yang masih muda dari dasar perairan, akan tetapi juga mampu menumbangkan karang muda atau tekanan terhadap cabang-cabang karang lebih tua yang beberapa inci dari permukaan.

Pengetahuan tentang kehidupan karang termasuk larva karang sendiri sangat diperlukan oleh operator diving, terutama bagi yang mengemudikan boat-boat dalam membawa wisatawan. Operator harus mengetahui bahwa di seluruh areal terumbu karang boleh jadi sedang bertumbuh dan berkembang jutaan sel-sel kecil dan larva karang dan organisme lainnya. Larva karang yang masih berukuran kecil dan masih rawan tersebut mungkin berada beberapa meter atau mungkin dalam hitungan centimeter saja dengan propeler atau jet boat yang selalu memiliki tekanan sangat besar, yang dapat membunuh sekalian larva tersebut. Boat-boat tersebut akan bergerak hampir sepanjang waktu di areal terumbu karang, dan dalam pergerakannya juga tidak jarang berhampiran dengan pinggiran yang dangkal. Seperti sebuah jet ski diperkirakan membunuh jutaan larva karang masih muda dalam waktu 30 menit pergerakannya. Walaupun

jarang mendapatkan perhatian berhubungan dengan kehidupan larva tersebut dalam dunia pariwisata bawah laut, namun untuk operatot boat-boat wisatawan sangat diperlukan agar keberlanjutan terumbu karang tetap terjaga.

Permasalahan lain adalah berhubungan dengan pembuangan kotoran manusia yang berasal dari ribuan wisatawan yang mengunjungi resor-resor pada suatu kepulauan. Sebagian besar resor-resor tersebut membuang kotoran manusia melalui parit-parir ke arah laut. Begitupun dengan limbah lainnya seperti deterjen dari cucian akan dialirkan langsung ke laut. Kondisi ini tentu saja tidak hanya akan membahayakan kesehatan manusia, akan tetapi juga berhubungan dengan kesehatan terumbu karang yang berada disekitarnya.

6.2.8. Survenir Karang dan Karang Hias Hidup

Terdapat dua perusahaan sedang beroperasi di Fiji yang membutuhkan koloni karang sebagai survenir keseluruh dunia. Koloni-koloni skeleton karang tersebut diperoleh dari karang yang masih hidup, kemudian dijual keseluruh dunia. Perusahaan-perusahaan tersebut mengekstrak karang masih hidup kemudian dipeking dan dikapalkan ke pasar luar negeri. Desa-desa berdampingan dijadikan sebagai pegawai untuk membawa hasil panen ke lokasi berdampingan. Koleksi dilakukan secara selektif sesuai yang dibutuhkan pasar, dan hanya spesies tertentu yang dibutuhkan pasar. Bagaimanapun, praktek ini termasuk merusak alam. Sebagian besar spesies termasuk kategori merupakan spesies yang memiliki pertumbuhan cepat, biasanya *Acropora* dengan usia antara lima sampai 10 tahun. Dalam porsi besar koloni karang-karang ini dipertimbangkan tidak dapat dipakai oleh perusahaan karena mereka merusak alam karena atau secara sederhana ukuran terlalu besar atau terlalu kecil. Karena hanya spesies, ukuran dan bentuk tertentu yang diinginkan perusahaan, sebagian besar karang-karang dibiarkan ditinggalkan oleh kolektor. Pemanenan secara selektif ini memungkinkan untuk kelanjutan rekrutmen bagi karang baru. Akan tetapi salah satu permasalahan yang paling besar dihadapi industri ini adalah dalam memberikan pelatihan terhadap penduduk lokal untuk mengurangi dampak pengambilan karang ketika diambil. Bila sebuah koloni diambil hancur dalam penanganan kemudian karang-karang tersebut tidak dapat digunakan dan memerlukan pengganti dari terumbu. Kejadian ini harus dihindari dan eksploitasi berlebihan karena akan dapat merusak terumbu karang.

6.2.9. Global Warming

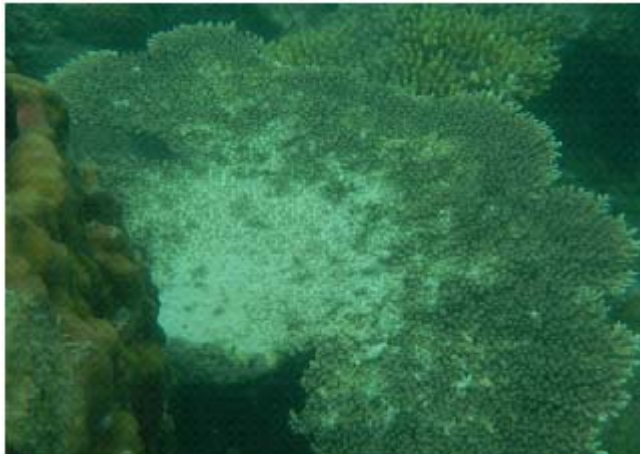
Selama dua dekade terakhir telah muncul ancaman lain yang tidak kalah lebih berbahaya terhadap terumbu karang. Ancaman tersebut berupa fenomena alam sehubungan adanya aneka tekanan, yang pada akhirnya menyebabkan kenaikan suhu air laut dan berdampak pada pemutihan karang (*Coral Bleaching*). Kenaikan suhu air laut berhubungan dengan global warming (EL Nino), yang juga sangat signifikan pernah terjadi di berbagai daerah seperti di Indonesia pada tahun 1997 - 1998 (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 - 1983 dari pada tahun 1997 - 1998, walaupun temperatur ekstrim selama dua kejadian tersebut tidak jauh berbeda (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 peningkatan temperatur ini menyebabkan terumbu karang mengalami kematian karang hidup mencapai 70 – 90 %, dengan kedalaman mencapai 15 m, dan di beberapa tempat bahkan mencapai 18 meter. Sehingga kejadian ini bisa membunuh total karang-karang yang berada di barat sumatera yang pada umumnya hanya menyebar sampai kedalaman rata-rata 10 m. Sementara untuk 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 antara 1-3°C diperkirakan akan terjadi menjelang 2050. Sementara temperatur permukaan bumi diperkirakan akan meningkat 1.4-5.8°C menjelang 2100 (IPCC, 2001). Lebih jauh, radiasi UV berlebihan berperan bersamaan dengan peningkatan temperatur permukaan air laut 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 diperkirakan sekitar 20% akan terus mengalami penurunan kondisinya 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 waktu tidak lama akan berada dalam kondisi berbahaya, dan lebih jauh 26% dalam beberapa periode ke depan akan musnah, kecuali kalau kita mengimplementasikan manajemen yang tepat dan memprioritaskan terhadap ekosistem ini.



Gambar 44. Sebagian dari koloni karang *Acropora* sudah mengalami pemutihan pada kedalaman 5 meter di Taman Laut Pulau Tinggi Mersing Johor, Malaysia (Foto oleh Thamrin)

6.3. Kelanjutan Dampak Perusakan Karang

Banyak faktor yang dapat mempengaruhi ekosistem terumbu karang. Bila salah satu faktor, atau dua ataupun seluruh faktor yang memiliki dampak terhadap hewan karang sampai mempengaruhi populasi hewan karang, secara tidak langsung akan merusak kondisi terumbu karang itu sendiri. Ekosistem dengan ribuan hewan dan tumbuhan yang memiliki ketergantungan dengan terumbu karang juga akan terganggu. Secara perlahan skeleton karang yang tersisa secara berangsur-angsur akan hancur, sehingga organisme yang tergantung dengan skeleton karang karang atau terumbu karang juga turut terkena dampak. Seperti *Tridakna gigas* yang biasanya tertanam secara kokoh di dalam skeleton karang dengan posisi mulut berada di atas telah terpisah dari tempatnya berlindung semula sudah tergeletak di dasar, dan dengan mudah dapat dipungut nelayan (Gambar 43).





