



Prof. Dr. Thamrin

KARANG

**BIOLOGI
REPRODUKSI
& EKOLOGI**

KARANG

BIOLOGI REPRODUKSI & EKOLOGI

Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002, tentang Hak Cipta

PASAL 2

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

PASAL 72

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

KARANG

BIOLOGI REPRODUKSI & EKOLOGI

Prof. Dr. Thamrin

Penerbit
UR Press Pekanbaru
2017

KARANG

BIOLOGI REPRODUKSI & EKOLOGI

Penulis:
Prof. Dr. Thamrin

Sampul & Tata Letak : Thamrin
Diterbitkan oleh UR Press, Desember 2017

Alamat Penerbit:
Badan Penerbit Universitas Riau
UR Press Jl. Pattimura No. 9, Gobah Pekanbaru 28132,
Riau, Indonesia
Telp. (0761) 22961, Fax. (0761) 857397
e-mail: unri_press@yahoo.co.id
Anggota IKAPI

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

Isi di luar tanggung jawab percetakan

Cetakan Pertama : Desember 2017

ISBN 978-979-792-800-1

KATA PENGANTAR

Buku ini merupakan terbitan ke-2, yang pada sebagian kecil telah mengalami perubahan. Buku-buku behubungan dengan bidang eksakta masih sulit memperoleh dalam bacaan berbahasa Indonesia, sehingga buku ini terasa perlu diperbaharui untuk memenuhi bacaan terhadap mahasiswa dan termasuk personal yang menekuni bidang ini.

Terumbu karang merupakan salah satu keajiaban dunia, merupakan salah satu ekosistem yang sangat subur dan memiliki keanekaragaman hayati yang paling tinggi diantara ekosistem yang ada di dunia. Terumbu karang merupakan sumberdaya alam yang sangat potensial, dan semakin hari terus mengalami degradasi sebagai akibat aktifitas manusia baik yang berada di daerah terumbu karang sendiri maupun yang berada di 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, masih terfokus dijadikan sebagai daerah penangkapan ikan dan sebagai sumber bahan bangunan serta untuk survenir.

Karang sebagai hewan yang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan merupakan organisme yang paling bertanggung jawab terhadap keberlanjutan suatu terumbu. 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 biologi dan reproduksi karang secara sederhana. Disamping itu juga menerangkan dalam skala terbatas tentang ekologi hewan karang, akan tetapi tidak secara menyeluruh. Hanya mengupas terbatas pada topik tertentu, seperti rekrutmen, kompetisi, organisme lain yang hidup bersimbiosis, hidup sebagai patogen ataupun sebagai parasit pada tubuh karang.

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 lapisan yang memiliki kepentingan dengan karang/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, 2 September 2017
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
Bab 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Faktor-faktor pembatas	6
1.1.1. Kedalaman	7
1.1.2. Temperatur	7
1.1.3. Salinitas	10
1.1.4. Cahaya	11
1.1.5. Arus (Pergerakan Air)	12
1.1.6. Substrat	13
1.1.7. Kecerahan Perairan	13
1.2. Terumbu Karang	16
1.2.1. Fringing Reef (terumbu karang tepi)...	16
1.2.2. Barrier Reef (terumbu karang penghalang).	17
1.2.3. Atoll (terumbu karang berbentuk cincin atau melingkar)	17
Bab 2. ANATOMI KARANG	20
2.1. Anatomi Karang Dewasa (bagian tisu karang)	21
2.2. Skeleton	30
2.3. Larva Planula	39
2.3.1. Anatomi Larva Planula	41

2.3.2. Jaringan Tubuh Larva Planula	46
Bab 3. REPRODUKSI KARANG DENGAN SEKSUAL	50
3.1. Perkembangan gamet karang	53
3.1.1. Gonochorik (gonokorik)	66
3.1.2. Hermaphrodit	66
3.2. Model/sifat Reproduksi Karang	69
3.2.1. Karang Tipe Brooding	70
3.2.2. Karang Tipe Spawning	90
3.2.3. Karang tipe brooding sekaligus dengan spawning	108
3.3. Fekunditas	108
Bab 4. REPRODUKSI KARANG DENGAN ASEKSUAL ...	116
4.1. <i>Brooding</i>	117
4.2. <i>Polyp bail-out</i>	117
4.3. <i>Polyp Expulsion</i>	120
4.4. Fragmentasi	123
4.4.1. Penyebab terbentuknya fragmen	126
4.4.2. Faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan repro-duksi karang dengan fragmen .	127
Bab 5. SIMBIOSIS KARANG DENGAN ZOOXANTHELLAE	135
5.1. Zooxanthellae	136
5.2. Hubungan karang dengan zooxanthellae	139
5.3. Rekrutmen Zooxanthellae oleh Karang	142
5.3.1. Karang Tipe Brooding	142
5.3.2. Karang Tipe Spawning	144
5.4. Fluktuasi zooxanthellae	145
5.5. Faktor-faktor yang mempengaruhi densitas Zooxanthellae	146
5.5.1. Pengaruh kenaikan dan penurunan temperatur/suhu	146
5.5.2. Pengaruh Salinitas	150
5.5.3. Pengaruh Padatan Terlarut dan Sedimentasi	151
Bab 6. TINGKAH LAKU PLANULA DALAM MENEMPEL & REKRUITMEN	157
6.1. Tingkah laku Planula	157

6.2.1. Bentuk-bentuk planula	164
6.2.2. Tingkah laku planula	164
6.2.3. Faktor-faktor yang mempengaruhi penempelan planula	167
6.2. Rekrutmen	168
Bab 7. MAKANAN, PERTUMBUHAN & EKSRESI KARANG	175
7.1. Makanan	176
7.2. Pertumbuhan koloni	177
7.3. Pertumbuhan koloni dari planula abnormal	185
7.4. Kalsifikasi	188
7.5. Akresi	192
7.6. Regenerasi pada karang	193
Bab 8. KOMPETISI, PEMANGSA & PERUSAK KARANG	195
8.1. Kompetisi	195
8.1.1. Sweeper Tentakel	200
8.1.2. Sweeper polyp	203
8.1.3. Mesenterial Filamen	204
8.1.4. Overgrowth/Overtop	207
8.2. Pemangsa	212
8.3. Grazer	215
8.4. Bencana Alam	215
8.5. Bioerosi	217
DAFTAR ISTILAH	221
DAFTAR PUSTAKA	232
DAFTAR INDEKS	248

DAFTAR GAMBAR

1.	Karang dalam sistem Filum Coelenterata; karang hermatypic pembangun terumbu berada dalam garis terputus-putus.	2
2.	Tiga bentuk koloni karang. A, <i>Montastrea valenciennesi</i> , B, <i>Platygyra sinensis</i> , C, <i>Seriatopora hystrix</i> , dan D, <i>Fungia (Verrillofungia) concinna</i> . A dan B (bentuk massive), C (bentuk bercabang), D, tipe soliter, E) bentuk tabulate, dan F) bentuk digitate. A, B, C, E dan F jenis karang tipe berkoloni (Foto oleh S. Nojima & Thamrin)	4
3.	Karang <i>Porites lutea</i> , salah satu jenis karang yang memiliki polyp berukuran kecil dengan ukuran koloni yang sangat besar (Foto oleh S. Nojima).	6
4.	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).	9
5.	Berbagai jenis karang di daerah intertidal terekspose langsung dengan udara terbuka pada saat surut terendah di Pantai Nirwana Padang (Foto oleh Thamrin)	11
6.	Karang <i>Pocillopora</i> hidup melekat dan berkembang pada substrat terapung dari alam dan substrat yang dibuat manusia (Jokiel, 1984)	14
7.	Sketsa terumbu karang. A, terumbu karang tepi (fringing reef); B, terumbu karang penghalang (barrier reef); dan C, terumbu karang bentuk melingkar (atoll)...	19

8.	Polip karang dari berbagai sudut pandang	22
9.	Potongan vertikal sebuah polip karang. (a). Gambaran polip secara sederhana bila dibesarkan. (b). Pembagian jaringan tubuh polip bagian luar, dan (c). Jaringan tubuh pulip yang bersentuhan dengan skeleton. Z = zooxanthellae; Sm = sel mucus; Ns = nematosis; dan Nb = nematoblas	24
10.	Struktur tisu dan corallite karang. (a) struktur polip dilihat melalui potongan secara horizontal di bagian oral tube, dan (b). Sepasang mesentery kompleks bila dibesarkan	26
11.	Nematosit dan nematoblas pada lapisan epidermis karang	28
12.	Nematosit pada karang <i>Galaxea fascicularis</i> . A) nematosit yang tidak dilepaskan, B) nematosit yang dilepaskan. HI = holotrichous isorhiza; 1-MbM = microbasicb-mastigophore besar; s-MbM = microbasic b-mastigophora kecil; MpM = microbasic p-mastigophore. Skala bar = 10 μ m (Hidaka dan Yamazato, 1984)	29
13.	Mikro-algae zooxanthellae yang bersimbiosis dengan karang scleractinia <i>Goniastrea aspera</i> (Foto oleh Thamrin)	30
14.	Sketsa secara sederhana skeleton organisme karang	31
15.	Sketsa susunan septa skeleton polip karang secara umum. A). Susunan lingkaran septa umumnya. B) Septa tipe pourtales plan. Nomor menunjukkan lingkaran	32
16.	Sketsa dan gambar struktur corallite. (a) corallite, (b) corallite dilengkapi costae, dan (c) gambaran corallite dilihat dari atas	34
17.	Pembagian dinding corallite karang. A) dinding epitheka, dan B) Septotheca	35
18.	Karang <i>Acropora</i> sp. masih hidup. Axial corallite berada pada polip paling ujung percabangan (axila polyp) koloni (a), dan radial corallite pada semua polip di bagian batang percabangan koloni (b)	36
19.	Diagram corallite axial dan corallite radial dan teknik pengukurannya (Wallace, 2000)	37
20.	Berbagai bentuk coralit radial yang ditemukan pada karang <i>Acropora</i> (Wallace, 2000)	38
21.	Sketsa bentuk dan arah pergerakan planula dan	

	silia yang menutupi planula	40
22.	Planula terkecil dan terbesar pada karang <i>Alveopora japonica</i> (Foto oleh Thamrin)	41
23.	Berbagai bentuk perubahan planulae karang <i>Alveopora japonica</i> . A, B, C, D dan F adalah dari planulae normal dan E adalah perubahan bentuk dari planula abnormal (bercabang dua) (Foto oleh Thamrin)	42
24.	Berbagai bentuk planulae abnormal karang <i>Alveopora japonica</i> (Foto oleh Thamrin)	44
25.	Planula karang <i>Alveopora japonica</i> berusia 115 hari (Foto oleh Thamrin)	45
26.	Pecahan tubuh planula karang <i>Alveopora japonica</i> . Planula ini mati (pecah) pada usia 5 hari. Bulatan yang berada di bagian tengah adalah oral pore planula. Jaringan berwarna coklat merupakan tumpukan zooxanthellae yang masih melekat pada jaringan tubuh planula yang baru pecah (Foto oleh Thamrin)	46
27.	Jaringan internal tubuh planula <i>Pocillopora damicornis cespitosa</i> (DANA) dilihat secara melintang. I – VI, mesenteris; g.c, dua tipe sel kelenjer; m.f, mesenterial filament; n, nematosit; dan z, zooxanthellae (Atoda, 1946)	47
28.	Planula karang <i>Alveopora japonica</i> telah matang di dalam coelenteron dan Stadium I oosit yang masih di dalam endodermis tubuh induk. Planula belum dilengkapi mesenteris yang dilihat melalui preparat (Thamrin, 2001)	48
29.	Gambar sketsa perubahan planula yang baru menempel menjelang terbentuk polip muda	49
30.	Perbandingan masing-masing tipe karang dalam bereproduksi pada enam daerah penting terumbu karang dunia (Veron, 2000)	53
31.	Testis dan oosit dalam polip karang. A). Oosit dan testis diamati langsung pada polip 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)	55
32.	Bentuk dan bagian-bagian organ sperma karang secara umum (Wallace, 2000)	56

33.	Sperma beberapa jenis karang <i>Acropora</i> , A) <i>Acropora humilis</i> ; B) <i>A. digitifera</i> ; C) <i>A. millepora</i> ; D) <i>A. aspera</i> dan E) <i>A. pulchra</i> , F) <i>A. selago</i> , G) <i>A. tenuis</i> , H) <i>A. hyacinthus</i> , I) <i>A. cytherea</i> , J) <i>A. secale</i> , K) <i>A. alseyi</i> (Wallace, 2000)	57
34.	Telur karang <i>Galaxea fascicularis</i> yang baru keluar dari dalam tubuh polipnya (Foto oleh S. Nojima)	58
35.	Kehadiran setiap stadium oosit karang <i>Alveopora japonica</i> dari bulan April 1998-Bulan Nopember 1999. Posisi garis tegak setiap stadium menyatakan waktu pengambilan sampel dan panjang garis tersebut menunjukkan proporsi setiap stadium oosit dari total sampel, dan P = planula	73
36.	Oogenesis karang bertipe <i>brooding 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 dipenuhi oleh zooxanthellae (Thamrin, 2001)	75
37.	Fluktuasi temperatur dan rata-rata peningkatang ukuran diameter oosit karang <i>A. japonica</i> yang ditemukan di Amakusa Jepang. P, Planulae dan \pm SD (Thamrin, 2001).	77
38.	Histologi spermatogenesis karang <i>Alveopora japonica</i> dari hasil pengamatan melalui preparat. A = Stadium I testis; B = Stadium II; C = Stadium III testis; D = Stadium IV testis; dan E = Stadium V testis (sperma) bersama oosit telah matang dalam polyp yang sama. M = mesentery; S = sperma; dan O = oosit (Thamrin, 2001)	80
39.	Proporsi kehadiran setiap stadium testis karang scleractinia <i>Alveopora japonica</i> di Amakusa Jepang. Posisi garis tegak setiap stadium menyatakan waktu pengambilan sampel dan panjang garis tersebut menunjukkan proporsi setiap stadium oosit dari total sampel, dan P = planula (Thamrin, 2001)	82
40.	Siklus hidup dan embriogenesis karang tipe brooding (Wallace, 2000)	84
41.	Embriogenesis karang tipe <i>brooding Favia fragum</i> . 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)	86
42. Rata-rata fluktuasi dan periode pelepasan planulae <i>Alveopora japonica</i> Eguchi 1968; Lingkaran kosong = bulan purnama; lingkaran hitam = bulan mati; bar = $\pm\text{SD}$ (Thamrin, 2001)	89
43. Bundel gamet jantan dan betina karang <i>Acropora</i> sp. (Wallace, 2000)	95
44. 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)	95
45. Spesies karang <i>Galaxea facicularis</i> sedang melepaskan telur secara satu persatu (Foto oleh S. Nojima).	96
46. Karang mushroom <i>Fungia fungites</i> sedang mengeluarkan sperma yang berwarna buram (Harrison dan Wallece 1990)	97
47. Karang <i>Acropora</i> sedang melakukan spawning (Foto oleh S. Nojima)	98
48. Telur-telur karang <i>Goniastrea favulus</i> melakat pada substrat dasar setelah dilepaskan induknya ke dalam air (Kojis dan Quinn, 1981)	99
49. Siklus hidup karang bertipe <i>spawning</i> (Wallace, 2000)..	103
50. 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 pada sisi pertemuan embrio; H), larva terbentuk dengan adanya perbedaan dan migrasi sel-sel; I), larva planula dan silia serta lubang oral (<i>oral pore</i>) terbentuk (SEM	

	dipersiapkan oleh F. Pantus dan B. Willis <i>dalam</i> Wallace, 2000)	107
51.	Pengaruh kepadatan barnakel pada koloni terhadap fekunditas karang <i>Alveopora japonica</i> . $Y = -0,034x + 1,64$; $r^2 = 0,671$ (Thamrin, 2001)	114
52.	Rata-rata fekunditas polip karang <i>Alveopora japonica</i> pada jarak berbeda dari barnakel. Bar = SE (Thamrin et al., 2001)	115
53.	<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 polyp bail-out sekitar 7-9 hari setelah bail-out (Sammarco, 1984)	119
54.	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)	121
55.	Proses terjadinya <i>polyp expulsion</i> pada karang tipe massive <i>Favia fragum</i> (Kramarsky-Winter et al., 1997... ..	122
56.	Fragmen-fragmen karang <i>Acropora fruinosa</i> 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)	125
57.	Fragmen karang <i>Acropora solytaryensis</i> di atas substrat pasir tetap hidup dan berkembang (Foto oleh Thamrin).	126
58.	Rata-rata kecepatan melekat kembali fragmen karang <i>Acropora fruinosa</i> pada substrat keramik (Bar = \pm SD).	130
59.	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, polyp pada fragmen; dan Pt, polip pada telapak fragmen yang sedang berkembang (Foto oleh Thamrin).	131
60.	<i>Gymnodinium</i> sp (Kawaguti, 1944a)	137
61.	Sel vegetatif <i>Symbiodinium microadriaticum</i> dari berumur muda sampai berumur tua. A), Sel masih muda; B, sel agak lebih tua; C, sel lebih tua, dan D, sel	

	sangat tua. CW, dingsing sel; N, nukleus (Freudental dalam Yonge, 1963)	138
62.	Siklus hidup <i>Symbiodinium microadriaticum</i> . A, sel vegetatif; B, sel vegetatif membentuk dua sel keturunan; C, vegetative cyst; D, zoosporangium matang; E, zoospora gymnodinioid; F, aplanospora; G, cyst berisi dua autospora; H, cyst berisi isogamete sedang berkembang; I, isogamet bergerak bebas (Yonge, 1963)	140
63.	Skema mekanisme pelepasan zooxanthellae dari lapisan endoderem cnidaria. Hn = nukleus sel inang, zx = zooxanthellae (Gates et al., 1992)	147
64.	Peristiwa <i>bleaching</i> pada karang <i>Acropora</i> . A, Kelompok koloni karang <i>Acropora solitalyensis</i> yang sebagian coloninya mengalami bleaching, dan B, Koloni <i>A. solitalyensis</i> yang sebagian besar polypnya mengalami <i>bleaching</i> dilihat dari dekat (Foto oleh S. Nojima)	149
65.	Perbedaan densitas zooxanthellae karang <i>Acropora aspera</i> pada dua perairan yang memiliki tingkat kekeruhan yang berbeda (Thamrin et al., 2004).	152
66.	Pengaruh kekeruhan terhadap densitas zooxanthellae pada karang <i>Acropora aspera</i> (Thamrin et al., 2004)	152
67.	Planula karang <i>Alveopora japonica</i> baru saja menempel dengan posisi aboral melekat pada substrat dan oral pada bagian atas (A), dan B) Planulae condong menempel dan membentuk polip-polip muda secara berkelompok (Foto oleh Thamrin)	159
68.	Polyp karang <i>Alveopora japonica</i> melakukan metamorfosis membentuk polip tanpa melekat pada substrat (Foto oleh Thamrin)	160
69.	Planula karang <i>Alveopora japonica</i> melakukan metamorfosis dan berkembang tanpa menempel pada substrat. A, Polip tanpa menempel sedang memendek; B. Polip tanpa menempel sedang memanjang (Foto oleh Thamrin)	161
70.	Perkembangan dari planula menjadi polip-polip muda pada karang <i>Alveopora japonica</i> . A, planula baru menempel dan polyp-polyp muda yang berkembang secara berkelompok; B) Planula yang masih bebas dan polyp-polyp muda sedang berkembang (Foto oleh Thamrin)	166

71.	Perubahan dari koloni masih muda menjadi planulae planktonik kembali (Richmond, 1985).	168
72.	Pertumbuhan polip baru karang. A) Bentuk pertumbuhan polip baru dengan intratentacular budding, dan B) Bentuk pertumbuhan polip baru dengan extratentacular budding	180
73.	Pertumbuhan polyp baru dilihat dari skeleton karang. A) Intratentacular budding, B) Extratentacular budding, dan C) Extratentacular budding pada koloni karang muda yang masih hidup	181
74.	Bentuk pertumbuhan corallite karang (Mapstone, 1990).	182
75.	Bentuk pertumbuhan koloni karang (Mapstone, 1990).....	183
76.	Perkembangan bentuk polip karang yang berasal dari dua planulae abnormal yang menempel secara berdampingan. A) dua hari setelah menempel; B, 1 minggu setelah menempel dan C), 3 minggu setelah menempel (Thamrin, 2001)	187
77.	Bentuk pertumbuhan polip utama dan polip-polip baru setelah planula abnormal menempel dan berkembang membentuk koloni muda (Foto oleh Thamrin)	189
78.	Regenerasi fragmen karang bercabang <i>Acropora</i> sp. yang digantung dengan posisi horizontal dan dengan posisi vertikal (Kawaguti, 1937)	191
79.	A). Kelompok planula baru saja menempel yang condong menempel secara berkelompok. B). Polyp muda mengalami peleburan (<i>fusion</i>) 4 minggu setelah menempel (Foto oleh Thamrin)	197
80.	Kompetisi interspecific pada polip muda karang <i>Alveopora japonica</i> (Foto oleh Thamrin).	199
81.	Sweeper tentacle karang <i>Galaxea fascicularis</i> (Foto oleh S. Nojima)	201
82.	Nematosit pada ujung tentakel karang <i>Galaxea fascicularis</i> , A) dijumpai saat tentakel normal; B) pada saat tentakel berukuran sedang; dan C) pada ujung sweeper tentacle (Hidaka dan Yamazato, 1983)	202
83.	Perpanjangan sweeper polip (tanda panah) koloni karang <i>Goniopora stokesi</i> (sebelah kiri) dengan bagian yang luka koloni <i>Merulina ampliata</i> (sebelah kanan) pada kedalaman 10 m di Atoll Peros Banthos di Kepulauan Chagos (Sheppard dalam Lang dan Khornesky, 1990)	203
84.	Beberapa jenis karang yang hidup berdampingan yang	

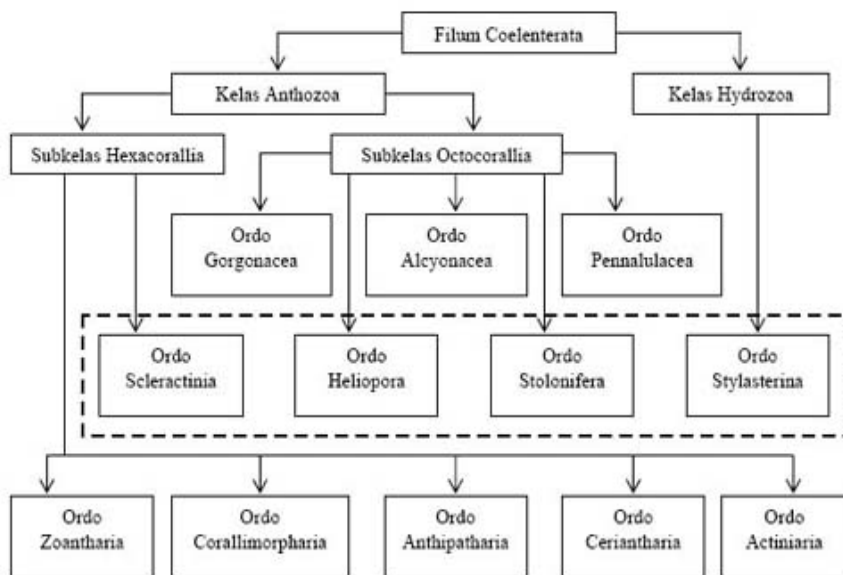
saling menyerang menggunakan mesenterial filamen. Tanda panah menunjukkan mesenterial filamen sedang keluar dan menyerang karang berdampingan (Foto oleh S. Nojima)	205
85. Beberapa contoh nematosit pada karang. A) Holotrich besar pada mesenterial filamen <i>Isophyllia sinuosa</i> ; B) Spirocyst dijumpai pada mesenterial filamen karang <i>Fungia fungites</i> . C) B-mastigophore pada tentakel <i>Galaxea fascicularis</i> ; D) Tipe III P-mastigophore dari tentakel <i>Galaxea fascicularis</i> ; E) Tipe I (I) dan tipe II (II) P-mastigophore pada mesenterial filament <i>Montastrea annularis</i> (Thomson dan Brown, 1986)	206
86. Karang branching <i>A. cervicornis</i> melindungi koloni massive <i>Montastrea annularis</i> pada kedalaman 10 m pada perairan Teluk Discovery Jamaica (Foto oleh P. Dustan dalam Lang dan Chornesky, 1990)	207
87. Koloni tubular <i>Acropora cytherea</i> (tengah bawah) dan <i>A. hyacinthus</i> (tengah kanan) menutupi pada kedalaman 15 m di Kepulauan Jiniani atoll Enewetak (A), B) Koloni foliaceous <i>Leptoseris</i> (<i>Helioseris</i>) <i>cuculata</i> (kanan) menutupi sebagian koloni <i>Agaricia lamarsky</i> pada kedalaman sekitar 18 m di sebelah barat Rio Bueno Jamaica (Foto oleh J.C. Lang dalam Lang dan Chornesky, 1990)	208
88. Mahkota berduri <i>Achantaster plancii</i> (Nishihira, 1992)..	213
89. Kelompok bulu babi <i>Diadema antillarum</i> (Foto oleh S. Nojima)	216

Bab 1

PENDAHULUAN

Terumbu karang (*coral reef*) merupakan salah satu ekosistem yang sangat subur, dan paling subur dari semua ekosistem yang dijumpai di dunia. Disamping itu terumbu karang juga sangat mengagumkan, karena tumbuh dan berkembang dengan baik pada kondisi lingkungan perairan yang gersang dari nutrien. Kesuburan terumbu karang ini mencapai dua kali lipat dari pada perairan yang berada disekitarnya yang tidak memiliki terumbu karang. Ekosistem ini dibangun oleh berbagai organisme penghasil zat kapur, baik dari kelompok tumbuhan maupun dari kelompok hewan. Terumbu karang diperkirakan karya makhluk hidup yang paling spektakuler yang ada di bumi, dengan bentuk berupa bangunan dasar laut yang paling besar dan mengagumkan. Keadaan ini bisa terlihat seperti Great Barrier Reef (GBR) yang bisa mencapai total panjang sekitar dua ribuan kilometer, dengan ketebalan berkisar antara 124 meter sampai 155 meter yang membentang hampir disepanjang pantai timur Benua Australia. Namun yang paling mengagumkan lagi mengingat karya yang sangat spektakuler ini dikendalikan dan dibangun oleh hewan berbentuk sangat sederhana, berbentuk hanya seperti tabung yang masih tergolong hewan tingkat rendah dari kelompok avertebrata yang dikenal dengan nama karang.

Sebagian besar orang awam dan bahkan termasuk yang sudah berpendidikan tinggi dipastikan masih ada yang salah pengertian dengan organisme karang. Masih banyak yang beranggapan bahwa karang sebagai tumbuhan dan malahan ada yang mengelompokkan ke dalam kelompok benda mati sumpama batu. Hewan yang sebagian besar hidup melekat di dasar perairan laut yang memiliki beragam bentuk dan beraneka ragam warna ini termasuk ke dalam Filum Coelenterata (hewan berongga) atau Cnidaria. Hewan kelompok ini adalah meliputi karang (*coral*) mencakup karang dari Ordo scleractinia dan Sub-kelas Octocorallia (kelas Anthozoa) maupun kelas Hydrozoa. Pembagian karang dan kelompok lainnya sebagai terlihat pada Gambar 1.



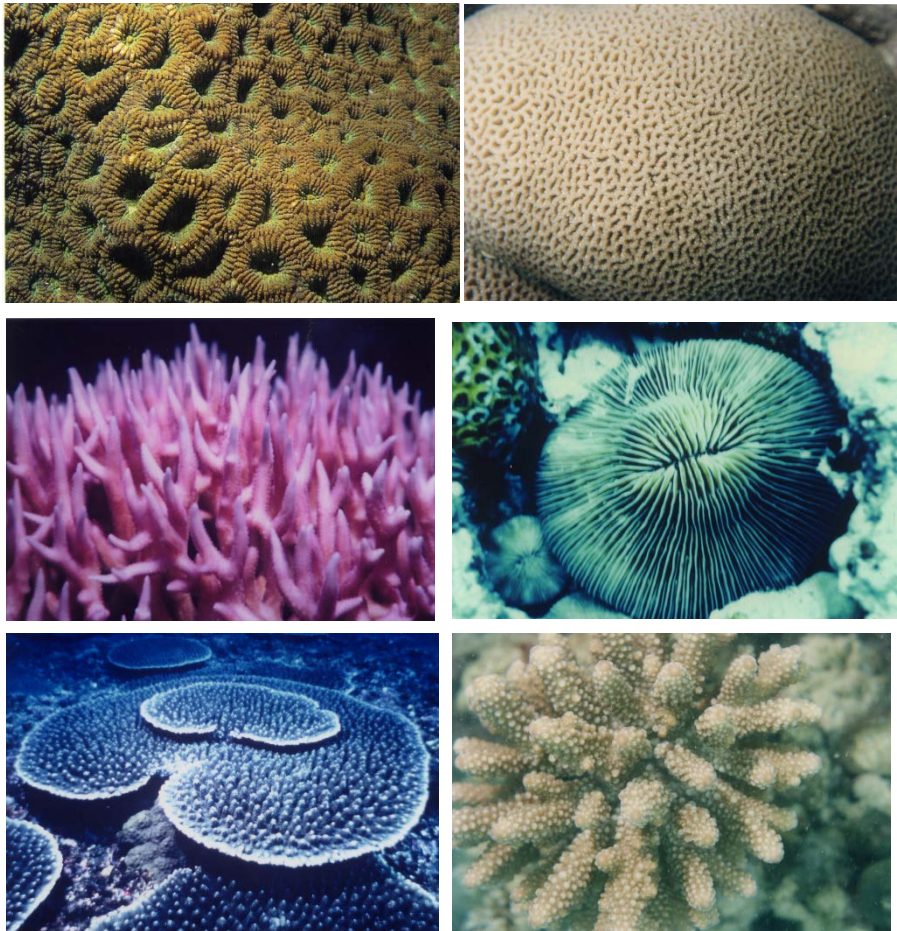
Gambar 1. Karang dalam sistem Filum Coelenterata; karang hermatypic pembangun terumbu berada dalam garis terputus-putus

Karang yang di dalam bahasa Inggrisnya dikenal dengan nama "*coral*" berasal dari kata "*korallion*". Kata *korallion* ini berasal dari bahasa Yunani yang mengacu pada karang merah yang berada di Laut Mediterania, yang sekarang dikenal dengan nama *Corallium rubrum* (Williams, 1993). Sementara di dalam tulisan ini pengertian

karang lebih mengacu pada organisme yang membentuk skeleton dari kelompok coelenterata, baik dari Ordo scleractinia dan Sub-kelas Octocorallia (kelas Anthozoa) maupun kelas Hydrozoa sebagai mana diterangkan di atas. ok

Karang termasuk kelompok hewan avertebrata sederhana, berbentuk hanya seperti tabung yang dilengkapi tentakel yang tersusun dalam bentuk melingkar disekitar mulut untuk menangkap makanan. Pengelompokan hewan karang dapat digolongkan ke dalam dua kelompok, yaitu kelompok hermatypic dan kelompok ahermatypic. Pemisahan kelompok ini lebih condong pada kemampuan dalam membentuk terumbu, dimana kelompok hermatypic merupakan kelompok karang yang mampu membentuk terumbu, dan sebaliknya ahermatypic adalah kelompok yang tidak mampu membentuk terumbu. Kelompok hermatypic ini bersimbiosis dengan micro-algae zooxanthellae dalam hidupnya, yang menyebabkan hewan ini hanya ditemukan terbatas pada perairan yang dangkal sampai kedalaman sekitar 70 m, dimana cahaya masih bisa ditolelir oleh zooxanthellae yang hidup dalam tubuh karang untuk melakukan fotosintesis. Sementara kelompok ahermatypic tidak tergantung terhadap cahaya dan ditemukan pada perairan dangkal sampai perairan dalam.

Berdasarkan cara hidupnya karang scleractinia dapat dibagi ke dalam dua kelompok, yaitu kelompok hidup berkoloni dan yang hidup dalam bentuk soliter. Individu karang dalam bentuk berkoloni disebut polyp (polip), dan karang dalam bentuk soliter adalah kelompok karang yang hanya terdiri dari satu polip atau berpolip tunggal (Gambar 2). Kelompok karang berkoloni secara garis besarnya dapat dibagi ke dalam empat bentuk, yaitu bentuk massive, bentuk bercabang (*branching*), foliaceous dan bentuk *encrusting*. Bila diulas lebih rinci bentuk karang secara keseluruhan dapat dikelompokkan menjadi 9 bentuk, yaitu bentuk bercabang (*branching*), sub-branching, encrusting, massive, sub-massive, digitate, tabulate, foliaceous, dan masroom coral (karang fungia) yang selalu digunakan oleh peneliti formula untuk melihat kondisi terumbu karang pada suatu perairan (English et al., 1995). Sebagian besar karang hidup dalam bentuk berkoloni dan hanya sebagian kecil yang hidup dalam bentuk soliter. Disamping itu juga dikenal dengan bentuk *bottle brush*.



Gambar 2. Tiga bentuk koloni karang. A, *Montastrea valenciennesi*., B, *Platygyra sinensis*, C, *Seriatopora hystrix*, dan D, *Fungia (Verrillofungia) concinna*. A dan B (bentuk massive), C (bentuk bercabang), D, tipe soliter, E) bentuk tabulate, dan F) bentuk digitate. A, B, C, E dan F jenis karang tipe berkoloni (Foto oleh S. Nojima & Thamrin).

Karang kelompok berkoloni terdiri dari beberapa individu sampai ribuan individu. Individu karang tersebut dikenal dengan nama panggilan polyp (polip). Polip setiap jenis karang memiliki ukuran maksimal, dan maksimal ukurannya beragam, mulai dari yang sangat kecil berdiameter 1 mm hingga yang sangat besar dengan diameter lebih dari 25 cm. Tergantung tipe dan spesies karang bersangkutan. Koloni karang bercabang memiliki polip berukuran kecil, akan tetapi pada jenis kelompok massive memiliki ukuran yang beragam. Namun pada umumnya polip karang berukuran kecil. Polip dengan ukuran besar dijumpai pada karang yang bertipe soliter, seperti dari kelompok *Fungia*. Ukuran polip setiap jenis karang tidak mempengaruhi ukuran koloni, karena tidak jarang jenis karang yang memiliki ukuran diameter maksimal polip sangat kecil akan tetapi memiliki ukuran koloni yang sangat besar. Seperti dijumpai pada karang bertipe massive *Porites lutea* dan *P. lobata* (Gambar 3). Ukuran koloni yang sangat besar ini dicapai dengan membentuk polip dalam jumlah sangat banyak dalam suatu koloni.

Sementara dari sembilan kelompok karang di atas, kelompok digitate dan tabulate hanya ditemukan dari kelompok *Acropora*. Kemudian bentuk foliose, massive dan karang mushroom hanya ditemukan dari kelompok non-*Acropora*. Sementara bentuk lainnya ditemukan dari kedua kelompok besar karang *Acropora* dan non-*Acropora*. *Acropora* umumnya merupakan salah satu kelompok karang yang sangat dominan pada di suatu perairan. Sehingga pengelompokan karang juga dibagi menjadi dua kelompok, yaitu kelompok *Acropora* dan kelompok non-*Acropora*.

Karang scleractinia sebagaimana disebutkan di atas dapat dibagi ke dalam dua kelompok, yaitu: 1) kelompok karang *hermatypic* (hermatipik) merupakan karang pembentuk terumbu (*reef*), dan 2) kelompok karang *ahermatypic* merupakan karang laut dalam. Karang hermatypic bersimbiosis secara mutualisme dengan micro-algae uniceluler dari kelompok dinoflagellata yang biasa disebut zooxanthellae. Ketergantungan yang besar karang kelompok hermatypic dengan zooxanthellae terutama dalam memenuhi kebutuhan hidupnya menyebabkan karang kelompok ini memiliki distribusi secara vertikal yang sangat terbatas. Pada umumnya tumbuh dengan subur pada kedalaman antara 3 m sampai 10 m, akan tetapi bisa ditemukan dari daerah intertidal sampai kedalaman 70 m,

atau tergantung kecerahan perairannya. Sementara dari kelompok ahermatypic yang tidak berhubungan dengan zooxanthellae ditemukan sampai perairan dalam.



Gambar 3. Karang *Porites lutea*, salah satu jenis karang yang memiliki polip berukuran kecil dengan ukuran koloni yang sangat besar (Foto oleh S. Nojima).

1.1. Faktor-faktor pembatas

Sebagaimana organisme yang termasuk kelompok yang bersifat sessil di dasar perairan, karang hermatypic rentan dengan terjadinya perubahan lingkungan. Karena tidak memiliki kemampuan untuk menghindari dari perubahan kondisi lingkungan yang membahayakan sebagaimana kelompok hewan yang bisa bergerak bebas. Beberapa faktor pembatas utama dalam menentukan kehadiran dan kelangsungan hidup karang pada suatu perairan meliputi faktor kedalaman, fluktuasi temperatur, salinitas, cahaya, arus, substrat yang cocok dan kecerahan perairan.

1.1.2. Kedalaman

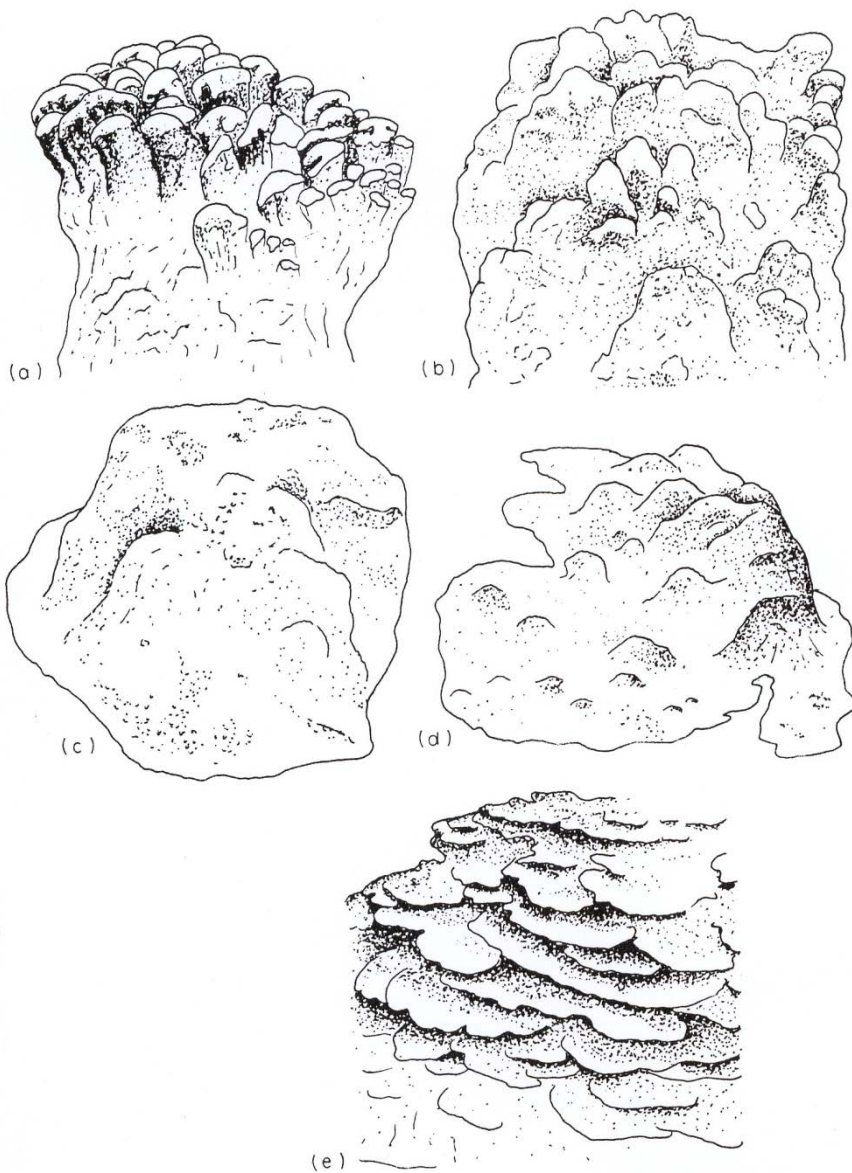
Karang hermatipik ditemukan dari daerah permukaan atau dari daerah intertidal sampai kedalaman 70 m, akan tetapi pada umumnya ditemukan sampai kedalaman 50 m. Sebagian besar hidup dengan subur sampai kedalaman 20 m, dan lebih rinci lagi keanekaragaman spesies dan pertumbuhan terbaik ditemukan pada kedalaman antara 3 sampai 10 m. Faktor kedalaman ini berpengaruh terhadap kehidupan berbagai jenis hewan karang berhubungan dengan intensitas cahaya yang masuk ke dalam perairan. Cahaya yang menembur ke dalam kolom perairan sangat dibutuhkan simbiosis karang zooxanthellae sebagai penyuplai utama kebutuhan karang sebagai inang. Hewan karang hanya akan ditemukan sampai kedalaman dimana cahaya masih ditolerir zooxanthellae yang hidup di dalam jaringan tubuh karang. Disamping itu perbedaan kedalaman juga dapat mempengaruhi bentuk koloni suatu karang, seperti karang *Montastrea annularis* dari bentuk bercabang berubah menjadi bentuk massive dan kemudian berubah menjadi bentuk foliaceous (Gambar 3). Sebaliknya karang ahermatypic yang tidak mampu membentuk terumbu dan ditemukan hampir pada semua kedalaman perairan, mulai dari daerah intertidal sampai kedalaman 500 meter.