Gambar 45. Posisi *Tridacna gigas* dalam keadaan normal ketika terumbu masih bagus (a), dan (b) setelah berubah dan tidak sesuai posisi seharusnya disebabkan oleh kerusakan terumbu karang di Pulau Pesumpahan Sumatera Barat (Foto oleh Thamrin).

Bab 7

SIMBIOSIS KARANG DAN ZOOXANTHELLAE

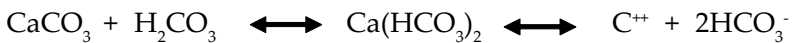
Zooxanthellae adalah nama panggilan yang ditujukan pada salah satu spesies dari Filum Dinoplageolata. Mikroflora ini telah beberapa kali mengalami perubahan nama, dari *Symbiodinium adriaticum* menjadi *Symbiodinium microdriaticum*. Namun pada akhirnya dengan perkembangan ilmu pengetahuan dari waktu ke waktu diberbagai bidang termasuk di bidang terumbu karang secara umum dan di bidang mikro-algae zooxanthellae secara khusus, nama spesies zooxanthellae sementara ditetapkan menjadi *Symbiodinium* spp. Kondisi ini disebabkan ternyata zooxanthellae pada dasarnya bukan berasal dari satu spesies, namun dalam penetapan namanya masih mengacu pada clade yang berbeda. Terakhir diperkirakan dijumpai sekitar 6 clade zooxanthellae yang hidup pada berbagai jenis karang.

Hubungan zooxanthellae dengan hewan karang bersimbiosis secara mutualisme, dimana karang sebagai inang dan zooxanthellae sendiri sebagai simbinnya saling diuntungkan. Namun dalam kehidupan zooxanthellae tidak hanya ditemukan di dalam tubuh karang, akan tetapi juga ditemukan di dalam organisme laut lainnya. Beberapa organisme laut lain yang juga menjadi inang zooxanthellae seperti kima atau *Tridakna gigas* (Gambar 44), nudibranchs dan bahkan pada ubur-ubur (jellyfish), protozoa seperti foraminifera dan radiolaria.



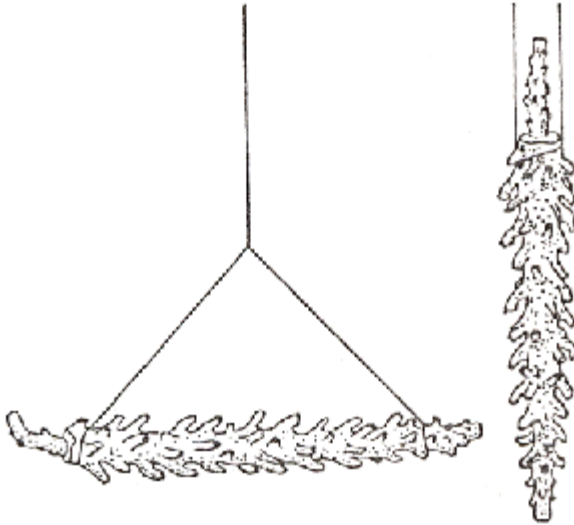
Gambar. 46. Spesimen ukuran sedang *Tridacna maxima* pada kedalaman ~6 m di Teluk Anemone, Kepulauan North Solitary Australia (Smith, 2011)

Sebagai organisme dari kelompok tumbuhan yang lainnya, mikro alga zooxanthellae membutuhkan cahaya matahari untuk melakukan fotosintesis dan untuk pertumbuhan. Kondisi ini menyebabkan bila fragmen karang berada dalam posisi bagaimanapun, arah pertumbuhan fragmen tetap akan ke atas dimana sumber cahaya berada (Gambar 45). Polip sebagai individu terkecil dalam koloni karang scleractinia didukung oleh skeleton yang dibangun bersama simbiornya zooxanthellae yang menetap di dalam tubuh karang. Skeleton atau kerangka ini terdiri dari zat kapur (CaCO_3). Penumpukkan zat kapur ini yang berupa kerangka dari karang yang disebut corallum diperkirakan diambil dari kalsium karbonat yang terlarut di dalam air dengan reaksi sebagai berikut:



Diperkirakan asam karbonat (H_2CO_3) terjadi dalam bentuk ion hidrogen (H^+) dan ion karbonat (HCO_3^-) yang memiliki kecondongan terpisah menjadi H_2O dan CO_2 . Keseluruhan reaksi ini terjadi di dalam tisu karang, dimana air dan produksi karbon dioksida dipercepat oleh enzim anhidrase (anhydrase). Karbondioksida dimanfaatkan oleh zooxanthella untuk melakukan fotosintesis yang menyebabkan

persamaan reaksi menjadi tidak seimbang dan condong ke kiri. Hal ini menyebabkan terjadinya presipitasi CaCO_3 sehingga terjadi pertumbuhan koloni karang.



Gambar 47. Regenerasi fragmen karang bercabang *Acropora* sp. yang digantung dengan posisi horizontal dan dengan posisi vertikal (Kawaguti, 1937)

Dari Gambar 45 menunjukkan bahwa zooxanthellae juga berperan sampai dalam menentukan arah pertumbuhan karang. Kemudian proses fotosintesis memproduksi gula essential untuk pertumbuhan tumbuhan. Namun dalam proses ini setelah zooxanthellae memiliki cukup gula diproduksi untuk dibagikan sebagian dengan inangnya. Sebaliknya inang akan membantu pertumbuhan zooxanthellae dengan mentransfer sebagian sisa organik tersebut.

Zooxanthellae hadir dalam siklus kehidupan karang tidak sama diantara spesies satu dengan spesies lain. Pada sebagian besar karang tipe spawning, zooxanthellae mulai terdeteksi pada umumnya berbagai spesies karang saat embriogenesis. Dalam arti kata, karang memperoleh zooxanthellae dari dalam kolom air. Inang yang masih juvenile menyaring zooxanthellae dari air laut dan masuk ke dalam rongga koelenteron dan kemudian ke dalam tisu endodermis. Di dalam

lapisan endodermis zooxanthellae melakukan peningkatan jumlah individu melalui pembelahan secara sederhana.

Hubungan Antara Karang dan Zooxanthellae

Hubungan antara karang sebagai inang dan zooxanthellae sebagai simbiosis menguntungkan kedua belah pihak. Kondisi ini terlihat dengan jelas bila zooxanthellae keluar dari tubuh karang atau mati yang disebabkan berbagai perubahan parameter lingkungan yang mengganggu hubungan antara zooxanthellae dan karang inang. Bila zooxanthellae meninggalkan tubuh karang inangnya pada awalnya akan terlihat dari perubahan warna karang inang dari kondisi normal, sesuai dengan jumlah zooxanthellae yang keluar dari tubuh karang inang, dan bila seluruh zooxanthellae meninggalkan karang tidak jarang berujung pada kematian karang inang. Proses keluarnya zooxanthellae dari tubuh karang dikenal dengan istilah bleaching pada karang. Namun demikian tingkat keuntungan dan ketergantungan karang pada zooxanthellae masih belum jelas sepenuhnya (Douglas and Smith 1989).