1.1.2. Temperatur

Karang hermatipik sebagai pembentuk utama terumbu karang dikenal sebagai organisme dan ekosistem yang berhubungan dengan perairan yang hangat, yang hanya ditemukan di daerah tropis sampai pada beberapa daerah sub-tropis. Dalam arti kata, tidak pada semua daerah sub-tropis bisa ditemukan karang hermatypik. Pertumbuhan karang hermatypic tumbuh dan berkembang dengan subur antara suhu 25°C sampai 29°C. Kenyataan di alam karang hermatipik sendiri tidak memiliki fluktuasi temperatur yang sempit. Secara umum diketahui suhu terendah untuk organisme ini sebagian besar hidup di atas suhu 18°C pada musim dingin dan suhu tertinggi sekitar 32°C pada musim panas. Akan tetapi tetap saja kelompok hewan ini tidak bisa berhadapan dengan kenaikan atau penurunan suhu secara mendadak dengan rentang kenaikan suhu tersebut, melainkan dengan kenaikan atau penurunan suhu secara bertahap sebagai mana ditemukan di alam.

Batasan temperatur minimum untuk terumbu karang sudah jelas, yaitu tidak lebih kecil dari 18°C. Akan tetapi tidak demikian halnya dengan hewan karang sendiri. Organisme karang yang berada di daerah sub-tropis yang telah dipelajari secara rinci malahan ditemukan pada perairan dengan suhu terendah mencapai 11°C. Kondisi ini ditemukan di perairan sub-tropis Jepang, dimana sekitar 25 % dari seluruh organisme karang hidup pada daerah perairan dengan suhu waktu musim dingin turun sampai 11°C, dan sekitar 50 % dari spesies karang hidup pada temperatur perairan laut dengan penurunan suhu secara berkelanjutan pada musim dingin sampai 14°C. Sementara karang ahermatypic memiliki pertumbuhan maksimum antara suhu 4,5°C sampai 10°C, akan tetapi bisa ditemukan sampai suhu -1,1°C. ok

Rentang ketahanan organisme karang hermatypic terhadap fluktuasi temperatur pada dasarnya tergantung pada fluktuasi tahunan temperatur perairan dimana karang tersebut ditemukan. Begitu juga dengan titik terendah dan titik tertinggi temperatur yang mematikan bagi karang juga tergantung titik tertinggi dan titik terendah yang selalu dialami organisme ini alami sepanjang waktu dimana berada. Bagi organisme karang yang berada di daerah sub-tropis dimana perairan memiliki fluktuasi tahunan sangat tinggi juga memiliki kemampuan yang besar terhadap fluktuasi temperatur, sesuai dengan fluktuasi yang dimiliki perairan tersebut. Dengan ketentuan sepanjang kenaikan dan penurunan suhu tersebut tidak terjadi secara mendadak. Seperti karang di perairan Enewetak yang selalu memiliki temperatur lebih tinggi antara 2°C sampai 5°C dibandingkan dengan temperatur perairan Hawaii.



Gambar 4. 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)

Organisme karang di Perairan Enewetak juga memiliki kemampuan beradaptasi yang lebih tinggi terhadap temperatur dibandingkan dengan spesies yang sama yang dijumpai di Perairan Hawaii. Sehingga organisme karang yang berada di Perairan Enewetak memiliki suhu mematikan lebih tinggi dibandingkan dengan di Hawaii, yaitu 34°C untuk karang di Enewetak dan untuk karang di Perairan Hawaii memiliki temperatur mematikan pada suhu 32°C.

Sementara di perairan Indonesia juga ditemukan beberapa spesies yang telah beradaptasi dengan temperatur tinggi. Seperti ditemukan di Pantai Nirwana Padang, dimana pada perairan dangkal hanya ditemukan beberapa spesies, yaitu *Porites* dan *Goniastrea*. Kedua spesies ini memang telah mengalami bleaching pada musim panas, akan tetapi setelah suhu kembali normal, maka spesies ini juga kembali hidup secara normal. Pada musim panas

1.1.3. Salinitas

Salinitas merupakan salah satu faktor pembatas yang sangat penting bagi kehadiran hewan karang pada suatu perairan. Organisme ini hidup secara optimum pada salinitas 35 ‰, atau sama dengan salinitas rata-rata lautan (Samudra). Kisaran salinitas pada umumnya karang masih ditemukan antara 27 ‰ sampai 40 ‰, dan pertumbuhan terbaik karang berkisar antara 34 ‰ sampai 36 ‰. Beberapa jenis karang yang tahan terhadap salinitas yang tinggi adalah dari jenis *Acropora* dan *Porites*. Seperti karang *Acropora* di Lautan Hindia mampu bertahan hidup sampai salinitas 40 ‰ dalam beberapa jam. Sedangkan karang yang paling tahan terhadap peningkatan salinitas adalah dari kelompok *Porites*, yang mampu bertahan hidup sampai pada salinitas 48 ‰. Sementara salinitas yang mematikan seluruh jenis hewan karang terjadi di atas 48 ‰.

Salinitas terendah yang bisa ditolerir karang sekitar 27 ‰. Akan tetapi pada dasarnya juga tergantung lingkungan dimana organisme karang berada, karena adakalanya pada saat-saat tertentu berbagai jenis karang juga masih ditemukan pada salinitas sampai mendekati 0 ‰. Terutama bagi berbagai jenis karang yang berada di daerah intertidal pada saat surut terendah. Pada saat air laut surut terendah, berbagai jenis karang yang berada di daerah intertidal sebagian besar adakalanya bersentuhan langsung dengan air tawar baik yang berasal dari hujan maupun dari aliran air yang berasal dari daratan. Walaupun sebagian besar jenis karang di daerah intertidal pada bagian atas koloni mengalami kerusakan namun tetap bertahan hidup dan tetap berkembang secara melebar. Karena tidak jarang organisme karang di daerah intertidal berhadapan langsung dengan udara terbuka pada saat air laut mengalami surut terendah (Gambar 5). Sehingga

bila pada saat bersamaan dengan surut terendah tersebut terjadi hujan lebat, menyebabkan tidak jarang hewan-hewan karang yang berada di daerah intertidal berhadapan langsung dengan air tawar.



Gambar 5. Berbagai jenis karang di daerah intertidal terekspos langsung dengan udara terbuka pada saat surut terendah di Pantai Nirwana Padang (Foto oleh Thamrin).

1.1.4. Cahaya

Cahaya merupakan salah satu faktor yang sangat penting bagi karang hermatipik. Cahaya dibutuhkan karang dalam bentuk hubungan tidak langsung. Pada prinsipnya cahaya dibutuhkan oleh simbiosis karang micro-algae zooxanthellae yang hidup di dalam jaringan tubuh karang hermatipik yang merupakan penyuplai utama kebutuhan hidup karang (Lihat Bab 7). Berbeda dengan karang ahermatypic (ahermatipik) yang tidak bersimbiosis dengan zooxanthellae dan tidak membutuhkan cahaya sehingga bisa hidup pada setiap kedalaman.

Dalam siklus hidupnya, cahaya tidak selamanya dibutuhkan oleh hewan karang hermatipik. Pada saat larvae (larva = tunggal) baru dikeluarkan tertarik dengan cahaya dan bersifat fototaksis positif. Akan tetapi sebagian besar larva planulae pada saat menempel justru pada tempat-tempat yang agak terlindung. Dari hasil eksperimen di laboratorium dan di lapangan menunjukkan bahwa larvae karang sebagian besar lebih banyak menempel pada bagian bawah substrat atau dibagian pinggir substrat yang memiliki cahaya yang sangat terbatas dibandingkan bagian permukaan atas substrat yang menerima lebih banyak cahaya. Tingkah laku

pemilihan posisi tempat menempel ini umum terjadi pada larvae karang, termasuk larvae karang *Alveopora japonica*, *Favia fragum* dan larvae karang *Pocillopora damicornis* dan lain-lain. Sehingga menyebabkan polip masih muda tidak jarang mati menjelang dewasa karena tidak mendapatkan cahaya yang cukup. Bagi karang yang memiliki polip yang bisa memanjangkan polip-polipnya, seperti kelompok *Alveopora* dan *Goniopora* biasanya lebih dapat menyesuaikan diri, dan memiliki kelulusan hidup lebih tinggi karena polip-polipnya yang panjang akan menjulur ke luar mencari celah dimana sumber cahaya tersedia pada siang hari. Sebaliknya keadaan ini tidak jarang berakibat fatal bagi jenis karang lain yang pada umumnya tidak dapat memanjangkan polip.

Beberapa spesies ditemukan telah beradaptasi dengan perairan dangkal yang keruh seperti *Aulastrea*. Pada perairan ini gelombang yang menjadi penyebab arus yang mengempas pantai, sehingga perairannya menjadi kerung. Tetapi di lain kesempatan perairan ini menjadi jernih, terutama pada saat surut menjelang pasang atau pada saat pasang menjelang surut kembali.

1.1.5. Arus (Pergerakan Air)

Sirkulasi air sangat penting dalam suatu perairan bagi organisme yang berada di dalamnya, baik untuk perairan darat maupun perairan laut. Peranan utama pergerakan air bagi organisme perairan adalah berhubungan dengan penyediaan oksigen dan makanan. Bagi karang hermatypic, penyuplai nutrisi terbesar berasal dari simbiotnya zooxanthellae, namun arus diperlukan karang dalam memperoleh makanan dalam bentuk zooplankton dan oksigen serta dalam membantu membersihkan permukaan karang dari sedimen. Karang sendiri memiliki kemampuan dalam membersihkan permukaan tubuhnya (koloninya) dari sedimen dengan memproduksi mucus (mukus), tetapi dalam jumlah yang sangat terbatas. Sehingga jenis karang yang ditemukan dalam perairan yang memiliki tingkat sedimentasi yang tinggi hanya terbatas pada jenis karang tertentu.

Arus juga berperan besar dalam proses fertilisasi dan distribusi hewan karang, terutama dalam masa spawning, embriogenesis di luar tubuh dan pada saat larvae. Pengaruh arus diperkirakan juga berperan dalam menyuplai larvae untuk perairan Hawaii dari organisme karang yang berasal dari bagian barat perairan Laut Pasifik, mengingat larvae karang tertentu mampu bertahan hidup sampai ratusan hari. Seperti larvae karang *Pocillopora damicornis* dapat bertahan hidup dan masih mampu menempel setelah 103 dalam bentuk larvae (Richmond, 1987). Peranan arus dalam mendistribusikan karang terjadi baik dalam reproduksi secara seksual

maupun dalam reproduksi secara aseksual. Salah satu reproduksi secara aseksual yang termasuk banyak dibahas adalah reproduksi dengan fragmentasi. Reproduksi karang dengan fragmentasi (patahan karang) berperan besar terutama untuk mendistribusikan karang dalam skala lokal. Sementara reproduksi secara seksual yaitu dengan secara spawning maupun secara brooding. Sedangkan melalui reproduksi secara aseksual yang lain seperti dengan brooding (lihat Stoddart, 1983), polip bail-out dan *polyp expulsion* dapat berperan untuk mendistribusikan karang secara lokal maupun tidak.

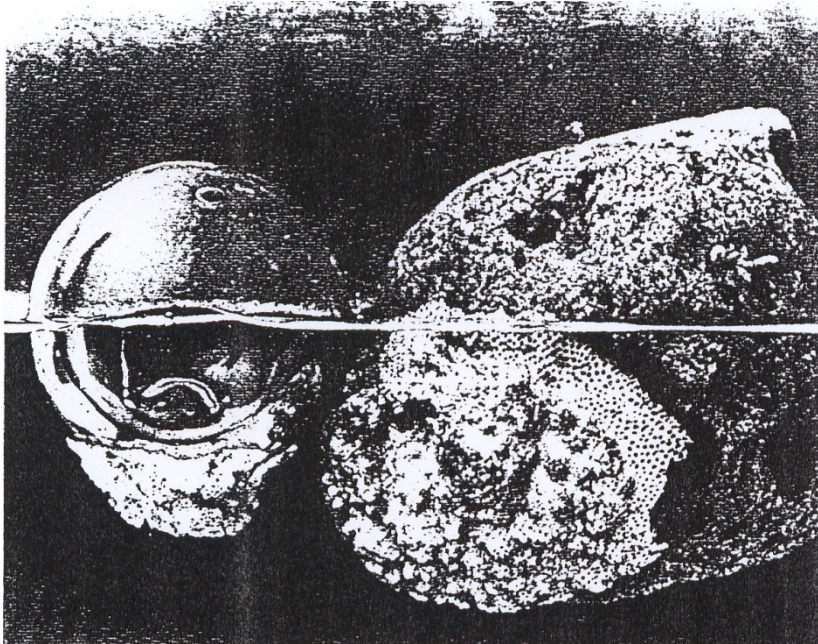
1.1.6. Substrat

Larvae karang mampu menempel pada berbagai tipe substrat keras, seperti berbagai jenis batu-batuan, skeleton karang yang telah mati, kerangka atau cangkang berbagai jenis hewan dasar laut baik yang bebas bergerak maupun yang hidup menetap. Tidak terkecuali untuk benda-benda keras yang mengapung di permukaan air bisa menjadi objek untuk tempat penempelan larva planulae karang baik substrat alami maupun substrat buatan (Gambar 6). Sebaliknya substrat pasir halus atau substrat halus yang bergerak serta dasar perairan berlumpur tidak menjadi substrat target bagi planulae karang dalam penempelan. Substrat adalah termasuk faktor pembatas sangat penting bagi karang, dan hal ini berhubungan dengan keberhasilan hewan karang pada saat larvae untuk menetapkan jenis substrat pilihan untuk menempel. Karena dalam fase hidup karang hanya bebas bergerak dalam jumlah waktu terbatas terutama pada saat larva planulae. Fase berikutnya memerlukan substrat untuk tempat menempel dan melekat secara permanen untuk selama hidupnya. Kecuali pada beberapa jenis karang dari kelompok Fungia yang setelah dewasa kembali melepaskan diri dari substrat tempat menempel dari saat larva planulae menjelang dewasa.

1.1.7. Kecerahan Perairan

Kecerahan perairan sebenarnya berhubungan dengan padatan tersuspensi dan intensitas cahaya yang masuk sampai ke dalam perairan. Intensitas cahaya yang masuk ke dalam perairan akan semakin besar dan semakin dalam bila perairan memiliki tingkat kecerahan yang tinggi. Kedua faktor ini, faktor padatan tersuspensi dan intensitas cahaya akan mempengaruhi kemampuan cahaya yang masuk ke dalam perairan. Bila padatan tersuspensi padat menyebabkan tingkat kekeruhan juga tinggi, yang mengakibatkan cahaya yang masuk ke dalam perairan juga semakin terbatas. Kecerahan dan cahaya merupakan dua faktor yang tidak dapat dipisahkan dari karang. Kedua faktor ini menjadi faktor pembatas melalui

hubungan secara tidak langsung dengan hewan karang sebagai inang bagi zooxanthellae. Karena hampir 100 % kebutuhan hidup sebagian besar hewan karang berasal dari simbiotnya zooxanthellae yang hidup di dalam jaringan tubuh karang, yaitu sekitar antara 95 % sampai 99 %. Zooxanthellae sebagai micro-algae (kelompok tumbuhan) dari kelompok dinoflagellata merupakan organisme yang memiliki klorofil di dalam tubuhnya, yang memerlukan intensitas cahaya matahari yang cukup dalam memproses makanan.



Gambar 6. Karang *Pocillopora* hidup melekat dan berkembang pada substrat terapung dari alam dan substrat buatan manusia (Jokiel, 1984).

Peranan penting kecerahan perairan berhubungan dengan intensitas cahaya yang masuk ke dalam perairan, yang sangat dibutuhkan zooxanthellae yang hidup di dalam jaringan tubuh hewan karang. Dalam arti kata bahwa cahaya matahari pada dasarnya bukan sebagai faktor pembatas kehadiran atau distribusi hewan karang, akan tetapi cahaya matahari tersebut berhubungan dengan simbiot karang zooxanthellae yang hidup di dalam tubuh hewan karang. Zooxanthellae sebagai kelompok

mikroalgae membutuhkan cahaya matahari untuk melakukan fotosintesis. Jadi hubungan antara hewan karang dengan cahaya matahari adalah merupakan hubungan tidak langsung. Berhubung mencapai 98% kebutuhan hewan karang (makanan) ditopang oleh zooxanthellae yang hidup di dalam jaringan tubuh endodermis hewan karang tersebut.

Kecerahan perairan menjadi salah satu faktor pembatas untuk mendukung cahaya matahari bisa lebih banyak masuk ke dalam perairan karena karang hermatypic memiliki ketergantungan yang sangat tinggi dalam memperoleh makanan atau nutrisi dari zooxanthellae. Sementara dalam mempertahankan kelangsungan hidup zooxanthellae sangat memerlukan cahaya matahari untuk melakukan proses fotosintesis sebagaimana disebutkan di atas.

Sebaliknya padatan tersuspensi (kekeruhan) berhubungan dengan kecerahan perairan. Padatan tersuspensi mempengaruhi sepanjang siklus hidup hewan karang. Pada karang tipe brooding, kekeruhan mempengaruhi karang mulai dari saat larva dilahirkan/dilepaskan karang induk ke dalam kolom air, mulai saat keberhasilan larva planulae menempel, mortalitas larva planulae, kecepatan dan bentuk pertumbuhan, fekunditas sampai kelangsungan hidup karang. Pada kelompok karang yang melakukan spawning, kekeruhan perairan berpengaruh pada siklus karang mulai dari fekunditas, keberhasilan sperma dalam membuahi telur sampai kelangsungan hidup karang sendiri.

Tingkat kekeruhan yang normal bagi terumbu karang berkisar antara 0 mg/liter sampai 10 mg/liter (Rogers, 1990; Larcombe et al., 1995). Lebih besar tingkat kekeruhan dari 10 mg/liter berpengaruh negatif umumnya pada hewan karang. Kecepatan fertilisasi berbanding terbalik dengan peningkatan kekeruhan, seperti pada karang *Acropora digitifera* menyebabkan kecepatan fertilisasi pada kontrol dengan padatan tersuspensi 0 % berkisar antara 80 sampai 90 % pada 3 jam pertama eksperimen dibandingkan dengan tingkat kekeruhan yang rendah dengan padatan tersuspensi mencapai 50 mg/liter, dan tingkat kekeruhan yang tinggi dengan padatan tersuspensi 100 mg/liter hanya mengalami fertilisasi antara 30 sampai 40 % (Gilmour, 1999).

Kekeruhan perairan pada organisme karang juga sangat berpengaruh terhadap mortalitas planulae. Mortalitas larva planulae meningkat dan mencapai lebih dari 80 % pada tingkat kekeruhan antara 50 mg/liter dan 100 mg/liter dalam waktu 12 jam. Bila planulae berhadapan dengan tingkat kekeruhan antara 50 mg/liter dan 100 mg/liter lebih dari 12 jam akan meningkatkan mortalitas sampai 98 %. Sementara pada perairan yang terhindar dari padatan tersuspensi memiliki tingkat kelulusan hidup yang hampir konstan selama 24 jam (Rogers, 1990; Larcombe et al., 1995).

Keseluruhan parameter ini tidak bisa berdiri sendiri-sendiri, melainkan harus secara utuh. Kehadiran karang tidak hanya bisa didukung salah satu faktor atau dua faktor yang telah diuraikan, akan tetapi secara umum harus didukung semua faktor-faktor tersebut. Organisme karang membutuhkan cahaya matahari yang cukup untuk hidup, sehingga organisme ini berhubungan erat dengan perairan dangkal yang jernih dan hangat. Namun karang tidak akan pernah ditemukan pada perairan dangkal sekalipun bila tidak didukung faktor lainnya. Ketersediaan substrat yang berlimpah yang sangat penting untuk tempat penempelan larva planulae belum cukup mendukung kedua faktor lingkungan di atas bila tidak didukung faktor salinitas dan temperatur yang cocok untuk kehidupan karang. Mungkin saja semua kriteria tersebut tidak dijumpai pada daerah dimana karang masih ditemukan, seperti temperatur terendah dijumpai di bawah ketentuan normal yang dibutuhkan hewan ini. Akan tetapi memiliki jumlah spesies yang sangat terbatas dan juga tidak memiliki kemampuan untuk membentuk terumbu. Keadaan ini menyebabkan tidak pada semua perairan yang memiliki organisme karang otomatis akan berhasil membentuk tertumbu karang.

1.2. Terumbu Karang

Pada dasarnya terumbu karang dibagi menjadi 3 menurut bentuknya, walaupun beberapa saintis ada yang membagi bentuk terumbu karang 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:

1.2.1. *Fringing Reef* (terumbu karang tepi).

Fringing reef adalah terumbu karang yang tumbuh di tepi suatu pulau atau di tepi sepanjang pantai yang luas menghadap langsung ke laut (Gambar 7A). *Fringing reef* adalah tipe terumbu karang yang banyak dijumpai di daerah perairan Asia Tenggara dimana sebagian besar pulau-pulau yang memiliki perairan yang jernih dan dangkal dilindungi oleh terumbu karang penghalang dari gempuran ombak. Perusakan terumbu karang berdampak pada eksistensi banyak pulau-pulau yang berada di tengah lautan besar yang dilindungi terumbu karang dari pengaruh badai dan ombak. Jadi secara langsung maupun tidak terumbu karang tipe ini termasuk salah satu terumbu karang yang juga berperan besar dalam menopang perekonomian suatu daerah atau negara.

1.2.2. *Barrier Reef* (terumbu karang penghalang).