Bila karang mengalami stres yang disebabkan perubahan berbagai faktor lingkungan yang tidak sesuai dengan kondisi normal, zooxanthellae sebagai simbiosis akan keluar dari tubuh karang atau tetap dan mati di dalam tubuh inangnya. Dalam arti kata, pengaruh parameter lingkungan apapun yang berdampak negatif pada karang akan merusak hubungan antara karang dengan simbiosisnya zooxanthellae pertama kali. Dampak negatif lingkungan yang tidak menguntungkan karang terdeteksi langsung pada penurunan atau keluarnya sama sekali zooxanthellae dari dalam tubuh karang yang terkena dampak. Penurunan kepadatan zooxanthellae pada karang terlihat langsung pada perubahan warna karang inang, dan bila seluruh zooxanthellae meninggalkan tubuh karang akan menyebabkan warna karang inang menjadi putih sama sekali. Proses berkurangnya konsentrasi zooxanthellae di dalam tubuh karang apakah disebabkan keluar atau mati di dalam tubuh karang yang menyebabkan karang sebagai inang berubah warna menjadi pucat atau putih sesuai dengan konsentrasi zooxanthellae yang tersisah di dalam tubuh karang.

Koloni karang berwarna putih adalah disebabkan keluar atau matinya zooxanthellae di dalam tubuh karang. Penurunan kepadatan zooxanthellae di dalam tubuh karang sejalan dengan penurunan

warna karang inang sendiri. Namun penurunan warna karang biasanya juga diikuti oleh penurunan pigmen fotosintesis di dalam zooxanthellae. Disamping itu warna karang juga berhubungan dengan hilangnya atau penurunan konsentrasi Green Fluorescent Proteins (GFP) dari pigmen sel cnidaria sendiri. Bila zooxanthellae keluar dari atau mati di dalam tubuh karang yang disertai matinya tisu atau terlepas dari skeleton karang menyebabkan karang menyisahkan skeleton berwarna putih.

Karang yang mengalami stres dan melepaskan zooxanthellae dari tubuhnya akan meraih zooxanthellae dan warnanya juga akan kembali kesedia kala bila kondisi lingkungan segera kembali ke keadaan semula. Namun bagi karang yang berada pada daerah terganggu secara konstan akan ditinggalkan zooxanthellae secara permanen, dan dapat dipastikan karang akan menjadi mati. Beberapa faktor lingkungan yang menyebabkan karang menjadi stres diantaranya adalah terbukanya karang ke udara disebabkan penurunan pasang secara ekstrim atau pengaruh dari radiasi matahari secara intensif pada lingkungan perairan yang dangkal. Pada akhir-akhir ini yang menjadi faktor sangat berbahaya termasuk stres terhadap perubahan temperatur. Peristiwa bleaching dapat terjadi bila terjadi peningkatan temperatur antara 1-2 derajat celsius selama 5-10 minggu, atau penurunan temperatur 3-5 degrees Celsius selama 5-10 hari.

Sebelumnya dikatakan bahwa hubungan antara zooxanthellae dan karang belum difahami sepenuhnya. Namun zooxanthellae menyuplai kebutuhan energi karang diperkirakan antara 90 sampai 98 %. Sebaliknya karang menyediakan zooxanthellae proteksi, tempat tinggal, nutrien, sebagian besar sisa material yang mengandung nitrogen dan posfor, dan suplai karbondioksida yang dibutuhkan untuk fotosintesis. Populasi zooxanthellae pada tisu karang terbatas oleh keberadaan nutrien dan cahaya, dan oleh pelepasan kases sel-sel zooxanthellae jadi pertumbuhannya terbatas terhadap cahaya laut pada daerah photic. Hubungan simbiosis diperkirakan bertanggung jawab untuk keberhailan karang sebagai organisme pembentuk terumbu di daerah tropis.

Zooxanthellae sejauh ini sangat difahami sebagai mikroorganisme dari kelompok alga Dinoplagegellata yang berasosiasi dengan beberapa organisme laut termasuk dengan hewan karang. Secara fisiologi serta sifatnya yang bersimbiosis dengan beberapa jenis organisme laut tersebut telah dipelajari selama beberapa dekade. Keuntungan dari

segi nutrisi terhadap inang dan simbiosis telah diulas secara ekstensif dimana-mana (seperti Muller-Parker dan D'Elia 1997) dan tidak akan dibahas secara rinci di sini.

Hubungan antara karang sebagai inang dan zooxanthellae sebagai simbiosis menguntungkan kedua belah pihak. Kondisi ini terlihat dengan jelas bila zooxanthellae keluar dari tubuh karang atau mati yang disebabkan berbagai perubahan parameter lingkungan yang tidak jarang berujung pada kematian karang inang. Proses keluarnya zooxanthellae dari tubuh karang dikenal dengan istilah bleaching pada karang. Namun demikian tingkat keuntungan dan ketergantungan karang pada zooxanthellae masih kurang jelas (Douglas and Smith 1989).

Sampai sejauh ini belum pernah dilaporkan zooxanthellae ditemukan di alam di luar inangnya. Akan tetapi dapat ditemukan dengan mudah melalui perlakuan di Laboratorium, seumpama ketika Zooxanthellae keluar dari tubuh karang disebabkan sesuatu faktor lingkungan tidak menguntungkan, apakah perlakuan temperatur air yang tinggi atau rendah terhadap karang, salinitas tinggi atau rendah dan lain-lainnya. Bila zooxanthellae keluar dari karang inang kemudian menempel dan berkembang di dinding-dinding kontainer eksperimen. Sehingga dengan mudah zooxanthellae diperoleh bila menginginkan untuk mengamatinya. Namun demikian hampir tidak ada sama sekali diketahui tentang ekologi dan fisiologi dari zooxanthellae yang hidup bebas pada lingkungan di alam (LaJeunesse 2001). Walaupun sebagian besar karang sebagai inang membutuhkan zooxanthellae dari lingkungan, strains yang hidup bebas jarang terisolasi (Loeblich and Sherley 1979; Carlos et al. 1999).

Dalam mempertahankan hidup dan untuk keberlanjutan kehidupan setiap organisme ditemukan dalam bentuk bersimbiosis dengan organisme yang lain, disamping juga tidak dapat dihindari harus berkompetisi apakah diantara organisme berbeda dalam spesies yang sama yang dikenal dengan *interspecific competition* atau diantara spesies berlainan yang juga disebut dengan *intraspecific competition*. 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 diuntungkan; 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 dalam proses 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 mempelancar proses kalsifikasi hewan karang.

Zooxanthellae menetap dan berkembang biak di dalam lapisan endodermis lapisan tubuh karang, dan secara tidak langsung mendapat perlindungan dari karang inang. Karang bagi zooxanthellae merupakan salah satu habitat yang baik karena merupakan pensuplai terbesar zat anorganik untuk melakukan proses fotosintesis. Sebagai contoh untuk zooxanthellae pada karang *Acropora palmata* dalam menyuplai nitrogen anorganik diperkirakan mencapai 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.

Pertumbuhan karang sendiri ditentukan oleh beberapa faktor lingkungan. Kemudian pertumbuhan optimum pertumbuhan karang juga dipengaruhi kecepatan fotosintesis zooxanthellae. Sementara kecepatan proses fotosintesis juga bervariasi, disamping ditentukan oleh tipe *Symbiodinium* sebagai simbiosis karang juga dikendalikan oleh berbagai faktor lingkungan tadi apakah temperatur, kecerahan perairan, kedalaman perairan, ataupun kekeruhan perairan. Beberapa spesies karang berkembang secara maksimum pada temperatur antara 26°C sampai dengan 32°C, dimana jenis yang lain tumbuh dengan sangat cepat pada suhu 26°C, dan sebaliknya lebih rendah pada suhu 30°C.

Dibandingkan dengan fauna lain yang tidak terikat dengan substrata dasar, hewan karang memiliki kelemahan termasuk sifatnya yang melekat dan menetap di dasar perairan. Sehingga bila terjadi perubahan lingkungan yang berdampak buruk pada karang tidak bisa menghindari dari pengaruh lingkungan tersebut, seumpama pengaruh bahan pencemaran. Keadaan ini menyebabkan karang sangat rentan dari pengaruh lingkungan yang merusak, baik yang berasal dari manusia maupun dari alam. Gangguan ini meliputi seperti sedimentasi, polutan, penurunan salinitas, dan peningkatan temperatur, serta pengaruh lingkungan lainnya.

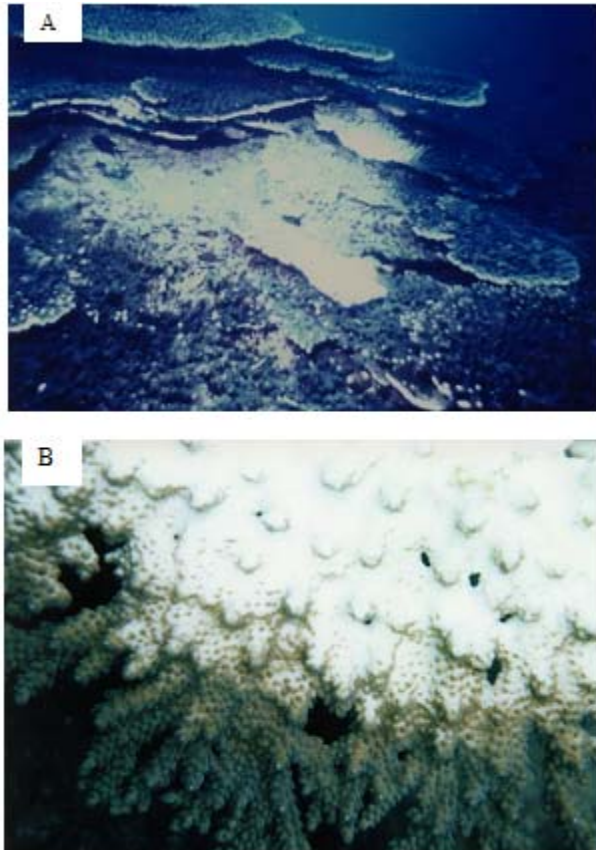
Karang batu tidak bisa dipisahkan dari zooxanthellae, karena ketergantungan hewan ini yang sangat besar terhadap simbiosisnya zooxanthellae sebagaimana disebutkan di atas. Banyak faktor yang bisa memutuskan hubungan antara karang dengan simbiosisnya zooxanthellae, dan karang sebagai inang dikenal sebagai 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; 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. Bila hubungan antara faktor lingkungan dengan karang terganggu, maka zooxanthellae akan keluar dari tubuh karang atau mati di dalam tubuh karang inang, yang menyebabkan warnanya berubah menjadi putih (Gambar 45). Bila kondisi lingkungan segera kembali normal dan karang yang mengalami *bleaching* juga dapat meraih zooxanthellae kembali, dimungkinkan dapat bertahan hidup. Namun bila perubahan kondisi lingkungan berkelanjutan maka karang-karang tersebut akan mati.

Zooxanthellae memiliki sifat yang sangat sensitif terhadap berbagai perubahan lingkungan sebagai mana disebutkan di atas. Seperti 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 laut. Densitas zooxanthellae menurun secara signifikan dengan meningkatnya padatan tersuspensi harian di dalam air (Thamrin et al., 2004a,b).

Sifat sensitif zooxanthellae sebagai simbion 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 simbion 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 simbion, dan microalgae 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 simbion pada karang bisa menghindari dari penurunan perubahan parameter lingkungan dengan cara keluar dari tubuh karang inang dengan bantuan arus atau dalam bentuk zoospora mencari inang atau lingkungan yang lebih menguntungkan.



Gambar 48. 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).



DAFTAR PUSTAKA

- A Primer on Coral Reefs. 2000. Introduction of The 9th International Coral Reef Symposium in Bali, Indonesia. 17-18.
- 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.
- Alqur'anulkarim, Surat Arrum, ayat 41
- Ayre D.J., and J.M. Resing. 1986. Sexual and asexual production of planulae in reef corals. Mar Biol 90:187-190
- Ayre D.J., T.P. Hughes, and R.C. Standish 1986. Genetic differentiation, reproductive mode, and gene flow in the brooding coral *Pocillopora damicornis* along the Great Barrier Reef, Australia. Mar. Ecol. Prog. Ser., 159: 175-187.
- Babcock R.C. 1980. The biology of *Goniastrea aspera* in the Townsville Region. Thesis James Cook University of North Queensland, Townsville, 123pp.
- Babcock 1984. Dreproduction and distribution of two species *Goniastrea* (Scleractinia) from the Great Barrier Reef Province. Coral Reefs. 2: 187-195.
- Babcock R.C., G.D. Bull, P.L. Harrison, A.J. Heyward, J.K. Oliver, C.C. Wallace and B.L. Willis, 1986. Synchronous spawning of 105 scleractinian coral species on the Great Barrier Reef. Mar. Biol. 90: 379-394.