Terumbu karang tipe barrier atau penghalang tumbuh dan berkembang jauh dari pantai, dan antara terumbu karang dan pantai terdekat dibatasi oleh sebuah *lagoon* (Gambar 7B). Terumbu karang penghalang paling terkenal ditemukan di sebelah timur Benua Australia yang dikenal dengan nama *Great Barrier Reef* (GBR). GBR pada dasarnya merupakan rentetan banyak terumbu karang dan memiliki ukuran total panjang mencapai sekitar 2.000 km. Terumbu karang ini merupakan salah satu ekosistem terumbu karang yang terbaik di dunia pada saat ini. Terumbu karang GBR didukung oleh beragam organisme, baik yang berasal dari kelompok hewan maupun yang berasal dari kelompok tumbuhan, baik yang berada di dalam kolom air maupun yang berada di dasar perairan. Seperti organisme dari kelompok ikan saja, keseluruhan GBR diperkirakan memiliki lebih dari 2000 spesies (Mather dan Bennett, 1993).

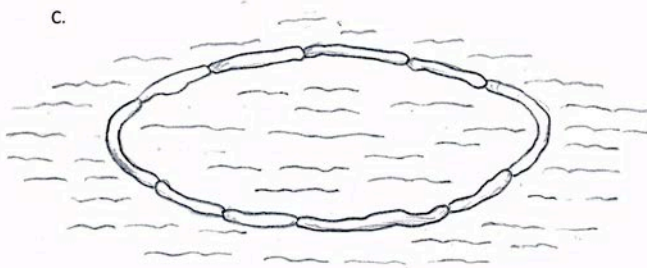
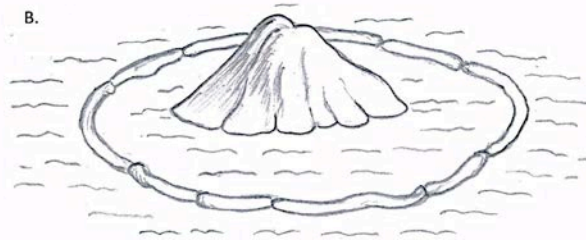
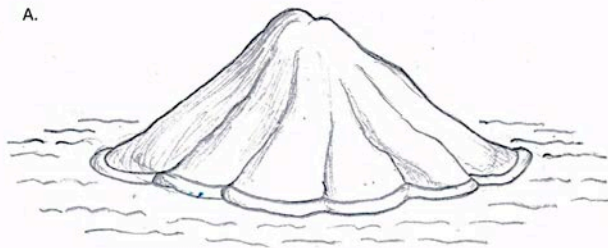
1.2.3. *Atoll* (terumbu karang berbentuk cincin atau melingkar).

Atoll berasal dari kata "atolu", yang berasal dari bahasa daerah di Kepulauan Maladewa. Terumbu karang *Atoll* adalah terumbu karang berbentuk cincin atau terumbu karang berbentuk melingkar. Terumbu karang berbentuk *atoll* berasal dari rentetan peristiwa terbentuknya ketiga tipe terumbu karang tersebut, yaitu bermula dari terumbu karang tipe *fringing reef* (terumbu karang tepi), kemudian berubah menjadi *barrier reef* (terumbu karang penghalang) dan terakhir baru terbentuk *atoll* (Gambar 7C). Dengan rincian, pada suatu pulau vulkano, awalnya terumbu karang tumbuh dan berkembang disekeliling pantai pulau tersebut membentuk terumbu karang tepi. Kemudian dengan terjadinya pengosongan magma, pulau vulkano tersebut berangsur-angsur tenggelam. Secara singkat, sejalan dengan pertambahan waktu dimana pulau vulkano secara perlahan-lahan tenggelam sementara terumbu karang tetap berkembang dan tumbuh pada tempat yang sama menuju permukaan air. Keadaan ini memisahkan terumbu karang yang terus berkembang dengan tepi pantai Pulau Fulkano yang semakin tenggelam, dan perairan yang berada diantara pantai dan terumbu tersebut semakin melebar. Kondisi melingkar diantara pantai dan terumbu karang telah membentuk sebuah lagoon, dan pada saat tersebut terumbu karang yang semula sebagai terumbu karang tepi telah berubah menjadi terumbu karang penghalang. Setelah sepenuhnya pulau vulkano tenggelam, maka terbentuk terumbu karang berbentuk *atoll*. Teori terbentuknya terumbu karang *atoll* ini dikenal dengan "*subsidence theory*" yang dikemukakan Darwin pada tahun 1842, yang sampai saat ini masih diakui kebenarannya.

Sebagai tambahan tipe terumbu karang selain tiga tipe terumbu karang yang umum yang telah diuraikan yang juga selalu ditemukan adalah *patch reefs* dan *table reefs*. *Fatch reefs* adalah 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.

Terumbu karang adalah salah satu ekosistem yang sangat menawan dan sangat subur, dan merupakan salah satu sumberdaya alam yang sangat potensial dalam mendukung perekonomian suatu negara. Ekosistem laut tropis ini memiliki keanekaragaman hayati yang sangat berlimpah, dan hanya bisa diimbangi keanekaragaman hutan basah daerah tropis yang berada di daratan. Keindahannya bagaikan surga di alam nyata (Barnes dan Hughes, 1995), dan merupakan anugerah Allah SWT pada manusia di bumi, khususnya bagi negara-negara di daerah tropis yang memiliki terumbu karang. Lebih jauh lagi keindahan dan kelebihan yang dimiliki terumbu karang ternyata juga menimbulkan ketakjupan, karena ekosistem yang sangat menawan ini dikendalikan hanya oleh individu-individu polip karang, organisme setingkat avertebrata kelompok hewan tingkat rendah yang memiliki bentuk sangat sederhana, hanya seperti tabung yang berukuran umumnya dalam hitungan milimeter. Begitu besarnya peranan hewan karang dalam ekosistem laut dangkal daerah tropis ini, sehingga gangguan yang terjadi pada organisme karang akan berakibat fatal pada seluruh jaringan ekosistem terumbu karang.

Buku ini akan memfokuskan pembahasan hanya pada karang hermatipik atau karang scleractinia (karang batu) sebagai organisme utama yang mengendalikan kehadiran terumbu karang pada suatu perairan. Disamping itu bertujuan untuk memberikan gambaran secara sederhana dari segala sudut tentang biologi, reproduksi, planulasi/spawning, tingkah laku planula dan rekrutmen, zooxanthellae sebagai simbiosis karang, makanan dan pertumbuhan karang, serta sedikit menggambarkan tentang ekologi karang. Karena hewan karang sebagai hewan yang berperanan kunci terhadap keberadaan terumbu karang, yang pada akhir-akhir ini semakin terdesak dengan kebutuhan dan tingkah laku manusia yang salah.



Gambar 7. Sketsa terumbu karang. A, terumbu karang tepi (*fringing reef*); B, terumbu karang penghalang (*barrier reef*); dan C, terumbu karang bentuk melingkar (*atoll*)(Sketsa oleh Nurul).

Bab 2

ANATOMI KARANG

Sebagian besar hewan karang hidup dalam bentuk berkoloni, dan sebaliknya sebagian kecil hidup dalam bentuk soliter. Individu karang sendiri disebut dengan *polyp* (polip), jadi karang bentuk soliter dikatakan juga karang berpolip tunggal, seperti yang dijumpai pada karang kelompok *Fungia*. Karang kelompok *Fungia* memiliki beberapa keistimewaan. Disamping hanya terdiri dari satu buah polip juga setelah berukuran besar atau dewasa beberapa jenis melepaskan diri dari substrat tempat menempel. Sehingga kelompok ini mampu bergerak dan berpindah-pindah di dasar perairan (Gambar 8). Mekanisasi pergerakan dilakukan dengan memanjangkan tubuhnya, kemudian mendorong tubuhnya ke arah depan. Pergerakannya juga bisa terjadi dengan bantuan arus. Pada awal kehidupannya yakni pada saat awal perkembangan dari larvae (planulae) mulai menempel yang diikuti pembentukan polip dan koloni muda menjelang dewasa hidup melekat pada substrat, kemudian setelah besar terlepas dari substrat dasar tempat karang ini melekat. Pengecualian terjadi pada dua kelompok genus *Lithophyllon* dan *Podabacia* yang melekat pada substrat selama hidupnya (Gambar 9). Gambar 8 dan 9 dicarikan fotonya.

Setiap jenis karang memiliki ukuran polip yang berbeda, tergantung tipe, lingkungan berbeda dan jenisnya. Ukuran polip karang tipe berkoloni memiliki diameter jauh lebih kecil dari pada yang bertipe soliter, pada umumnya memiliki ukuran diameter berkisar antara 1-3 cm. Sementara yang berukuran paling besar ditemukan pada jenis *Fungia* (*mushroom coral*) yang tergolong ke dalam karang bertipe soliter (berpolip tunggal),

dengan ukuran diameter mencapai 25 cm. Ukuran polip jenis karang yang sama pada lingkungan perairan berbeda juga tidak sama. Seperti polip karang *Pocillopora damicornis* yang berada di Galapagos memiliki ukuran diameter lebih besar secara signifikan dibandingkan dengan spesies yang sama yang ditemukan di Panama (Glynn et al., 1991). Rata-rata diameter polip karang *P. damicornis* yang berada di Galapagos memiliki diameter 0,72 mm. Sedangkan *P. damicornis* yang berada di Panama memiliki diameter polip rata-rata 0,62 mm.

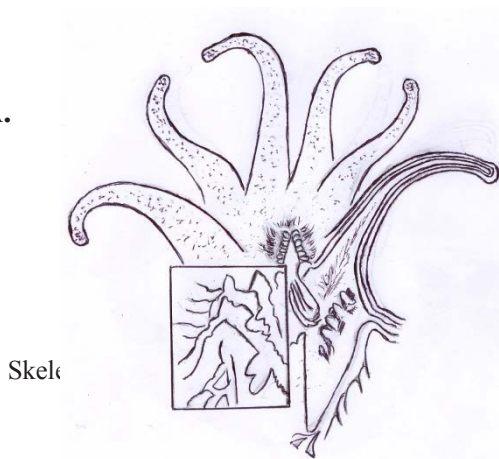
Koloni karang juga memiliki ukuran yang beragam. Beberapa diantaranya yang dari kelompok massive hanya memiliki ukuran diameter maksimal sekitar 5 cm, seperti pada karang *Favia fragum*. Tetapi juga ditemukan memiliki ukuran terbesar mencapai ukuran tinggi beberapa meter. Seperti karang *Montastrea annularis* mencapai ukuran tinggi antara 3-4 m, sedangkan koloni *Porites* memiliki tinggi sampai 9 m.

2.1. Anatomi Karang Dewasa (bagian tisu karang)

Individu karang mengacu pada polyp (polip) dan bentuknya sangat sederhana, yakni seperti tabung. Memiliki beragam warna, yang berasal dari zooxanthellae dan pigmen dari masing-masing jenis karang. Bila dilihat lebih rinci pembagian tubuh polip adalah sebagai berikut:

- A. **Mulut.** Mulut karang terletak di tengah-tengah oral-disc di bagian atas setiap polip, yang dikelilingi oleh tentakel (Gambar 8). Mulut polip karang yang paling tua dalam suatu koloni adakalanya berjumlah lebih dari satu, namun polip yang kedua dan seterusnya dalam suatu koloni akan tetap berjumlah satu seperti yang terjadi pada koloni karang normal. Polip yang memiliki mulut lebih dari satu ini berasal dari planulae karang abnormal, yang memiliki oral lebih dari satu atau berasal dari kelompok planulae bercabang (lihat BAB 6).
- B. **Oral-disc dan peristome.** *Oral-disc* merupakan bagian yang mendatar disekitar mulut. Sementara peristome adalah bagian tepi *oral-disc* pada sisi mulut karang.
- C. **Coenosact.** *Coenosact* hanya dijumpai pada karang yang hidup dalam bentuk koloni, yang merupakan jaringan tisu yang menghubungkan polip dengan polip lain dan memproduksi skeleton yang berada di bawa jaringannya. Pada karang tipe soliter tidak ditemukan coenosarc. Bagian polip yang berada di luar dinding karang tipe soliter disebut *edge zone*. Karang tipe soliter setelah mencapai ukuran polip yang maksimal hanya bagian tubuh *edge zone* yang tumbuh dan berkembang.

A.



- Acrosphere
- Tentakel
- Oral disc

Skel

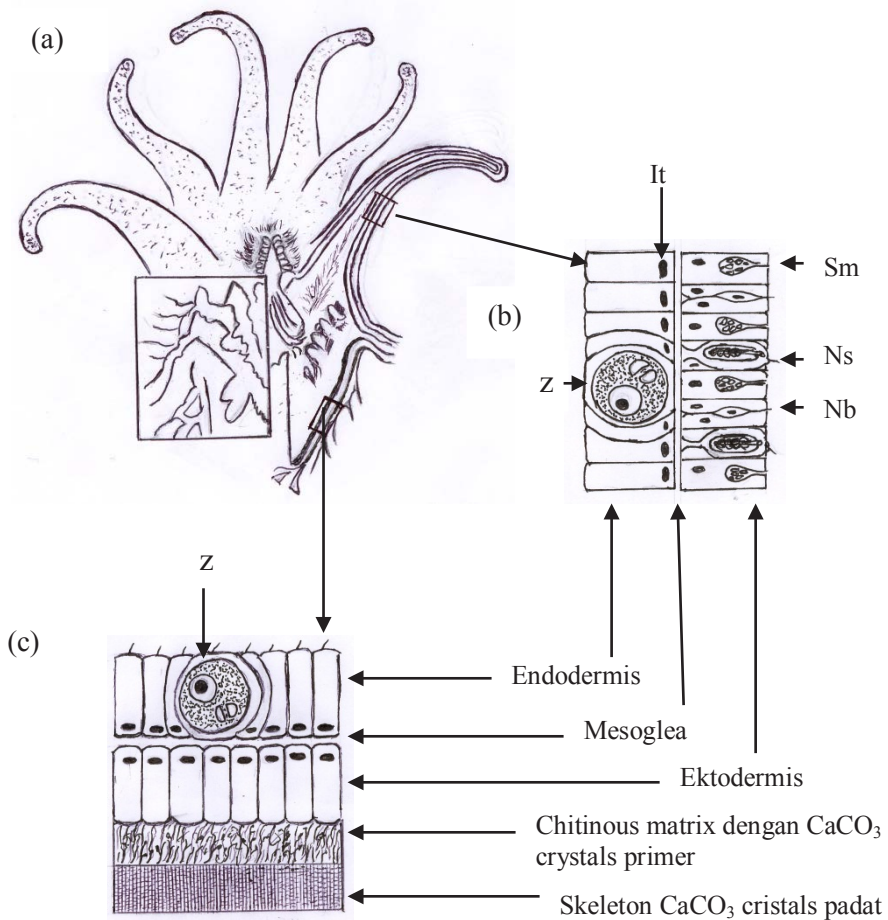
B.



Gambar 8. Polip karang dari berbagai sudut pandang.

- D. Stomadaeum atau oral tube yang juga disebut kerongkongan atau *pharynx*, merupakan saluran pendek yang menghubungkan mulut dengan rongga perut (rongga tubuh) atau koelenteron. Pharynx ini pada karang umumnya berukuran pendek, akan tetapi pada kelompok *Goniopora* dan *Aveopora* berukuran lebih panjang, dan memungkinkan tentakel bisa lebih jauh dari skeleton untuk menangkap mangsa atau makanan.
- E. *Coelenteron* (koelenteron). Koelenteron merupakan rongga tubuh sebagai kelanjutan dari kerongkongan. Coelenteron berfungsi sebagai alat pencernaan, dan sirkulasi zat cair dan udara untuk respirasi dan nutrisi. Di dalam rongga tubuh dijumpai *mesentery filamen* yang berfungsi sebagai usus pada hewan karang. *Mesenterial filamen* atau usus pada karang berbeda fungsi dengan organisme lainnya. *Mesenterial filamen* pada karang juga berfungsi sebagai alat dalam berkompetisi disamping dipergunakan untuk mencerna makanan (lihat BAB 7).
- F. Tentakel. Tentakel tumbuh memanjang dari bagian oral disc sebagai perpanjangan dari mesentery di bagian dalam tubuh polip. Berjumlah satu atau dua lingkaran yang mengelilingi mulut pada bagian oral disc. Sebagai kelompok dari Hexacoralia, jumlah tentakel biasanya 12 atau kelipatan 6 yang berfungsi untuk menangkap mangsa dari perairan serta sebagai alat pertahanan diri (lihat BAB 7). Sebagian besar jenis karang memiliki tentakel yang bisa berkontraksi atau dapat menarik dan menjulurkan tentakelnya. Akan tetapi pada sebagian kecil jenis karang juga ditemukan tidak bisa berkontraksi seperti yang ditemukan pada karang *Stephanophyllia*, *Fungia cyathus* dan *Euphyllia*. Sebagian kecil jenis karang, tentakel hanya berukuran sangat kecil dan bahkan belum sempurna. Tentakel tersebut aktif dijulurkan pada malam hari, saat karang mencari mangsa, sementara di siang hari tentakel ditarik masuk ke dalam rongga rangka. Sebagai pengecualian ditemukan pada karang *Alveopora japonica* yang aktif pada siang hari (Nishihira dan Veron, 1995; Thamrin et al., 2001).
- Tentakel karang dilengkapi dengan sel penyengat atau nematosit. Nemosit ditemukan pada semua lapisan epidermis tentakel, tetapi jumlah *nematosit* terpadat umumnya dijumpai pada ujung tentakel, yang disebut juga dengan acrosphere (Gambar 9).
- G. Lapisan calicoblast. Merupakan lapisan yang terdapat di bawah *edge zone* atau di bawah coenosarc, dan di bawahnya ditemukan skeleton yang disebut costae (costa dalam bentuk tunggal). Costae ini

merupakan perpanjangan septa yang tumbuh melewati dinding corallite (korali).



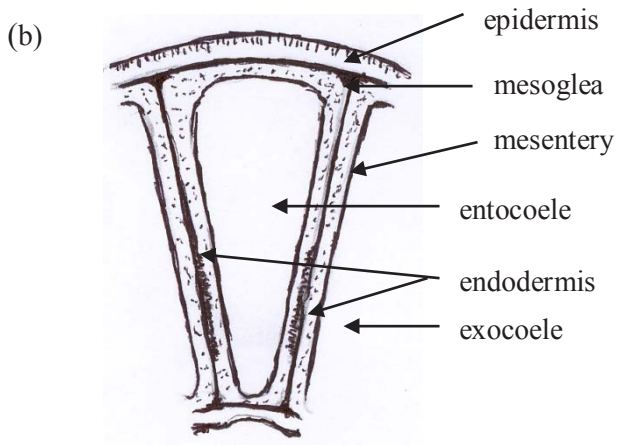
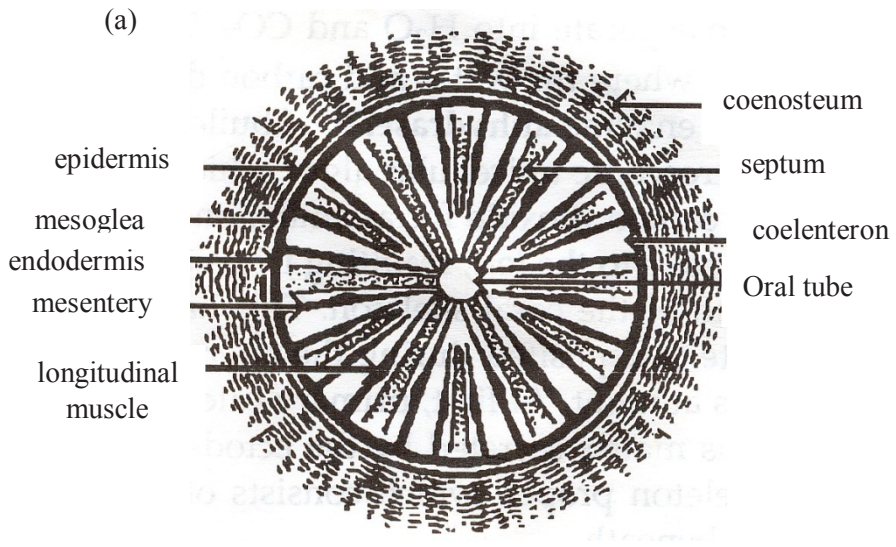
Gambar 9. Potongan vertikal sebuah polip karang. (a). Gambaran polip secara sederhana bila dibesarkan. (b). Pembagian jaringan tubuh polip bagian luar, dan (c). Jaringan tubuh pulip yang bersentuhan dengan skeleton. Z = zooxanthellae; Sm = sel mucus; Ns = nematosis; dan Nb = nematoblasts.