- Baker A.C. 1999. The symbiosis ecology of reef-building corals. Ph.D. thesis. University of Miami, Miami, Fla.
- Baker A.C (2001) Reef corals bleach to survive change. *Nature* 411:765–766
- Barnes R.S.K. and R.N. Hughes. 1995. An introduction to marine ecology. 2nd edition. Blackwell Science Australia. 351 p.
- Belwood J.J. 1990. Anti-predator defences and ecology of neotropical forest katydids, especially the Pseudophyllinae. Pps 8–26. *In*: Bailey, W.J. and Rentz, D.C.F. (eds.) *The Tettigoniidae: biology, systematics and evolution*. Bathurst (Crawford House Press) & Berlin (Springer).
- 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)
- Bothwell A.M. 1982. Fragmentation, a means of asexual reproduction and dispersal in the coral genus *Acropora* (Scleractinia: Astrocoeniida: Acroporidae) – A preliminary report. *Proc. 4th Coral Reef Symp., Manila, 1981.* 2: 137-144.
- Bryant, D., L. Burke, J. McManus, and M. Spalding. 1998. *Reefs at Risk: A Map-Based Indicator of Threats to the World's Coral Reefs*. Washington, DC: World Resources Institute, 56 pp.
- Brown B. 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.
- Bull G. 1986. Distribution and abundance of coral plankton. *Coral Reefs*. 4: 1285-1296.
- Burke L. and J. Maidens, 2004. *Reefs at Risk in the Caribbean*. World Resources Institute (WRI), Washington, DC. Online at: <http://www.wri.org/publication/reefs-risk-caribbean>
- Carleton C. and K.S. Lawrence 2005. *Economic Valuation of Environmental Resource Services in the Turks and Caicos Islands*. Prepared for the Government of the Turks and Caicos Islands by Nautilus Consultants Ltd., Peebles, UK.
- 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. *J Phycol* 35:1054–1062
- Caley J. M. and D. Schluter. 1997. The relationship between local and regional diversity. *Ecology* 78: 70–80.
- Cesar H.J.S., L. Burke and L. Pet-Soede. 2003. The Economics of Worldwide Coral Reef Degradation. Cesar Environmental Economics Consulting, Arnhem, and WWF-Netherlands, Zeist, The Netherlands. 23pp. Online at: <http://assets.panda.org/downloads/cesardegradationreport100203.pdf>
- Cervino J. M., R. Hayes, T.J. Goreau and G.W. Smith. 2003. Zooxanthellae Regulation in Yellow Blotch/Band and Other Coral Diseases Contrasted with Temperature Related Bleaching: *In Situ* Destruction vs Expulsion. *Symbiosis*, 37 (2004) 63–85 63
- Connell J.H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. High diversity of trees and corals is maintained only in a nonequilibrium state, *Science*, vol. 199, no. 4335: 1302–1310.
- Chavez P.S., Jr., 1986. Digital merging of Landsat TM and Digitized NHAP Data for 1:24,000-Scale Image Mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52: 1637-1646.
- Chesson P. 2000. Mechanisms of maintenance of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 31, 343–366.
- Chia F.S. 1976. Sea anemone reproduction: patterns and adaptive radiations. In: Mackie GO (ed) *Coelenterate ecology and behavior*. Plenum Press, New York, pp 261 270
- Chia F. dan L.R. Bickell. 1983. Echinodermata. Pp. 545-620 in *reproductive Biology of Invertebrate*. Vol, 2: Spermiogenesis and sperm function, K.G. and R.G. Adiyodi (Eds.) John Wiley and Sons, New York.
- Clarke A. 1992. Is there a latitudinal species diversity cline in the sea? *Trends in Ecology and Evolution* 7:286-287
- Connolly S. R., Bellwood, D.R. and T.P. Hughes. 2003. Geographic ranges and species richness gradients: a reevaluation of coral reef biogeography. *Ecology* 84, 2178–2190.
- Connell J.H. 1973. Population ecology of reef-building corals. In: O.A. Jones and R. Endean (Eds.), *Biology and geology of Coral reefs*, 2. Biol., I. Academic Press, New York, pp. 205-245.
- 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.
- Diekmann O.E., R. P. M. Bak, L. Tonk, W.T. Stam, and J.L. Olsen. 2002. No habitat correlation of zooxanthellae in the coral genus *Madracis* on a Curacao reef. *Marine Ecology Progress Series* 227:221–232.

- Doherty P.J. and A.J. Fowler. 1994. An empirical test of recruitment limitation in a coral reef fish. *Science* 263: 935-939.
- Doherty P.J. and A.J. Fowler. 1994. Demographic consequences of variable recruitment to coral reef fish populations: a congeneric comparison of two damselfishes. *Bulletin of Marine Science* 54: 297-313.
- Dollar S. J., and G. W. Tribble. 1993. Recurrent storm disturbance and recovery: A long-term study of coral communities in Hawaii. *Coral Reefs* 12:223-233.
- Douglas A.E. and D.C. Smith, 1989. Are endosymbioses mutualistic? *Trends in Ecology & Evolution* 4, 350-352.
- Fadlallah Y.H. 1981. The reproductive biology of three species of corals from Central California. Thesis, University of California, Santa Cruz., 193 pp.
- Fadlallah Y.H. 1982. Reproductive ecology of coral *Astrangia lajollaensis*: sexual and asexual patterns in a kelp forest habitat. *Oecologia*, 55: 379-388.
- Fadlallah Y.H dan J.S. Pearse 1982a. Sexual reproduction in solitary corals: overlapping oogenic and brooding cyclea, and bentic planulas in *Balanophyllia elegans*. *Mar. Biol.*, 71: 223-231.
- Fadlallah Y.H dan J.S. Pearse 1982b. Sexual reproduction in solitary corals: synchronous gametogenesis and broadcast spawning in *Paracyathus stearnsii*. *Mar. Biol.*, 71: 233-239.
- Fadlallah Y.H. 1983. Sexual reproduction, development and larval biology in scleractinian corals. A review. *Coral Reefs*. 2: 129-150.
- Fagerstrom J.A. 1987. The evolution of reef communities. Wiley, New York
- Fitt W.K., F.K. McFarland, M.E. Warner, and G.C. Chilcoat. 2000. Seasonal patterns of tissue biomass and densities of symbiotic dinoflagellates in reef corals and relation to coral bleaching. *Limnology and Oceanography* 45: 677-685.
- Gardiner J.S. 1902. South African corals of the genus *Flabellum*, with an account of their anatomy and development. *Mar. Invest. In South Africa, Cape of Good Hope Dep. Agric., Cape Town*. 2: 117-154.
- 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., 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., S.B. Colley, N.J. Gasman, K. Black, J. Cortes, J.L. Mate. 1996. Reef coral reproduction in the eastern Pacific: Costa Rica, Panama, and Galapagos Islands (Ecuador).III. Agariciidae (*Pavona gigantea* and *Gardineroseris planulata*). *Mar. Biol.*, 125: 579-601.
- Goreau T. F. (1959). The ecology of Jamaican coral reefs. *Ecology* 40: 67-90.
- 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.
- Hallock P., 1997, *Reefs and reef limestones in earth history, in Birkelund, C., ed., Life and Death of Coral Reefs: Chapman & Hall, New York, 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.
- Harrison P.L., R.C. Babcock, G.D. Bull, J.K. Oliver, C.C. Wallace, B.L. Willis 1984. Mass spawning in tropical corals. *Science Wash. D.C.* 223: 1186-1189.
- Harrison P.L. and C.C. Wallace. 1990. Reproduction, dispersal and recruitment of scleractinian corals. In: Dubinsky Z (Ed.) *Ecosystems of the world, Vol 25, Coral Reefs*, Elsevier, Amsterdam, p 133-203.
- Harriott V.J. 1983a. Reproductive ecology of four scleractinian species at Lizart Islad, Great Barrier Reef. *Coral Reefs*. 2: 9-18.
- Harriott V.J. 1983b. Reproductive seasonality, settlement, and post-settlement mortality of *Pocillopora damicornis* (Linnaeus), at Lizard Island, Great Barrier Reef. *Coral Reefs*. 2: 151-157.
- Harriott V.J. and D.A. Fisk 1988. Recruitment patterns of three corals: a study of three reefs. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 39: 409-416.
- Hatcher B.G., R.E. Johannes & A.I. Robertson, 1989. "Review of Research Relevant to the Conservation of Shallow Tropical Marine Ecosystems". *Oceanogr. Mar. Biol. Maret Biol. Annu. Annu. Rev.* , Vol. Vol. 27, pp. 337-414.
- Herre E. A., N. Knowlton, U. G. Mueller, and S. A. Rehner. 1999. The evolution of mutualisms: exploring the paths between conflict and cooperation. *Trends in Ecology & Evolution* 14:49-53.
- Heyward A.J. and R.C. Babcock 1985. Embryonic and postembryonic development of some hermatypic corals. *Proc 5th Int Coral Reef Congress, Tahiti*, 2:176
- Heyward A.J. dan R.C. Babcock, 1986. Self- and cross-fertilization in scleractinian corals. *Marine Biology*, 90: 191-195.
- Heyward A.J. and J.D. Collins. 1985. Fragmentation in *Montipora ramosa*: the genet and ramet concept applied to a reef coral. *Coral Reefs*, 4: 35-40

- Heyward A.J., K. Yamazato, T. Yeemin and M. Minei 1987. Sexual reproduction of corals in Okinawa. *Galaxea* 6:331-343
- Highsmith R. C. (1980). Passive colonization and asexual colony multiplication in the massive coral *Porites lutea* Milne Edwards. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 47: 55-67
- Highsmith R.C. 1982. Reproduction by fragmentation in corals (Review). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 7: 207-226.
- Highsmith R.C., A.C. Riggs and C.M. Dantonio 1980. Survival of hurricane-generated coral fragments and a disturbance model of reef calcification/growth rates. *Oecologia* 46: 322-329.
- Hodgson G. 1999. *A global assessment of human effects on coral reefs.* *Marine Pollution Bulletin.* 38(5): 345-55.
- Hoeksema J. D., and M. Kummel. 2003. Ecological persistence of the plant-mycorrhizal mutualism: a hypothesis from species coexistence theory. *American Naturalist* 162 (suppl.): S40–S50.
- Hubbell S.P. (2001). *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography.* Princeton University Press, Princeton, NJ.
- 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.
- Hunter C. 1993. Genotypic variation and clonal structure in coral populations with different disturbance histories. *Evolution* 47:1213–1228
- Huston M. A., 1994, *Biological Diversity: The Coexistence of Species on Changing Landscapes* (Cambridge: Cambridge University Press).
- 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
- 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. and D.R. Levitan. 1990. Recruitment-limitation in open populations of *Diadema antillarum*: an evaluation. *Oecologia* 82: 40-44.
- Karlson R.H. and L.E. Hurd 1993. Disturbance, coral-reef communities, and changing ecological paradigms. *Coral Reefs* 12: 117–125
- 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)
- Kinzie R.A. 1993. Spawning in the reef corals *Pocillopora verrucosa* and *P. eydouxi* at Sesoko Island, Okinawa. *Galaxea.* 11: 93-105.

- Kojis, B.L. 1984. Reproductive ecology of some hermatypic corals in the west Pacific. Thesis. University of Queensland.
- Kojis B.L. 1986a. Sexual reproduction in *Acropora (Isopora)* species (Coelenterata: Scleractinia). I. *A. cuneata* and *A. palifera* on Heron Island reef, from Great Barrier Reef. *Mar. Biol.* 91: 291-309
- Kojis, B.L. 1986b. Sexual reproduction in *Acropora (Isopora)* species (Coelenterata: Scleractinia). II. Latitudinal variation in *A. palifera* from Great Barrier Reef and Papua New Guinea. *Mar. Biol.* 91: 311-318.
- Kojis B.L and N.J. Quinn. 1980. Mode and timing of sexual reproduction in some members of the hermatypic coral family Faviidae. *Am. Zool.*, 20: 819.
- Kojis B.L and N.J. Quinn. 1981. Aspect of sexual reproduction and larval development in the shallow water hermatypic coral. *Goniastrea australensis* (Edward and Haime, 1957). *Bull. Mar. Sci.* 31: 558-573.
- Kojis B.L and N.J. Quinn. 1982a. Reproductive strategies in four species of *Porites* (Scleractinia). *Proc. 4th Int. Coral Reef Symp.*, Manila, 1981. 2: 145-151.
- Kojis B.L and N.J. Quinn. 1982b. Reproductive ecology of two Faviid corals (Coelenterata: Scleractinia). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 8: 251-255.
- Kojis, B. L. and N. J. Quinn, 1985. Puberty in *Goniastrea favulus*. age or size limited? In.: Gabrie, C et al. (eds.) *Proceedings of the Fifth International Coral Reef Congress. Tahiti, Vol. 4.* Antenne Museum - EPHE, Moorea, French Polynesia, p. 289-293.
- Kramarsku-Winter E., M. Fine, Y. Loya. 1997. Coral polyp expulsion. *Nature* 387: 137.
- Krupp D.A. 1983. Sexual reproduction and early development of the solitary coral *Fungia scutaria* (Anthozoa: Scleractinia). *Coral reefs.* 2: 159-164.
- 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. *J Phycol* 37:866-880.
- Lajeunesse T. C. 2002. Diversity and community structure of symbiotic dinoflagellates from Caribbean coral reefs. *Mar. Biol.* 141: 387-400.
- Lajeunesse T. C., W. K.W. Loh, R. vanWoesik, O. Hoegh-Guldberg, G. W. Schmidt, and W. K. Fitt. 2003. Low symbiont diversity in southern Great Barrier Reef corals, relative to those of the Caribbean. *Limnology and Oceanography* 48:2046-2054.
- Lewis J.B. 1981. Estimates of secondary production of coral reef, pp. 369-374. In: E.D. Gomez, C.E. Birkeland, R.W. Buddemeier, R.E.

- Johannes, J.A. Marsh and R.T. Tsuda (eds.) Proceedings of the fourth International Coral Reef Symposium. Vol 2. Manila Philippines.
- Lewis J. 1991. Coral reef ecosystem. In: Longhurst, A.R. (ed.), *Analysis of Marine Ecosystems*. Academic Press, London. pp. 127-158.
- Littler M.M. and D.S. Littler. 1985. Deepest known plant life discovered on an uncharted seamount. *Science* 227: 57-59.
- Loeblich, A.R., III, and J.L. Sherley, 1979. Observations on the theca of the mobile phase of free-living and symbiotic isolates of *Zooxanthella microadriaticum* (Freudenthal) Comb. nov. *J. Mar. Biol. Ass. UK* 59, 195-205.
- Longhurst A. R. and D. Pauly, 1987 *Ecology of Tropical Oceans*. ACADEMIC PRESS. San Diego. 407p
- Muir P.R. 1984. Periodicity and asexual reproduction in *Pocillopora damicornis* (Linnaeus) at Magnetic Island. Thesis, James Cook University of North Queensland. Townville, 58 pp.
- Muller-Parker G. and C.F. D'Elia. 1997. Interactions between corals and their symbiotic algae, pp. 96-113. In: C. Birkeland [ed.], *Life and Death of Coral Reefs*. Chapman & Hall, NY.
- 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.
- Oliver J. Dan R. Babcock. 1992. Aspects of the fertilization ecology of broadcast spawning corals: sperm dilution effects and in situ measurements on fertilization. *Biol. Bull.*, 183: 409-417.
- Palmer, T. M., M. L. Stanton, and T. P. Young. 2003. Competition and coexistence: exploring mechanisms that restrict and maintain diversity within mutualist guilds. *American Naturalist* 162(suppl.): 63-79.
- Pratchett, M. S. 2001. Influence of coral symbionts on feeding preferences of crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci* in the western Pacific. *Mar Ecol Prog Ser.* 214: 111-119,
- 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.
- Richmond R.H. dan P.L. Jokiel. 1984. Lunar periodicity in larva release in the reef coral *Pocillopora damicornis* at Enewetak and Hawaii. *Bull. Mar. Sci.*, 34: 280-287.
- Richmond, R.H. and C.L. Hunter 1990. Reproduction and recruitment of corals: comparison among the Caribbean, the tropical Pacific, and the Red Sea. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 60: 185-203.