- H. *Mesentery* (mesenteri). Mesenteri merupakan lempengan jaringan tisu karang yang berdiri tegak yang bersentuhan dengan *oral disc* bagian dalam dan dinding *column* (*column wall*). Pada bagian atas mungkin bersentuhan atau tidak bersentuhan dengan stomadeum, dan pada sisi bagian bawah umumnya tergantung. Mesentery merupakan organ yang sangat vital dalam suatu polip pada kelompok anthozoa, yang dilengkapi dengan filamen sebagai organ pencernaan, absorpsi, ekskresi dan tempat berkembangnya gamet. Mesentery berbeda dengan bagian tubuh karang lainnya karena hanya terdiri dari dua lapisan, yaitu jaringan endodermis dan mesoglea (Gambar 11). Mesentery tersusun secara radial di dalam polip yang pada bagian atas bersentuhan dengan *oral disc* dan dengan sisi dinding polip menuju ke *basal plate*.

Pertumbuhan mesentery terbentuk secara melebar ke arah sisi dalam polip dapat dibagi menjadi dua tipe, yaitu *complete mesentery* dan *incomplete mesentery*. *Complete mesentery* adalah mesentery yang tumbuh melebar dari dinding polip sampai bersentuhan dengan stomodaeum, dan sebaliknya *incomplete mesentery* adalah mesentery yang tumbuh melebar dari sisi dinding polip bagian dalam tetapi tidak sampai bersentuhan dengan stomodaeum. Sedikit di bawah stomodaeum bagian dalam mesentery ditemukan filamen-filamen seperti per (*coil*) tumbuh memanjang di dalam coelenteron yang disebut mesenterial filamen.

Setiap lapisan mesoglea seperti terlihat dalam potongan melintang pada sebuah mesentery adalah sebuah lapisan yang memanjang sebagai penggerak serabut otot. Perkembangan ketiga lapisan ini tidak sama dan di dalam lapisan mesoglea yang berada diantara lapisan endodermis dan epidermis ditemukan lapisan seperti jelly. Posisi lapisan mesoglea hampir konstan pada setiap lapisan mesentery.

Sebagian besar mesentery pada suatu polip tersusun secara melingkar dan terpusat pada stomodaeum, serta tersusun secara berpasangan, dimana setiap pasangan berhadapan dengan yang lainnya. Daerah diantara dua mesentery yang berpasangan disebut dengan entocoele, sedangkan daerah diantara dua pasangan mesentery disebut exocoele (Gambar 10).



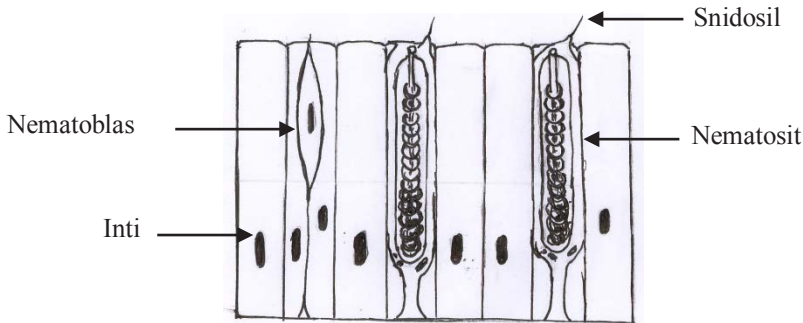
Gambar 10. Struktur tissu dan corallite karang. (a) struktur polip dilihat melalui potongan secara horizontal di bagian oral tube, dan (b). Sepasang mesentery kompleks bila dibesarkan.

Seluruh jaringan tubuh karang yang meliputi tentakel, column wall, oral disc, basal disc dapat dibagi menjadi tiga lapisan, yaitu lapisan epidermis, lapisan mesoglea dan lapisan endodermis. Pengecualian pada bagian mesentery, organ ini hanya memiliki dua lapisan, yaitu lapisan endodermis dan lapisan mesoglea. Mesentery tidak memiliki lapisan epidermis. Akan tetapi memiliki dua lapisan endodermis yang dibatasi oleh lapisan mesoglea yang berada diantara kedua lapisan tersebut. Pada bagian luar lapisan epidermis yang bersentuhan dengan air dilengkapi silia dan berisi nuclei, granular, dan mucus vacuoles dan kapsul nematosit. Disamping nematosit juga ditemukan nematoblas di dalam lapisan epidermis. Nematoblas akan tumbuh dan berkembang kemudian berubah menjadi nematosit (Gambar 12).

Mesoglea merupakan lapisan pembatas antara lapisan epidermis dan endodermis pada seluruh jaringan hidup tisu karang, dan merupakan lapisan seperti jeli yang hampir homogen dan noncelluler. Pengecualian pada organ mesentery karang dimana lapisan mesoglea berfungsi sebagai lapisan pembatas antara dua lapisan endodermis sebagaimana disebutkan di atas.

Hewan karang dilengkapi dengan sel penyengat yang disebut nematosit yang merupakan ciri-ciri kelompok hewan Cnidaria (Gambar 11). Nematosit pada setiap lapisan epidermis karang tidak memiliki kepadatan yang merata. Nematosit paling padat ditemukan pada lapisan epidermis di ujung tentakel yang disebut dengan istilah acrosphere (Gambar 10). Sel penyengat ini terdapat pada lapisan epidermis, baik pada epidermis karang dewasa maupun pada epidermis larva planula. Disamping itu ditemukan pada lapisan endodermis, terutama pada lapisan endodermis mesentery. Sel penyengat bila sedang tidak digunakan akan berada dalam kondisi tidak aktif, dan alat sengat berada di dalam sel. Bila ada zooplankton atau hewan lain yang akan ditangkap, maka alat penyengat dan racun akan dikeluarkan. Disamping nematosit juga terdapat sel nematoblas yang pada suatu waktu dapat berubah menjadi nematosit baru (Gambar 12). Disamping itu pada lapisan epidermis juga dijumpai dua jenis sel kelenjer, yang satu berukuran besar dengan jumlah lebih banyak dan beberapa berukuran lebih kecil yang tidak terpengaruh oleh pewarnaan memakai hematoxilin di dalamnya bila diamati secara histologi menggunakan preparat. Sel kelenjer lain yang berlimpah diantara yang berukuran besar diisi dengan granules yang memiliki warna, dan warna sel ini bisa dibedakan dengan jelas bila memakai pewarnaan hematoxylin. Jumlah nematosit sangat sedikit dan berukuran jauh lebih besar dari sel kelenjer. Pada bagian luar lapisan epidermis dilengkapi dengan silia.

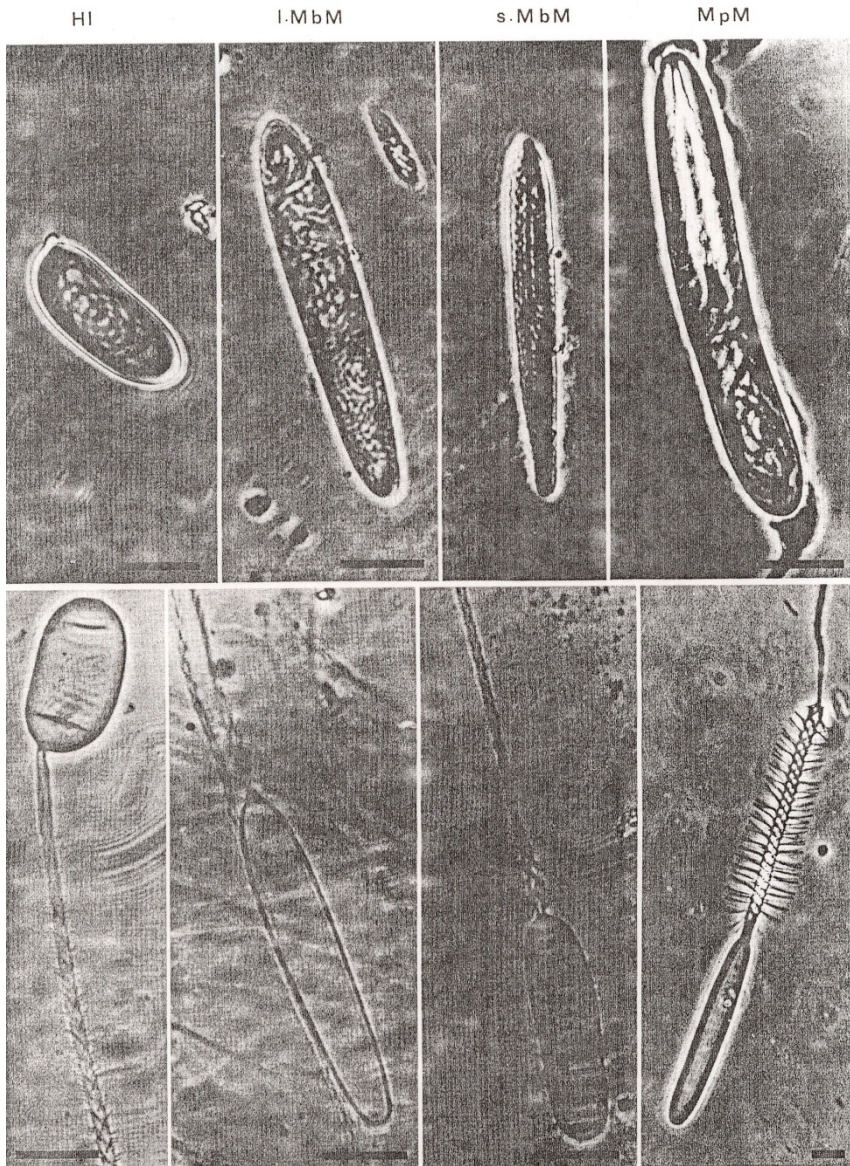
Sebaliknya lapisan epidermis tubuh karang yang berhubungan atau bersentuhan dengan skeleton juga menghasilkan material untuk membentuk rangka luar karang (lihat BAB 8).



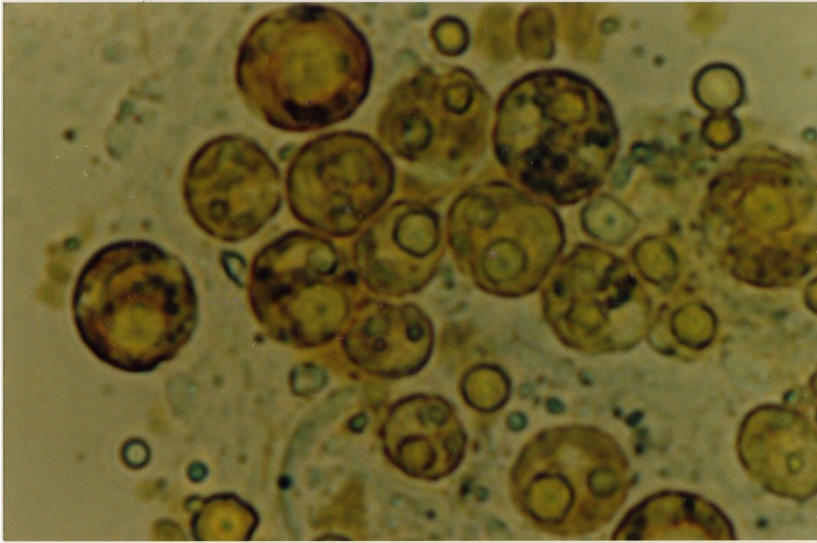
Gambar 11. Nematosit dan nematoblas pada lapisan epidermis karang.

Lapisan epidermis secara histologi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu: 1) bagian polip yang terbuka meliputi oral disc, tentakel, daerah bagian luar yang dikenal sebagai *edge zone* sebagai bagian yang melebar melewati dinding corallite dan coenosarc bagi karang tipe berkoloni. 2) Lapisan calicoblast (calicoblast layer) merupakan bagian lapisan epidermis yang berhadapan langsung dengan skeleton. Dalam siklus hidup hewan karang lapisan calicoblast hanya dijumpai pada karang yang telah melekat atau telah tumbuh dan berkembang baik masih tahap polip muda maupun yang sudah dewasa. Lapisan calicoblast tidak dijumpai pada karang saat larva planulae yang masih bersifat planktonik.

Di dalam jaringan endodermis sebagian besar karang ditempati oleh micro-algae zooxanthellae, yaitu alga uniseluler dari kelompok Dinoflagelata, dengan warna coklat atau coklat kekuning-kuningan (Gambar 13). Disamping itu juga ditemukan kelenjer, elemen-elemen otot dan vacuola yang berisi butiran-butiran vacuola (granular vacuola). Zooxanthellae memiliki peranan sangat besar dalam kehidupan karang, dan antara karang sebagai inang dan zooxanthellae sebagai simbiosis mutualisme, yaitu memiliki hubungan yang saling menguntungkan untuk kedua belah pihak. Hubungan antara karang sebagai inang (*host*) dan zooxanthellae sebagai simbiosis dibahas pada BAB 5.



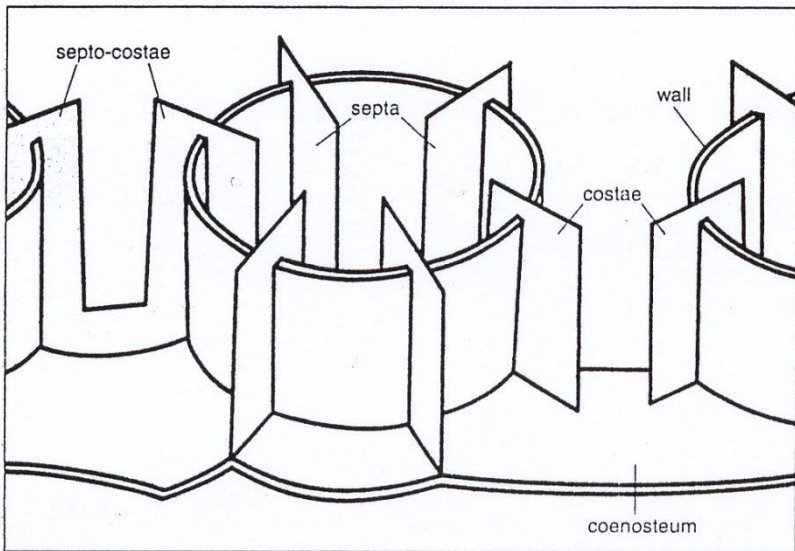
Gambar 12. Nematosit pada karang *Galaxea fascicularis*. A) nematosit yang tidak dilepaskan, B) nematosit yang dilepaskan. HI = holotrichous isorhiza; 1-MbM = microbasicb-mastigophore besar; s-MbM = microbasic b-mastigophora kecil; MpM = microbasic p-mastigophore. Skala bar = 10 μ m (Hidaka dan Yamazato, 1984).



Gambar 13. Micro-algae zooxanthellae yang bersimbiosis dengan karang scleractinia *Goniastrea aspera* (Foto oleh Thamrin).

2.2. Skeleton

Di bawah lapisan tissue karang yang masih hidup pada setiap polip terdapat endoskeleton sebagai penyangga jaringan, dan keseluruhan skeleton sebuah polip disebut corallite. Secara umum pembagian skeleton dapat dilihat pada Gambar 14. Skeleton terbuat dari kerangka kapur. Skeleton polip berbentuk sebuah tabung yang di dalamnya terdapat lempengan-lempengan berdiri tegak secara melingkar dari pusatnya. Tabung sendiri disebut corallite wall (dinding koralit) dan lempengan yang tersusun secara melingkar disebut septo-costae, dan struktur yang berada di tengah polip yang membatasi pertemuan septa disebut columella. Antara tabung satu dengan tabung lainnya pada karang berkoloni dihubungkan oleh lempengan mendatar dan struktur lainnya yang disebut dengan coenosteum. Beberapa polip memiliki skeleton yang dilapisi lapisan tambahan tipis disekitar dinding yang disebut dengan epitheca.

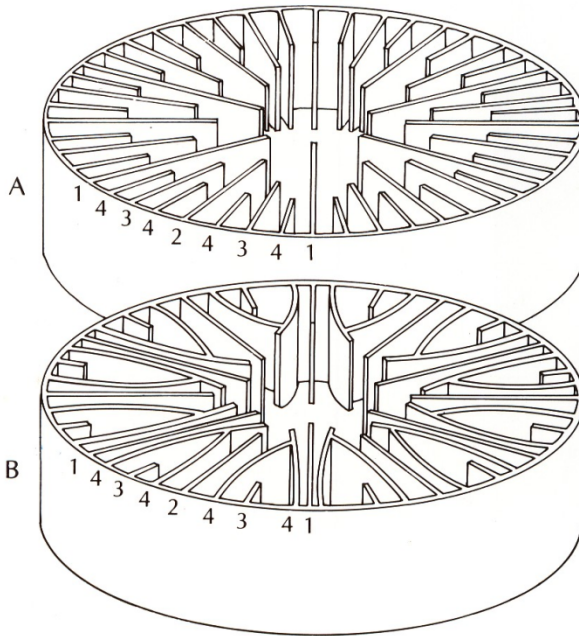


Gambar 14. Sketsa secara sederhana skeleton organisme karang (Wallace, 2000).

Skeleton dinding koralit terdiri dari lima yang memiliki proporsi yang beragam pada famili dan/atau genus berbeda, bagian-bagian tersebut yaitu: 1) septo-costae yang menebal di dalam dinding, 2) coenosteum, yang menyerupai struktur sponge, 3) synapticulae, yang menyerupai balok-balok mendatar membentuk sebuah kisi-kisi antara septo-costae; 4) sterome, yang membentuk sebuah lapisan **non-porous** pada bagian luar dinding; dan 5) epitheca, yang membentuk sebuah lapisan tipis **non-porous** pada bagian luar dinding. Beberapa spesies memiliki dinding corallite yang tidak jelas, seperti pada kelompok Siderastreidae, Agariciidae dan kelompok Fungiidae.

Lempengan skeleton yang berdiri tegak secara radial pada sebuah corallite (septo-costae) dapat dibagi menjadi dua bagian. Bagian lempengan yang berada di dalam dinding corallite disebut septa (septum = tunggal), dan yang berada di luar dinding corallite disebut costae. Pada karang berpolyp tunggal (soliter), dinding corallite terjepit diantara septa dibagian atas dan costae dibagian bawah. Septa memiliki ukuran yang berbeda pada sebagian besar karang dan bersifat simetri radial. Bila dalam bentuk lingkaran, pada lingkaran pertama memiliki 6 septa, pada lingkaran kedua memiliki 6 septa, pada lingkaran ke tiga 12 septa, pada lingkaran ke empat

24 septa, dan seterusnya; atau terdapat jumlah pertengahan diantara setiap panjang septa (Gambar 15).



Gambar 15. Sketsa susunan septa skeleton polip karang secara umum. A). Susunan lingkaran septa umumnya. B) Septa tipe pourtales plan. Nomor menunjukkan lingkaran (Wallace, 2000).

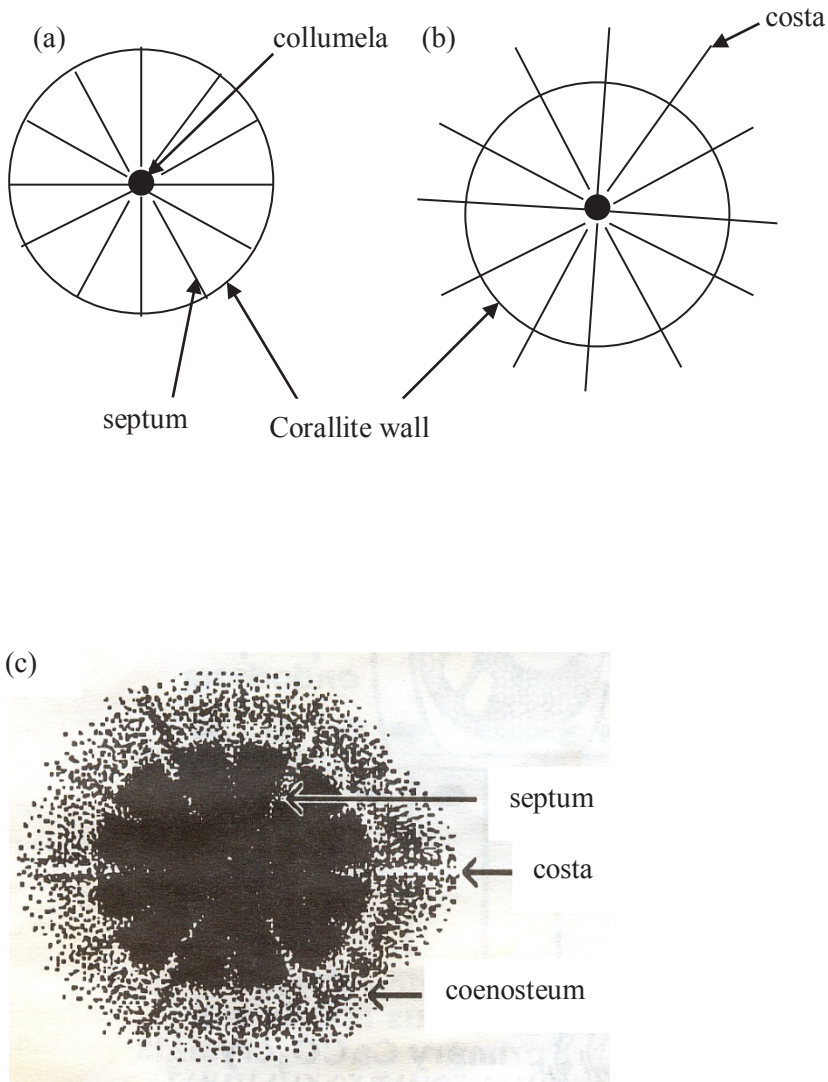
Sebagian besar karang selalu memiliki septa terputus pada pusat corallite dan jarang ditemukan septa-septa ini saling menyatu atau berhubungan pada pusat corallite. Pengecualian pada kelompok Astracoeniidae dan Pocilloporidae. Pada sebagian famili, terutama Astracoeniidae dan Pocilloporidae memiliki bentuk columella seperti bubungan atau kubah. Sementara kelompok Ascroporidae biasanya tidak memiliki struktur yang dijumpai pada kedua famili tersebut. Banyak karang memiliki columella seperti bubungan pada bagian sebelah dalam beberapa atau pada semua septa yang disebut *paliform lobes*, dan selalu membentuk sebuah lingkaran yang rapi disekitar columella yang disebut *paliform crown*. Beberapa kelompok karang malahan memiliki *pali* seperti cuping,

dan merupakan hasil dari pola *portales plan* dari peleburan septa walau polanya tidak kelihatan pada koralit yang telah matang.