- Rinkevich B. and Y. Loya. 1977. Harmful effects of chronic oil pollution on the Red Sea scleractinian coral population. Proc. 3rd Int. Coral Reef Symp., Miami, 1977. 2: 586-591.
- Rinkevich B. and Y. Loya, 1979^a. The reproduction of the Red Sea coral *Stylophora pistillata* II. Synchronization in breeding and seasonally of planulae shedding. Mar. Ecol. Prog. Ser., 1: 145-152.
- Rinkevich B. and Y. Loya. 1979^b. The reproduction of the Red Sea coral *Stylophora pistillata* I. Gonad and planulae. Mar. Ecol. Prog. Ser., 1: 133-144.
- Rinkevich B. and Y. Loya. 1989. Reproduction in regenerating colonies of the coral *Stylophora pistillata*. In: Spanier, E., Y. Steinberger, H. Luria (eds.) Environmental quality and ecosystem stability. Vol. IV. Environmental quality ISEEQS Publ. Jerusalem, p. 257-265.
- Ruitenbeek, J. and Cartier, C. 1999. Issues in Applied Coral Reef Biodiversity Valuation: Results for Montego Bay, Jamaica. World Bank Research Committee Project RPO# 682-22. Online at: <https://www.cbd.int/doc/case-studies/inc/cs-inc-wb-02-en.pdf>
- Sakai K. 1997. Gametogenesis, spawning, and planula brooding by the reef coral *Goniastrea aspera* (Scleractinia) in Okinawa, Japan. Mar. Ecol. Prog. Ser. 151: 67-72.
- Sammarco P.W., 1982. Polyp bail-out: an escape response to environmental stress and a new means of reproduction in corals. Mar. Ecol. Prog. Ser., 10: 57-65.
- Schumacher H. and H Zibrowius. 1985. What is hermatypic? A redefinition of ecological groups in corals and other organisms. Coral Reefs 4:1-9.
- Sheppard R.C. 1982. Coral population on reef slope and their major controls. Mar. Ecol. Prog. Ser. 7: 83-115.
- Shlesinger Y. and Y. Loya, 1985. Coral community and reproductive pattern. Red Sea versus the Great Barrier Reef. Science, Wash., D.C. 239: 1333-1335.
- Singleton, J. 2009. The world of miniconus, p 27. In Monteiro A. (Ed.) 2009. The cone collector. <http://www.Sea shell- collector.com/Html/theconecollector/The%20Cone%20Collector%2010.pdf>
- Smith S.D.A. 2011. Growth and population dynamics of the giant clam *Tridacna maxima* (Röding) at its southern limit of distribution in coastal, subtropical eastern Australia. *Molluscan Research* 31(1): 37-41
- 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.
- Smith L.D. and T.P. Hughes 1999. An experimental assessment of survival, re-attachment and fecundity of coral fragments. Jour. Exp. Mar. Biol. Ecol., 235: 147-164.

- Sprung, M., and B. L. Bayne. 1984. Some practical aspects of fertilizing the eggs of the mussel *Mytilus edulis* L. *J. Cons. Cons. Int. Explor. Mer.* **41**: 125-128.
- Soong K dan J.C. Lang. 1992. Reproductive integration in reef corals. *Biol. Bull.*, 183: 418-431.
- Soong K., M. Chen, C. Chen, C. Dai, T. Fan, J. Li, and H. Fan. 2003. Spatial and temporal variation of coral recruitment in Taiwan (Note). *Coral Reefs*. **22**: 224-228.
- Stanton, M. L. 2003. Interacting guilds: moving beyond the pairwise perspective on mutualisms. *American Naturalist* **162** (suppl.): 10-23.
- Stoddart J.A. 1983. Asexual production of planulae in the coral *Pocillopora damicornis*. *Mar. Biol.*, **76**: 279-284.
- Stoddart, J.A. and Black R. 1985. Cycle of gametogenesis and planulation in the coral *Pocillopra damicornis*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, **23**: 153-164.
- 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.
- Szmant, A.M. 1986. Reproductive ecology of Caribbean reef corals. *Coral Reefs* **5**: 43-53.
- Szmant A.M. 1991. Sexual reproduction by the Caribbean reef corals *Montastrea annularis* and *M. cavernosa*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* **6**: 53-59.
- Szmant-Froelich, A. 1985. The effect of colony size on the reproductive ability of the Caribbean coral *Montastrea annularis* (Ellis and Solander). *Proc. 5th Int. Coral Reef Symp.* **1**, 295-300.
- Szmant-Froelich, A., M. Ruetter, L. Riggs. 1985. Sexual reproduction of *Favia fragum* (Esper): lunar patterns of gametogenesis, embryogenesis, and planulation in Puerto Rico. *Bull. mar. Sci.* **37**: 880-892
- Stoddart, J.A. and R. Black. 1985. Cycle of gametogenesis and planulation in the coral *Pocillopra damicornis*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, **23**: 153-164.
- Szmant, A.M. 1986. Reproductive ecology of Caribbean reef corals. *Coral Reefs* **5**: 43-53.
- Thamrin 2001. Effect of coral-inhabiting barnacle (*Cantellius pallidus*) on planula production in a scleractinian coral *Alveopora japonica*. *Ophelia*. **55**: 93-100.
- Thamrin, H.D. Silalhi, Elizal, Zulkifli. 2004a. 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, M. Hafiz, dan A. Mulyadi. 2004b. Pengaruh kekeruhan

- terhadap densitas zooxanthellae pada karang scleractinia *Acropora aspera* di Perairan Mursala dan Pulau Poncan Sibolga Sumatera Utara. *Journal Ilmu Kelautan UNDIP Vol. 9(2): 82-85.*
- Thamrin. 2005. Analisa Experimen kemampuan menempel kembali pragmen karang scleractinia. *Jurnal Dinamika Pertanian. 20: 109-118.*
- Tioho, H. 2000. A study on the life history characteristics of a scleractinia coral *Pocillopora damicornis* (Linnaeus) at high-latitude (South-western Japan). DSc. Thesis Kyushu University, Fukuoka Japan. 115 p.
- Titlyanov, E.A., T.V. Titlyanova, V.A. Leletkin, R. Van Woesik, K. Yamazato (1996) Degradation and regulation of zooxanthellae density in hermatypic corals. *Mar Ecol Prog Ser 139:167-178.* doi:10.3354/meps139167
- Titlyanov, E. A., T. V. Titlyanova, Y. Loya, and 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. Zooxanthellae of the *Montastraea annularis* species complex: patterns of distribution of four taxa of *Symbiodinium* on different reefs and across depths. *Biol Bull 201:348-359.*
- Toller W.W., R. Rowan and N. Knowlton. 2001b. Repopulation of zooxanthellae in the Caribbean corals *Montastraea annularis* and *M. faveolata* following experimental and disease-associated bleaching. *Biol Bull 201:360-373.*
- Tranter P.R.G., D.N. Nicholson and D. Kinchington. 1982. A description of the spawning and post-gastrula development of the cool temperate coral *Caryophyllia smithii* (Stokes and Broderip). *J. Mar. Biol Assoc. U.K., 62: 845-854.*
- Tunncliffe V. 1983. Caribbean staghorn coral populations: Pre Hurricane Allen conditions in Discovery Bays Jamaica. *Bull, Mar. Sci., 33: 132-151.*
- Van Beukering P.J.H., W. Haider, M. Longland, H.J.S. Cesar, , J. Sablan, S. Shjegstad, B. Beardmore, Yi Liu and G.O. Garces, 2007. The economic value of Guam's coral reefs. University of Guam Marine Laboratory, Technical Report (116): 100pp.
- Van Veghel M.L.J. 1994. Reproductive characteristics of the polymorphic Caribbean reef building coral *Montastrea annularis*. I. Gametogenesis and spawning behavior. *Mar. Ecol. Prog. Ser. 109: 209-219.*
- van Veghel M.L.J. and M.E.H. Kahman. 1994. Reproductive characteristics of the polymorphic Caribbean reef building coral *Montastrea annularis*. II. Fecundity and colony structure. *Mar. Ecol. Prog. Ser. 109: 221-227.*

- van Veghel M.L.J. and R.P.M. Bak. 1994. Reproductive characteristics of the polymorphic Caribbean reef building coral *Montastrea annularis* III. Reproduction in damaged and regenerating colonies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 109: 229-233.
- Veron J.E.N. (2000) *Corals of the world* (3 volumes). Australian Institute of Marine Science, Townsville.
- Wallace C.C. 1985. Reproduction, recruitment and fragmentation in nine sympatric species of the coral genus *Acropora*. *Mar. Biol.* 88 : 217-233.
- Ward S. 1992. Evidence for broadcast spawning as well as brooding in the scleractinian coral *Pocillopora damicornis*. *Mar. Biol.*, 112: 641-646.
- Wilcox T.P. (1998) Large-subunit ribosomal RNA systematics of symbiotic dinoflagellates: morphology does not recapitulate phylogeny. *Mol Phylogenet Evol* 10:436-448
- Willis B.L. and J.K. Oliver. 1988. Inter-reef dispersal of coral larvae following the annual mass spawning on the Great Barrier Reef. *Proc. 6th Int. Coral Reef Symp.*, Townsville., 1988, 2: 853-859.
- Yamazato K., M. Oshiro and E. Oshiro. 1975. Reproductive biology of a scleractinian coral, *Goniopora queenslandiae* decima. *Proc. 13th Pacific Sci. Congr.*, 1: 135.
- Yeemin T. 1991. Ecological studies of scleractinian coral communities above the northern limit of coral reef development in Western Pacific. Ph.D. thesis, Kyushu University, Fukuoka Japan, 101 pp.
- Yonge C.M. 1963. The biology of coral reefs. *Adv. Mar. Biol.*, Vol. 1, pp. 209-260.



Tentang Penulis



Thamrin, dilahirkan di Toar, Kuantan Singingi Riau, pada tanggal 17 Agustus 1963. Memperoleh Sarjana di bidang Penangkapan Ikan pada tahun 1989 di Fakultas Perikanan (sekarang Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan) Universitas Riau (UNRI). Pada tgl 12 Agustus 1991 diangkat sebagai CPN, dan pada 1 September 1992 diangkat sebagai PNS untuk tenaga edukatif di Bidang Studi Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan UNRI. Pada akhir tahun yang sama melanjutkan Master (S2) di University of the Ryukyus Okinawa Jepang dalam bidang penyakit pada karang (*bleaching* pada karang), dan selesai pada tahun 1994. Pada akhir tahun 1997 kembali mendapatkan kesempatan melanjutkan pendidikan (S3) di Kyushu University Fukuoka Jepang dan masuk program S3 pada 1 Maret 1998 dalam bidang Bioekologi dan Reproduksi pada karang, dan selesai tiga tahun kemudian pada tahun 2001. Dari tahun 1992 sampai sekarang mengajar di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau. Ketua Pascasarja Ilmu Lingkungan Universitas Riau dijabat beliau dari tahun 2002 sampai Februari 2011, dan sekaligus menjabat Ketua Program S3 Prodi yang sama (Ilmu Lingkungan) dari awal tahun 2007 sampai Februari 2011. Untuk jabatan Guru Besar (Profesor) di bidang ekosistem terumbu karang diraih beliau setelah bertugas di UNRI selama 15 tahun 6 bulan, terhitung mulai tanggal 1 September 2006, dan dikukuhkan setahun kemudian tanggal 5 September 2007. Buku ini adalah tulisan beliau kedua, dan buku pertama ditulis beliau dengan judul "Karang, Biologi Reproduksi dan Ekologi" yang diterbitkan pada tahun 2005. Beliau aktif menulis jurnal baik di luar maupun di dalam negeri.

EKOSISTEM TERUMBU KARANG

Hubungan antara Karang dan Zooxanthellae

Terumbu karang adalah salah satu ekosistem perairan dangkal laut tropis yang sangat subur dan memiliki keanekaragaman hayati yang sangat tinggi. Namun sebagaimana ekosistem lainnya di bumi ini, terumbu karang juga mengalami kerusakan yang sangat berat, dan sedang menuju kepunahan bila tidak ada kebijakan dan tindakan yang nyata dalam melindunginya. Kerusakan terumbu karang dunia terjadi disebabkan oleh faktor alam dan faktor manusia sendiri, namun kerusakan yang disebabkan aktifitas manusia baik secara langsung maupun tidak merupakan faktor perusak yang paling dominan.

Buku Ekosistem Terumbu karang ini terdiri dari 7 bab, yang secara garis besarnya dibagi menjadi 5 pembahasan pokok yang berhubungan dengan hewan karang dan micro-algae zooxanthellae. Pertama, membahas teori tentang hewan karang, terumbu, terumbu karang serta penentu kehadiran terumbu karang pada suatu perairan. Kedua, cara berkembang biak karang sebagai hewan penentu kehadiran terumbu karang pada suatu perairan. Ketiga, pengertian dan kehidupan mikro-algae zooxanthellae sebagai simbiosis hewan karang. Keempat, faktor-faktor atau parameter lingkungan yang menyebabkan kerusakan terumbu karang. Kelima, hubungan antara hewan karang dan zooxanthellae, dan mengapa peranan zooxanthellae sangat besar dalam kehidupan karang dan bahkan untuk keberlanjutan terumbu karang sendiri.

Buku ini menyediakan tambahan ilmu cukup signifikan bagi mahasiswa, dosen dan peminat ilmu kelautan berhubungan dengan bidang terumbu karang khususnya dan ilmu kelautan umumnya. Disamping disebabkan ketersediaan bahan bacaan ilmu kelautan yang terbatas dalam bahasa Indonesia juga disebabkan perkembangan ilmu yang sangat cepat sekali.

Penerbit
Universitas Riau Press
Buku Riau Terdepan

ISBN 978-979-792-314-3



9 789797 923143 >