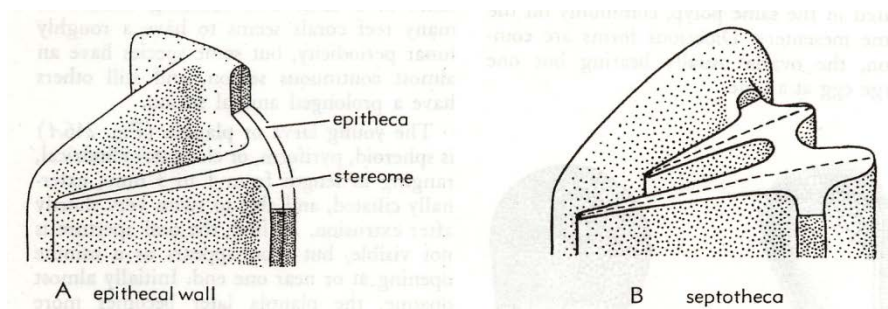
Struktur koralit karang bila dibuat lebih sederhana dan dilihat dari atas dapat digambarkan sebagaimana terlihat pada Gambar 17a dan 17b. *Corallite wall* (dinding koralit) berupa lingkaran. Sementara *costa* (*costae* = jamak) merupakan perpanjangan *septum* (*septa* = jamak) yang berada di luar dinding koralit. Pada bagian tengah corallite ditemukan columella. Kemudian bila corallite juga dilihat dari atas pada skeleton karang sendiri terlihat seperti pada Gambar 17c.

Bagian penting lain skeleton yang dipakai untuk menggambarkan karang secara umum adalah *coenosteum*, *sterome*, *dissepiments* dan *epitheca*. Coenosteum merupakan istilah umum untuk poros material skeleton yang terletak pada bagian tengah corallite. Contoh yang terbaik bisa ditemukan pada Dendrophylliidae dimana dinding corallite dan skeleton antara corallite-corallite terdiri dari sebuah matrik seperti sponge dari coenosteum. Sterome adalah sebuah lempengan padu yang membentuk lapisan bagian dalam dari dinding corallite (Gambar 16). Sebagai contoh terbaik ditemukan pada famili Euphyllidae, Oculinidae dan Meandrinidae. Dissepiments tipis, seperti lapisan skeleton melepuh yang terbentuk diantara dimana strukturnya mirip dengan sterome. *Epitheca* adalah sebuah lapisan skeletal lembut yang transparan. Awalnya terjadi sebagai lempengan dasar ditumpuk oleh larva planulae pada tempat penempelan, dan sesudah itu terus tumbuh menutupi corallite suatu polip/karang. Epitheca selalu dalam keadaan lembut yang tidak tertutup oleh tisu. Beberapa struktur skeleton ditemukan hanya pada beberapa jenis karang. *Montipora* dan *Porites* memiliki tambahan struktur skeleton yang dijadikan salah satu karakteristik dalam proses identifikasi.

Kelompok karang *Acropora* memiliki dua jenis polip, yaitu *axial polyp* (aksial polip) dan *radial polyp* (radial polip). Sehingga keadaan ini juga melahirkan dua bentuk corallite, yaitu axial corallite (koralit aksial) dan radial corallite (koralit radial), yang membendakan kelompok ini dengan jenis karang lainnya. Axial corallite adalah corallite yang terdapat di tengah atau di ujung percabangan koloni genus *Acropora* (Gambar 19). Axial corallite dijumpai dalam bentuk tunggal atau dalam bentuk kelompok, dua atau lebih jumlah corallite. Axial corallite dalam bentuk tunggal dijumpai pada *Acropora* dan aksial koralit dalam bentuk kelompok ditemukan pada *Acropora* (*Isopora*). Pada umumnya axial corallite dapat diketahui dengan mudah walau pada saat koloni hidup sekalipun karena berada di ujung percabangan koloni dan memiliki ukuran lebih panjang dari radial koralit.



Gambar 16. Sketsa dan gambar struktur corallite. (a) corallite, (b) corallite dilengkapi costae, dan (c) gambaran corallite dilihat dari atas (Sumber c, Wallace, 2000).



Gambar 17. Pembagian dinding corallite karang. A) dinding epitheca, dan B) Septotheca.

Axial corallite memiliki bentuk yang beragam. Beberapa spesies adakalanya memiliki axial corallite yang sulit dibedakan dengan radial corallite, terutama pada cabang tipe incipient seperti yang dijumpai pada karang *Aropora loripes*, atau koloni tipe bercabang *hispidose* dimana beberapa corallite tipe radial berkembang seperti yang terjadi pada karang *Acropora echinata*. Dalam hal ini juga termasuk karang jenis *Acropora* yang memiliki koralit radial yang berbentuk silinder dan panjang seperti yang dijumpai pada *Acropora abrolhosensis*. Pada beberapa spesies percabangan terdiri dari sebuah koralit aksial yang muda dibedakan dengan koralit radial, kecuali untuk beberapa koralit radial disekitar pangkal koralit aksial (Gambar 18).

Korali aksial memiliki 12 septa yang tersusun secara radial sebagaimana pada karang lainnya. Septa yang terdapat di dalam corallite juga berpasangan, ada yang berukuran panjang yang disebut juga septa utama (septa primer) dan ada yang berukuran pendek yang disebut juga septa sekunder.

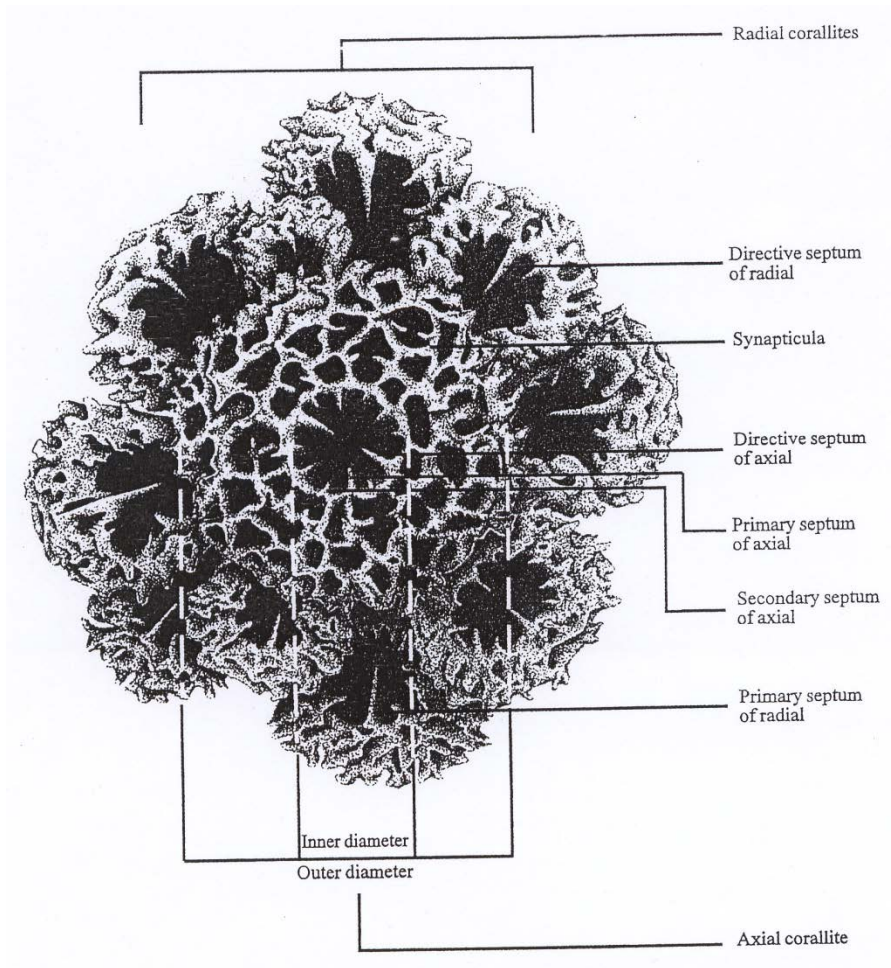


(a) Axial polyp

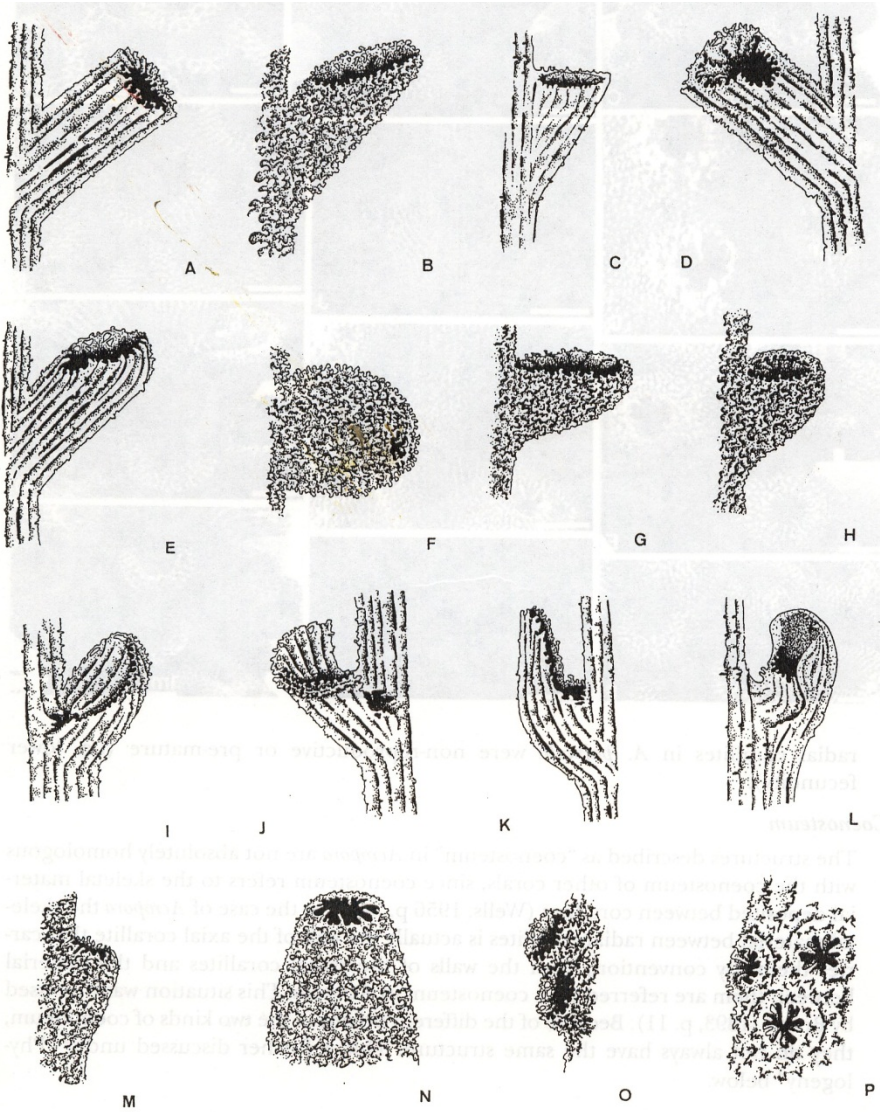
(b) Radial polyp

Gambar 18. Karang *Acropora* sp. masih hidup. Korallit aksial berada pada polip paling ujung percabangan (*axial polyp*) koloni (a), dan radial corallite pada semua polip di bagian batang percabangan koloni (b).

Korallit radial adalah corallite yang terdapat disekeliling axial corallite (Gambar 19). Pada karang *Acropora* tipe bercabang ditemukan disekililing percabangan koloni selain yang terdapat pada setiap ujung percabangan yang ditempati axial corallite. Bentuk radial corallite ini sangat beragam dan secara umum berbentuk bermacam-macam, namun pada dasarnya berbentuk menyerupai silinder. Disamping bentuk, radial corallite juga memiliki beragam ukuran. Bentuk-bentuk radial corallite yang ditemukan pada genus *Acropora* dapat dikelompokkan menjadi 16, dan untuk lebih rinci bentuk radial yang dijumpai pada genus *Acropora* dapat dilihat pada Gambar 20 berikut.



Gambar 19. Diagram koralit aksial dan koralit radial dan teknik pengukurannya (Wallace, 2000).



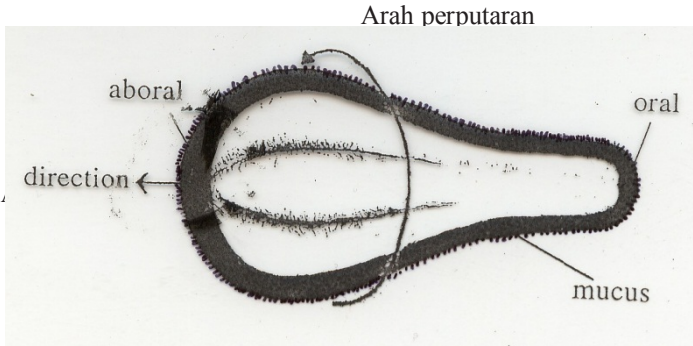
Gambar 20. Berbagai bentuk koralit radial yang ditemukan pada karang *Acropora* (Wallace, 2000).

Pembagian koralit radial pada karang *Acropora* dapat dikelompokkan sebagaimana terlihat pada Gambar 18. A) tubular, terbuka bentuk bulat, B) tubular, terbuka bentuk mereng, C) appressed tubular, D) tubular, terbuka bentuk dimidiate, E), tubular, terbuka bentuk nariform, F) tubular berbentuk bulat, G) nariform, terbuka bentuk memanjang, H), nariform, terbuka bentuk bulat; I), labellate, bulat bentuk mulut, J) labellate, flaring lip, K) labellate, bentuk bibir memanjang, L) cochleariform, M) appressed tubular, N) conical, O) sub-immersed, dan P) immersed (Wallace, 2000).

2.3. Larva Planulae

Planula (planulae = jamak) adalah nama yang diberikan pada larvae karang. Planulae yang dihasilkan karang dapat dikelompokkan menjadi dua berdasarkan sifatnya, yaitu planulae bentik dan planulae planktonik. Planulae yang bersifat bentik ini hanya dijumpai pada sebagian kecil jenis karang, dan planulae jenis bentik sebagian besar masa hidupnya berada di dasar perairan. Jenis karang yang memproduksi planulae bentik seperti karang *Balanofillia elegans* (Fadlallah dan Pearse 1982a), yang merupakan satu-satunya larva planulae karang sampai saat ini diketahui sepanjang masa periode planulae berada di dasar perairan. Sementara pada umumnya karang menghasilkan planulae yang bersifat planktonik, seperti planulae karang *Pocillopora damicornis* dan *Acropora solitaryensis* dan lain-lain. Disamping itu juga ditemukan planulae bersifat sebagai planktonik dan sekaligus bersifat sebagai planulae bentik. Planulae yang termasuk kelompok ketiga ini melakukan pergerakan di dasar perairan pada saat mencari substrat untuk menempel. Seperti dijumpai pada planulae karang *Alveopora japonica*.

Larva planulae dalam bergerak/berenang pada dasarnya sangat terbatas, dan kemampuan pergerakan berenang planulae hanya bisa dilihat pada air tenang atau di laboratorium. Pergerakan planulae dikendalikan oleh arus air, sehingga dikelompokkan ke dalam zooplankton. Arah pergerakan planulae berbeda dengan organisme pada umumnya. Planulae berenang atau bergerak secara mundur, bergerak sesuai dengan arah aboral. Pada saat berenang atau sedang bergerak (mundur) dilakukan dengan cara tubuh berputar, dan arah perputarannya searah dengan jarum jam bila dilihat dari arah aboral planulae (Gambar 21). Pergerakan planulae ini dilakukan oleh silia yang menyelimuti seluruh tubuh planulae. Kecepatan berenang ke atas permukaan air lebih lambat dibandingkan pergerakan dari atas menuju ke bawah. Seperti planulae *Pocillopora damicornis*, kecepatan berenang dari bawah ke atas permukaan air hanya sekitar 161,2 mm/menit, sebaliknya dari atas menuju dasar perairan dengan kecepatan mencapai 281,6 mm/menit (Atoda, 1947).



Gambar 21. Sketsa bentuk dan arah pergerakan planula dan silia yang menutupi planula.

Planulae karang hermatypic memiliki ukuran yang beragam, tetapi pada umumnya memiliki ukuran diameter sekitar 2 mm. Perbedaan ukuran planulae tidak saja ditemukan pada spesies karang yang berbeda. Pada spesies karang yang sama sekalipun juga memiliki ukuran yang beragam, serupa dengan organisme lain termasuk hewan tingkat tinggi dalam melahirkan anak yang jarang memiliki ukuran yang seragam. Seperti pada karang *Alveopora japonica* memiliki rata-rata ukuran panjang planulae 2 mm dan ukuran terbesar mencapai 3 mm serta ukuran paling kecil dengan ukuran panjang pada saat normal 1 mm atau saat berbentuk buah pir (Gambar 22).

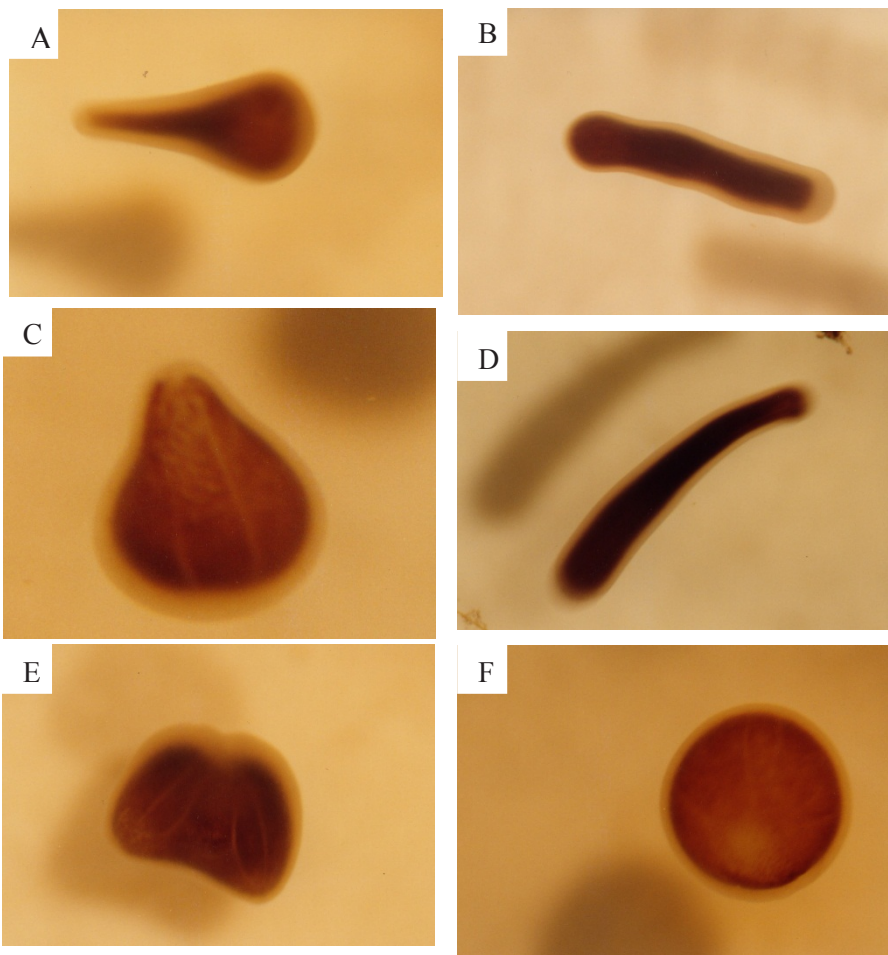
Sampai saat ini ditemukan bahwa planulae terkecil diproduksi oleh karang *Astrangia danae* dengan ukuran 75 x 45 μm (Fadlallah dan Pear, 1982). Sementara planulae terbesar diproduksi oleh karang *Balanophyllia elegans* dengan ukuran panjang mencapai 5 mm serta ukuran diameter mencapai 2 mm. Namun pada umumnya karang memproduksi planulae dengan ukuran rata-rata panjang 2 mm sebagaimana disebutkan di atas. Sebagai contoh untuk karang lain seperti planulae karang *Stylophora pistillata* di Laut Merah memiliki ukuran panjang 2 mm dengan diameter 0,2 mm pada saat sedang memanjang.



Gambar 22. Planula terkecil dan terbesar pada karang *Alveopora japonica* (Foto oleh Thamrin).

2.3.1. Anatomi Larva Planulae

Larva planulae karang pada umumnya berbentuk seperti buah pir, akan tetapi pada dasarnya memiliki bentuk bisa berubah-ubah (Gambar 23). Sehingga muncul berbagai macam laporan yang menyatakan bahwa planulae karang memiliki bermacam-macam bentuk, seperti buah pir, seperti tabung, seperti bola, seperti ulat memanjang dan lain-lain. Planulae yang diproduksi karang bertipe brooder sebagian besar telah memiliki zooxanthellae, sehingga umumnya memiliki warna coklat. Adakalanya planulae berwarna coklat terang sampai coklat tua, tergantung kepadatan zooxanthellae di dalam jaringan tubuhnya. Pada bagian oral terdapat lubang mulut yang disebut oral pore dan pada seluruh tubuhnya ditutupi silia berukuran pendek. Silia ini bergerak dengan aktif dan memiliki ukuran sangat halus, dan sehingga ukuran dan bentuknya silia ini hanya bisa diamati dengan menggunakan mikroskop.

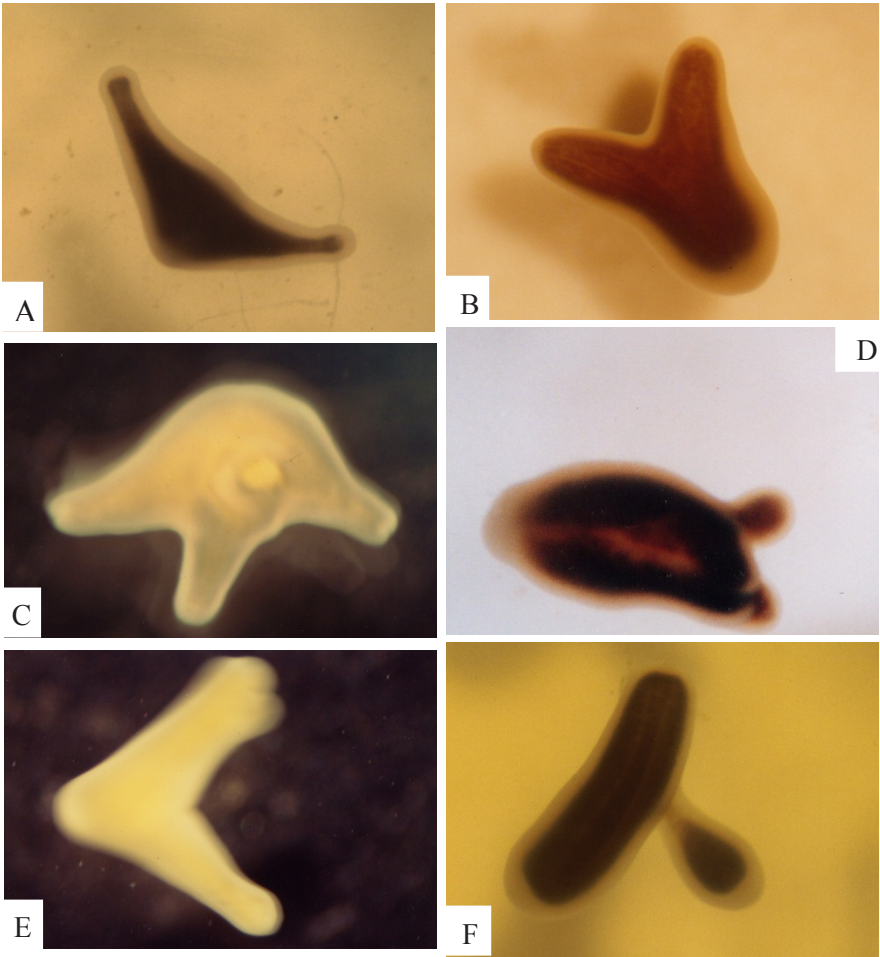


Gambar 23. Berbagai bentuk perubahan planulae karang *Alveopora japonica*. A, B, C, D dan F adalah perubahan larvae dari planulae normal, dan E adalah perubahan bentuk larva dari planula abnormal (bercabang dua) (Foto oleh Thamrin).

Disamping itu karang sebagian kecil juga memproduksi planulae abnormal, di luar kriteria yang diterangkan di atas. Planulae abnormal atau planulae bercabang dua pada beberapa jenis karang, seperti pada karang *Pocillopora damicornis* telah dilaporkan oleh Atoda pada tahun 1947. Baik planulae normal maupun planulae abnormal mampu mengalami perubahan bentuk, terutama untuk memanjang dan memendekkan tubuhnya sebagaimana dilakukan planulae yang memiliki bentuk normal. Bila planulae abnormal mengalami pemendekkan, maka tubuhnya akan kelihatan seperti pada Gambar 25E.

Planulae abnormal yang disebut juga planulae kembar diperkirakan disebabkan terjadinya penggabungan (fusion) pada saat telur atau pada saat embriogenesis. Planula bercabang mungkin dapat disamakan dengan anak kembar siam pada hewan tingkat tinggi termasuk manusia. Terbentuknya planula bercabang kemungkinan disebabkan sebagian karang bertipe brooding memiliki kepadatan telur sangat tinggi dan jauh berbeda dibandingkan dengan planulae yang dihasilkan atau pada saat embriogenesis. Hal ini kemungkinan disebabkan ruangan mesentery dan coelenteron karang yang semakin sempit dengan peningkatan ukuran masing-masing telur sehingga terjadi peleburan telur atau embrio. Planulae bercabang berkemungkinan disebabkan peleburan (fusion) telur atau embrio yang tidak sempurna. Peleburan yang tidak sempurna telur atau embrio ini melahirkan tidak saja planulae bercabang dua melainkan bisa memproduksi planulae bermacam-macam bentuk atau bermacam-macam bentuk dan jumlah cabang lebih dari dua (Thamrin, 2001)(Gambar 25).

Planulae karang tertentu mampu bertahan hidup bebas sebagai plankton sampai ratusan hari. Diantara planulae yang mampu bertahan hidup lama ini termasuk dari jenis karang *Alveopora japonica* dan *Pocillopora damicornis*, namun jumlahnya sangat terbatas. Planulae karang *P. damicornis* mampu bertahan lama karena tubuhnya mengandung lemak yang banyak dan mengandung zooxanthellae serta mampu menangkap zooplankton sebagai makanan. Ukuran planulae tidak mengalami peningkatan dengan perpanjangan masanya dalam bentuk planulae, malahan condong menjadi lebih kecil (Gambar 26). Planulae karang *A. japonica* yang telah memiliki usia lebih dari seratus hari disamping ukuran bertambah kecil juga terjadi perubahan warna. Perubahan warna disebabkan terjadinya penumpukkan zooxanthellae pada bagian tubuh tertentu planulae. Penumpukkan zooxanthellae ini terjadi tidak berapa jauh dari bagian oral sehingga warna planulae pada bagian tersebut lebih berwarna gelap dibandingkan bagian tubuh planulae lainnya.



Gambar 24. Berbagai bentuk planulae abnormal karang *Alveopora japonica* (Foto oleh Thamrin).



Gambar 25. Planula karang *Alveopora japonica* berusia 115 hari (Foto oleh Thamrin).

Tampilan planulae menjadi berbeda terutama tubuh bagian oral lebih fleksibel dan bisa bergerak kesegala arah, ke arah kiri, ke kanan atau ke arah atas. Sementara pada umumnya planulae yang baru dilepaskan induknya memiliki gerakan tubuh lebih kaku, dan bila berenang selalu dalam bentuk buah pir. Berbeda dengan planulae yang telah berumur ratusan hari yang lebih condong menetap di atas substrat dasar. Kemudian Richmond (1987) mengatakan bahwa planulae karang *Pocillopra damicornis* bisa bertahan hidup sampai lebih dari seratus hari, dan setelah berusia 103 hari masih mampu menempel pada substrat serta mampu melakukan metamorfosis. Namun tidak semua planulae berhasil menempel atau berhasil menemukan substrat yang cocok sampai mati. Bila planulae mati biasanya akan pecah dan setelah pecah berbentuk seperti jaringan tisu, yang diperkirakan disebabkan di dalam jaringan tubuh planulae terdapat organisme lain yaitu micro-algae zooxanthellae (Gambar 26).

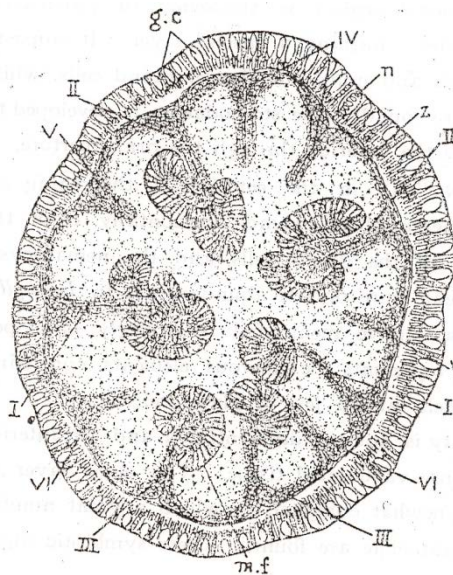


Gambar 26. Pecahan tubuh planula karang *Alveopora japonica*. Planula ini mati (pecah) pada usia 5 hari. Bulatan yang berada di bagian tengah adalah oral pore planula. Jaringan berwarna coklat merupakan tumpukan zooxanthellae yang masih melekat pada jaringan tubuh planula yang baru pecah (Foto oleh Thamrin).

2.3.2. Jaringan Tubuh Larva Planulae

Planulae memiliki tiga lapisan jaringan tisu, persis seperti karang yang telah dewasa. Pada bagian luar yang bersentuhan dengan air disebut lapisan epidermis dan jaringan bagian dalam terdapat lapisan endodermis, serta diantara kedua lapisan tersebut ditemukan lapisan mesoglea. Pada lapisan epidermis diseluruh permukaan tubuh planulae yang bersentuhan dengan air diselimuti oleh silia. Pada sebagian besar planulae yang diproduksi secara brooding, pada bagian endodermis dipenuhi oleh micro-algae zooxanthellae (Gambar 27). Perbedaan antara jaringan tubuh planulae dengan karang dewasa adalah pada lapisan epidermis yang bersentuhan langsung dengan skeleton. Pada karang dewasa dijumpai dua lapisan epidermis, yaitu ada lapisan epidermis yang bersentuhan dengan air dan ada lapisan epidermis yang bersentuhan dengan skeleton. Sementara pada

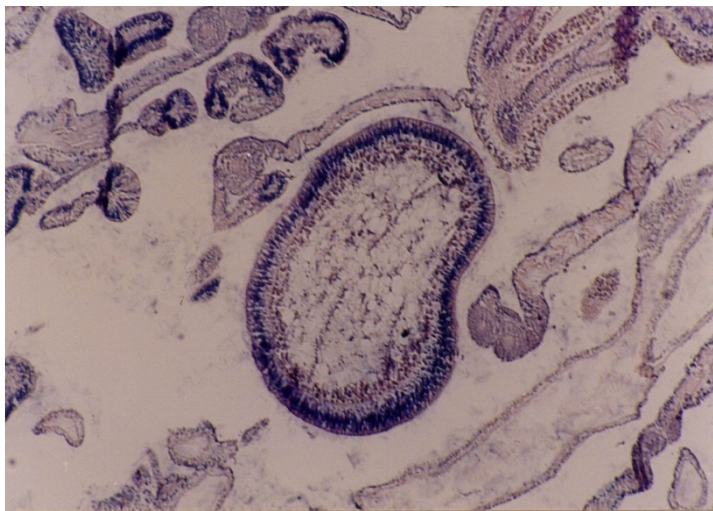
planulae hanya ditemukan satu lapisan epidermis yang terletak pada bagian luar yang bersentuhan langsung dengan air.



Gambar 27. Jaringan internal tubuh planula *Pocillopora damicornis cespitosa* (DANA) dilihat secara melintang. I – VI, mesenteri; g.c, dua tipe sel kelenjar; m.f, mesenterial filament; n, nematosit; dan z, zooxanthellae (Atoda, 1946).

Pada celah oral lapisan epidermis ditemukan sel kelenjar dan nematosit. Nematosit pada planulae memiliki beberapa fungsi, yaitu: untuk menempel pada substrat, melindungi diri dan lain-lain (Lihat Paruntu et al., 2000). Pada bagian aboral terdapat lapisan khusus saraf. Pada sebagian planulae karang seperti pada karang *Pocillopora damicornis* (Atoda, 1947), mesentery telah berkembang dengan baik (Gambar 27). Total mesentery planulae berjumlah 6 pasang. Empat pasang mesentery bersentuhan dengan stomadeum yang merupakan mesentery kompleks, dan dua pasang yang tersisa tidak bersentuhan dengan mesentery yang disebut juga mesentery tidak kompleks. Bagi planulae yang telah memiliki zooxanthellae, mikro-algae ini ditemukan pada lapisan endodermis planulae, akan tetapi beberapa diantaranya ditemukan juga pada lapisan epidermis. Pada

planulae karang *Alveopora japonica* yang telah matang yang masih di dalam coelenteron induk belum memiliki mesentery (Gambar 28). Perkembangan mesentery pada planula karang ini diperkirakan sama dengan jenis karang lainnya, yakni terjadi pada saat planula berada di luar tubuh induk. Akan tetapi pada lapisan endodermis telah ditempati simbiotnya zooxanthellae.

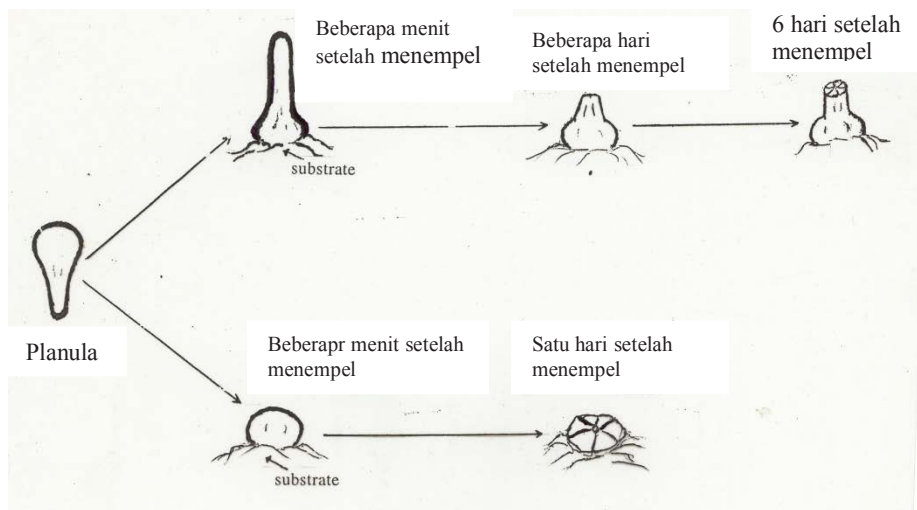


Gambar 28. Planula karang *Alveopora japonica* telah matang di dalam coelenteron dan Stadium I oosit yang masih di dalam endodermis tubuh induk. Planula belum dilengkapi mesentery yang dilihat melalui preparat (Thamrin, 2001).

Bila planulae telah menetapkan pilihan tempat menempel dan memiliki kondisi lingkungan yang cocok akan mampu tumbuh, yang akan diikuti pertambahan polip-polip baru dengan cara aseksual dalam membentuk koloni. Segera setelah menempel planulae akan berbentuk pipih seperti piring sedang telungkup atau memiliki bentuk masih menyerupai planula dalam keadaan berdiri (Gambar 29). Pada umumnya karang memiliki ukuran panjang planulae sekitar 2 mm, dan polip yang baru terbentuk dari perkembangan planulae yang baru menempel memiliki ukuran diameter berkisar antara 0,7 sampai 1,4 mm. Polip-polip ini memiliki beragam bentuk, dan mulut polip utama (polip pertama kali muncul) berasal dari lubang/mulut (oral pore) yang terdapat pada bagian

oral pada saat masih larva. Dalam arti kata, polip utama karang (polip pertama kali terbentuk) berasal dari bagian oral planulae, sementara mulut polip utama berasal dari lubang kecil (oral pore) yang berada pada bagian ujung oral pada saat planulae. Sehingga bila planulae memiliki dua atau lebih jumlah bagian oral atau planula kembar akan memiliki kesempatan membentuk lebih dari dua buah mulut pada polip utama setelah membentuk polip muda (Lihat halaman 183).

Silia yang menutupi tubuh saat planula bebas bergerak menghilang sesaat setelah melekat pada substrat. Polip-polip mampu memanjangkan tubuh atau berkonstraksi dari awal stadium, dan tentakel memanjang pada siang hari bila tidak mengalami gangguan. Sifat diantara polip pada polip/koloni masih muda setiap karang tidak sama, pada polip karang *Fungia* sangat sensitif ketika berumur lebih dari 2 minggu (Abe, 1937), sementara koloni muda karang *Pocillopora damicornis cespitosa* (DANA) sangat sensitif menjelang berumur dua minggu semenjak melekat pada substrat (Atoda, 1947). Pada saat umur tersebut larva sangat sensitif terhadap pengaruh mekanik termasuk sedikit pengaruh kejutan disekitarnya.



Gambar 29. Gambar sketsa perubahan planula yang baru menempel menjelang terbentuk polip muda.

Bab 3

REPRODUKSI KARANG DENGAN SEKSUAL

Reproduksi yang dilakukan setiap organisme pada dasarnya bertujuan untuk mempertahankan keberadaan spesiesnya di alam. Pada organisme karang, reproduksi dilakukan 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 scleractinia 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 brooding pada karang scleractinia malahan pernah menjadi model harapan dalam reproduksi organisme karang. Walau perkembangannya sangat lambat di awal perkembangan penelitian reproduksi pada karang, namun pada akhirnya reproduksi secara brooding yang diperkirakan menjadi model perkembang biakan karang tersebut pada penghujung abad yang lalu berakhir. Ternyata karang melakukan reproduksi sebagian besar dengan cara ovipar, bukan secara ovovipar.

Studi tentang perkembangan biakan karang scleractinia sebenarnya telah dimulai dipenghujung abat sembilan belas, namun pada awal perkembangannya berjalan sangat lamban sekali. Pada tahun 1900 hanya ada 10 penelitian 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. Hal ini disebabkan berbagai keterbatasan yang meliputi teknologi diving yang belum berkembang, terbatasnya saintis yang tertarik dengan karang dan terbatas dana dan lain-lain pada awal abat 20-an.

Banyak penelitian yang tidak berhasil menemukan planula pada berbagai jenis karang yang diamati menjelang pertengahan abat ke dua puluh. Keadaan ini menyebabkan Connell (1973) mengeluarkan hipotesis bahwa pada sebagian kecil karang diduga bersifat sebagai oivipar dalam bereproduksi. Hipotesa ini kemudian dibuktikan oleh beberapa penelitian bahwa 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). Harrison et al. (1984) melaporkan pertama kali *mass spawning* pada karang yang diamati mereka pada tahun 1980-1981 di Grear 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 bereproduksi dengan *spawning* (Kojis dan Qinn, 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).

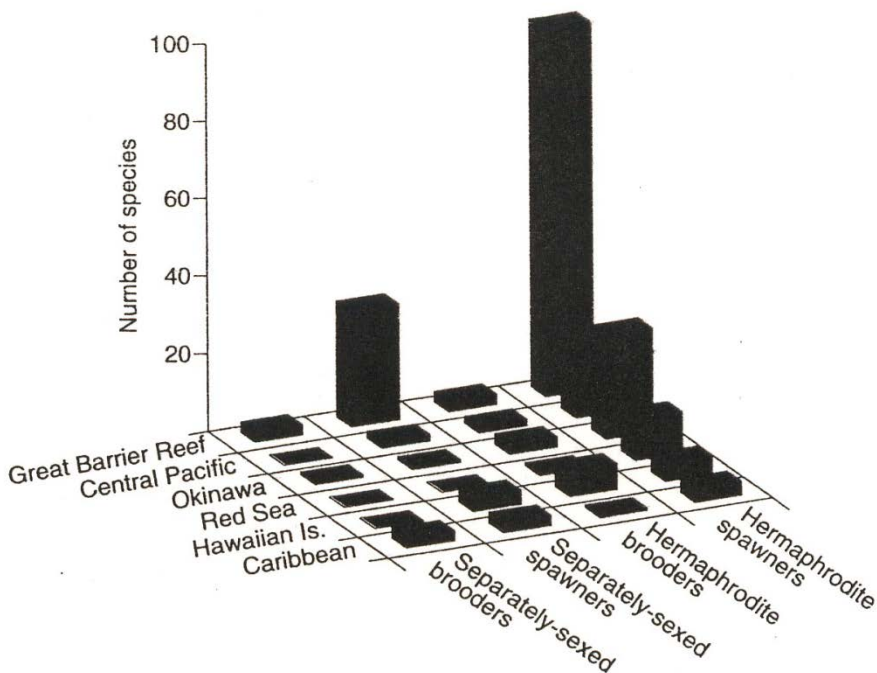
Perkembangan sangat pesat penelitian di bidang reproduksi pada organisme karang terjadi di penghujung abat dua puluh, dan berbagai ilmuawan telah mengamati reproduksi pada organisme karang dari berbagai belahan bumi ini dari berbagai aspek, yang meliputi siklus reproduksi, faktor-faktor yang mempengaruhi 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), Szmant (1991), Yeemin (1991), Oliver dan Babcock (1992), Glynn et al. (1996), Tioho (2000), Thamrin (2001), Soong et al. (2003), dan lain-lain. Dari penelitian melalui genetik akhirnya diketahui bahwa planulae yang dihasilkan karang tidak semuanya melalui

proses perkawinan yang didahului dengan proses fertilisasi (Lihat Stoddart, 1983; Aire et.al., 1986).

Hewan karang dibandingkan dengan hewan tingkat rendah lainnya termasuk memiliki sedikit model atau cara dalam melakukan reproduksi melalui 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 hermaphrodit dan sebagian kecil bersifat gonochoric (gonokorik). Baik yang bersifat hermaphrodit 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 hermaphrodit 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 hermaphrodit dengan spawning dan tebanyak yang kedua bersifat gonokorik dengan spawning. Akan tetapi di Pertengahan Lautan Pasifik yang terbanyak bersifat hermaphrodit 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 hermaphrodit dengan *spawning*, tetapi jumlah spesies yang terbanyak yang kedua justru ditemukan pada tipe hermaphrodit dengan *brooding*. Namun secara umum dapat disimpulkan bahwa jumlah terbesar jenis karang memiliki perkembangan gamet secara hermaphrodit dengan fertilisasi/pembuahan serta embriogenesis terjadi di dalam kolom air atau dengan *spawning* (Gambar 30).



Gambar 30. Perbandingan masing-masing tipe karang dalam bereproduksi pada enam daerah penting terumbu karang dunia (Veron, 2000).

3.1. Perkembangan gamet karang

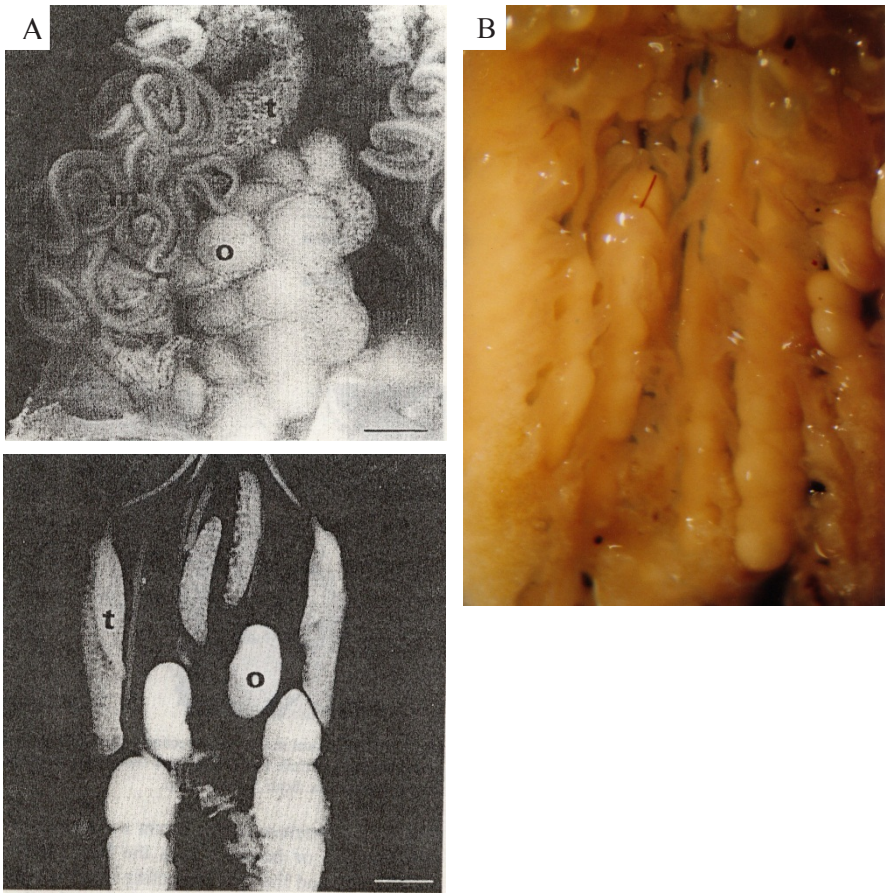
Perkembangan gamet karang terjadi di dalam jaringan mesentery, tepatnya di dalam jaringan endodermis yang juga selalu disebut lapisan gastrodermis mesentery. Oosit dan testis pada umumnya karang berkembang di dalam mesentery yang dibungkus lapisan mesoglea dan endodermis mesentery. Namun beberapa jenis 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).

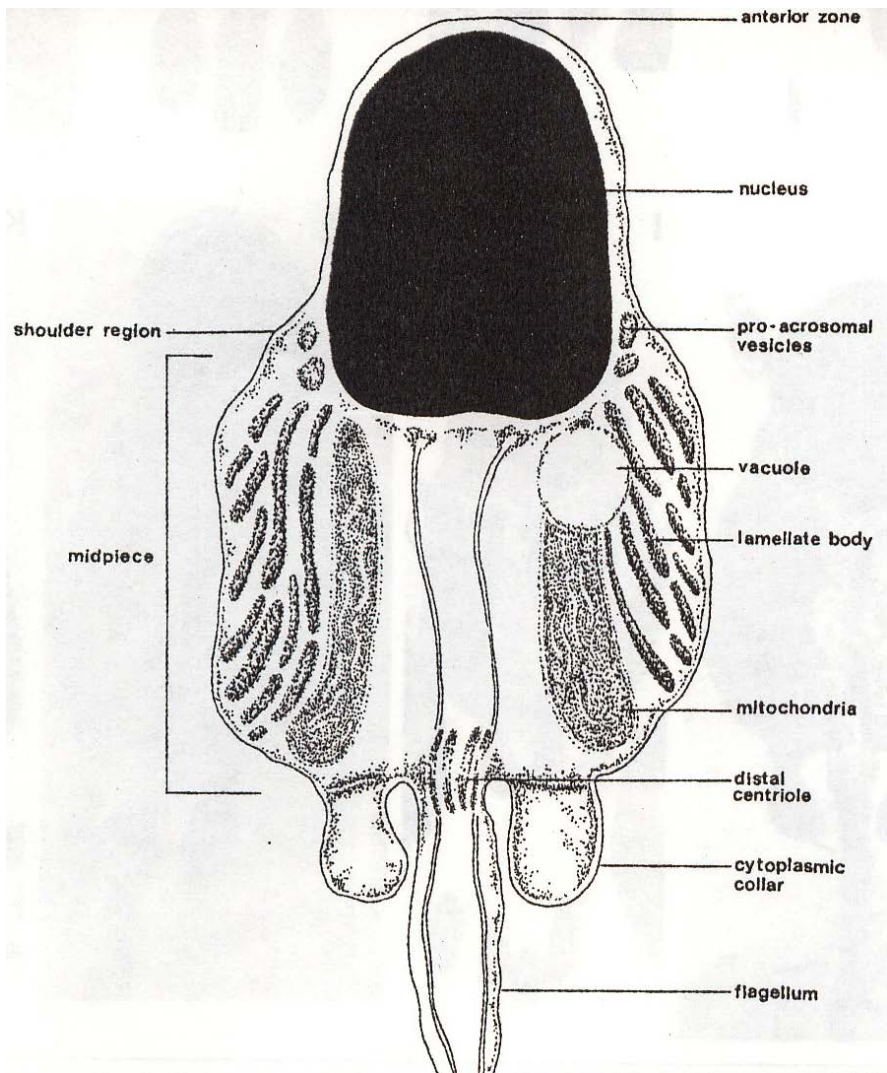
Perkembangan gamet dimulai dari perpindahan sel primordial germ ke dalam lapisan mesoglea endodermis mesentery. Pada awal kemunculan testis di dalam mesoglea terlihat seperti lapisan tipis yang buram, dan berkembang selama spermatogenesis mengandung sack atau locus dimana antara satu dengan lainnya dipisahkan 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 31).

Karang dikelompokkan ke dalam hewan tingkat rendah dengan bentuknya yang sangat sederhana seperti tabung, namun gamet yang diproduksi telah mirip dengan gamet hewan tingkat tinggi. Bentuk umum sperma hewan karang dapat dilihat pada Gambar 31, dan sebagai contoh sperma yang diproduksi beberapa jenis karang pada Gambar 31. Sperma karang telah memiliki nukleus, *pro-acrosomal vesicles*, *vacuole*, lamella tubuh, mitochondria, *distal centriole*, *cytoplasmic collar* dan flagella. Namun jenis kelamin karang tidak dapat dibedakan dari bentuk luar atau warna morfologi polip atau koloni. Untuk membedakan jenis kelamin pada karang satu-satunya adalah langsung tertuju pada gametnya sendiri (Harrison and Wallace, 1990).

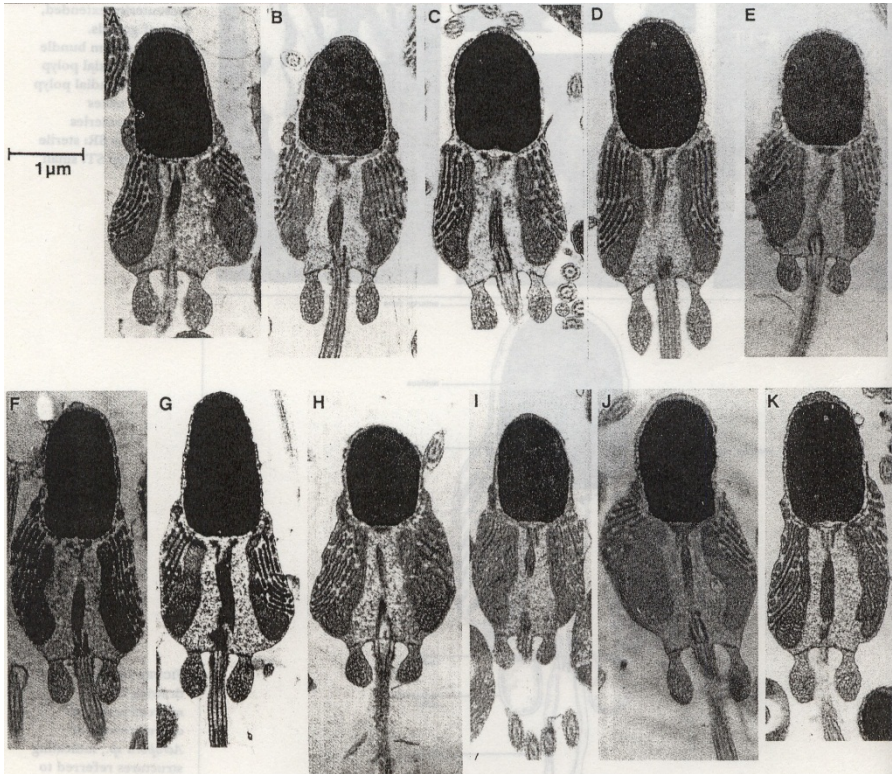
Sperma yang diproduksi setiap jenis karang pada umumnya memiliki bentuk tidak sama. Karena pada karang dalam genus yang sama sekalipun ditemukan memiliki bentuk sperma yang berbeda. Seperti pada karang *Acropora*, perbedaan antara sperma jenis karang satu dengan yang lain ditemukan pada bentuk *nucleus*, 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 31.



Gambar 31. 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)



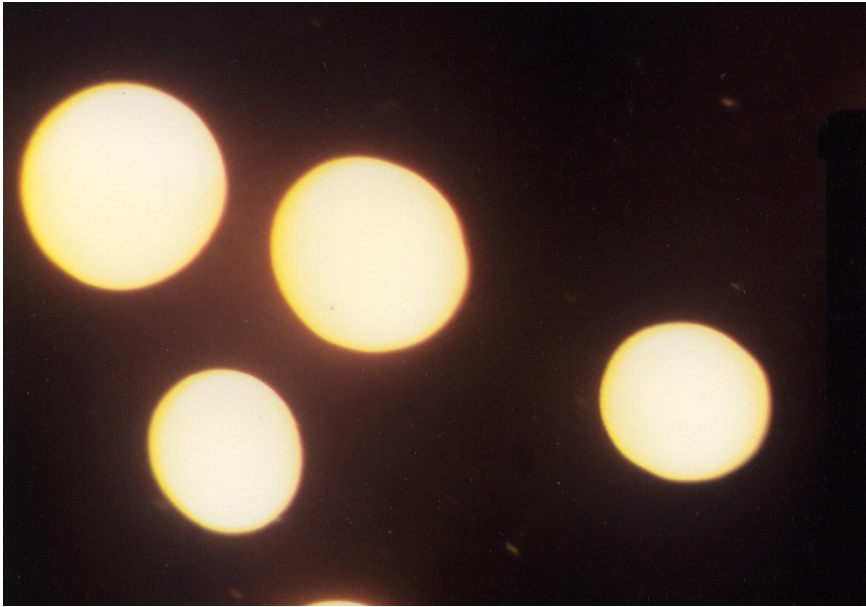
Gambar 32. Bentuk dan bagian-bagian organ sperma karang secara umum (Wallace, 2000).



Gambar 33. Sperma beberapa jenis karang *Acropora*, A) *Acropora humilis*; B) *A. digitifera*; C) *A. millepora*; D) *A. aspera* dan E) *A. pulchra*, F) *A. selago*, G) *A. tenuis*, H) *A. hyacinthus*, I) *A. cytherea*, J) *A. secale*, K) *A. alseyi* (Wallace, 2000).

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 disebabkan pigmen yang berada di dalam telur karang. Bentuk oosit karang yang sama antara bertipe *spawning* dan tipe *brooding*. Sebagai contoh bentuk telur karang bertipe *spawning* yang telah dikeluarkan dari tubuh induknya dapat dilihat pada Gambar 34. Oosit yang biasa juga disebut dengan nama umum telur, pada karang memiliki ukuran diameter paling kecil ditemukan pada spesies *Porites astreoides* (Szmant, 1986)

dengan ukuran diameter rata-rata 40 μm dan yang terbesar ditemukan pada spesies karang *Flabellum rubrum* dengan ukuran 1500 x 1000 μm (Gardiner, 1902a).



Gambar 34. Telur karang *Galaxea fascicularis* yang baru keluar dari dalam tubuh polipnya (Foto oleh S. Nojima)

Sistematik telur karang memiliki kecondongan ukuran dimana spesies yang sama umumnya memiliki ukuran telur yang konsisten. Akan tetapi menjadi konservatif dalam tingkat famili. Acroporidae dan Mussidae memiliki tipe ukuran telur yang besar dengan diameter 400 – 800 μm . Sementara kelompok Faviidae dan Mussidae condong memiliki ukuran diameter pertengahan yaitu antara 30 – 500 μm , dan telur Agariciidae, Fungidae dan Pocilloporidae memiliki kecondongan kecil dengan diameter antara 100 – 250 μm . Ukuran terbesar telur dijumpai pada *Flabellum rubrum* dengan ukuran 1500 x 1000 μm (Gardiner, 1902a) dan yang terkecil *Porites astreoides* dengan rata-rata diameter 40 μm (Szmant, 1986).

Oogenesis pada karang dapat diklasifikasikan berdasarkan histologinya menjadi antara 3 sampai 5 stadium. Pires et. al. (1999)

mengelompokkan oogenesis pada karang genus *Mussismilia* menjadi 3 stadium, yaitu sebagai berikut:

1. Stadium I. Pada awal Stadium I terlihat seperti kelompok sel tidak berbentuk, tanpa jelas batas dan menyerupai “nebulae”. Kelompok sel ini ditemukan di dalam beberapa bagian daerah endodermis berdekatan dengan lapisan mesoglea, dan setelah distaining memiliki warna ungu kebiru-biruan. Kemudian oosit muncul seperti sel yang terpisah. Kadang-kadang memiliki nucleus yang nyata dan bagian tepinya sangat sulit dibedakan. Biasanya nucleus Stadium I muncul pada pertengahan sel dan memiliki warna merah pekat setelah distaining. Stadium I oosit umumnya memiliki sitoplasma yang homogen, yang distaining memiliki warna merah jambu jernih. Pertumbuhan diikuti bagian tengah menjadi lebih berbintik-bintik dengan warna merah tajam. Terakhir granulasi menempati semua daerah yang kekurangan vesicles. Vitellogenesis selalu dimulai setelah terjadi migrasi oosit ke dalam mesoglea. Vesicle pada awalnya terkonsentrasi pada satu kutub sitoplasma. Seraya vitellogenesis berlangsung, jumlah vesicle meningkat dan menjadi terkonsentrasi disekitar nucleus. Beberapa sel memulai vitellogenesis ketika masih di dalam lapisan endodermis. Membran nuclear menjadi lebih nyata ketika oosit migrasi ke dalam mesoglea. Pada stadium ini setelah distaining berwarna jingga tua kemerah-merahan jernih, dengan tekstur yang homogen. Nuklei stadium ini berada di tengah, dengan ukuran terbesar sampai 150 μm .
2. Lemak vesicle Stadium II oosit mulai terlihat batasnya menjadi lebih jelas. Vesicle mengisi sampai separoh daerah sitoplasma, dan lapisan lapisan tepi homogen sitoplasma. Sitoplasma Stadium II oosit lebih kecil dan memiliki warna antara ungu sampai merah muda. Sejalan dengan pertumbuhan menjadi lebih intensif, kembali berwarna merah muda sampai berwarna kemerah-merahan. Nukleus masih dijumpai pada bagian tengah sel, akan tetapi sudah ada tanda-tanda akan bergerak menuju bagian tepi sel. Tekstur yang homogen mulai hilang dengan kemunculan daerah yang lebih padat, dan hasil staining menunjukkan lebih berwarna ungu bila dibandingkan dengan stadium terdahulu. Daerah terbuka berukuran kecil yang terlihat seperti celah selalu terlihat di dalam interior nucleus. Beberapa oosit berukuran besar Stadium II memiliki rongga berwarna putih disekitar nucleus. Diameter oosit stadium ini berkisar antara 70 sampai 160 μm .
3. Lapisan endoderem yang berdekatan dengan oosit menjadi kurang padat, dan terlihat beberapa permukaan kosong. Granula berwarna kemerah-merahan dari lapisan endoderem mulai bergerak ke dalam telur, dan terkonsentrasi pada daerah pinggiran oosit yang tersusun di

dalam lapisan cortical. Sitoplasma oosit dipenuhi lipit vesicle yang kurang berwarna. Sitoplasma setelah distaining berwarna merah gelap sampai berwarna merah lembayung gelap. Lapisan cortical *granular* (butiran-butiran kecil) yang lebih tebal pada Stadium sebelumnya menjadi lebih tipis. Sejalan dengan pertumbuhan Stadium III, perpindahan *granula* terjadi menuju interior sel, dengan pergerakan lebih jauh menuju nucleus. Oosit berukuran besar Stadium III dicirikan dengan konsentrasi bintik-bintik disekitar nucleus. Dalam beberapa kasus, granul berwarna merah gelap sedang masuk atau di dalam nucleus, dimana konsentrasinya tinggi disekitar nucleulus. Biasanya nuclei melalui staining berwarna jingga kemerah-merahan, dan tekstur asli *granular* menjadi terbungkus oleh organ seperti jaringan. Kadang-kadang setelah distaining berwarna lebih keabu-abuan. Beberapa sel memiliki rongga berwarna putih disekitar nucleus, serupa dengan yang ditemukan pada Stadium II oosit berukuran besar. Nukleus bergerak ke pinggir sel bersamaan dengan oosit mencapai ukuran maksimum. Nukleuli berwarna orange tajam, atau dalam beberapa kejadian ditemukan berwarna abu-abu. Kadang-kadang malahan sangat esentrik, muncul dalam bentuk ginjal dengan rongga berwarna putih disekitarnya. Disamping itu nukleuli ditemukan terlihat dengan nyata. Oosit Stadium III memiliki ukuran antara 150 μm sampai ukuran panjang maksimum sekitar 400 μm .

Sementara untuk spermatogenesis juga diklasifikasikan menjadi 3 stadium berdasarkan karakteristik histologinya. Stadium I merupakan awal perkembangan, Stadium merupakan fase intermediet, dan Stadium III dicirikan dengan kehadiran nyata ekor sperma. Karakteristik setiap stadium sebagai berikut:

1. Stadium I. Stadium I dicirikan oleh kehadiran kelompok sel-sel di dalam lapisan endodermis mesentery yang berdekatan dengan lapisan mesoglea. Pada stadium ini berwarna ungu. Warna yang sama masih dimiliki ketika berpindah dari lapisan endodermis ke dalam lapisan mesoglea. Kista spermatik terbungkus bersama sel-sel, tanpa tanda pada tepi luar dan dengan nukleinya tidak dapat dibedakan dengan jelas.
2. Kista-kista pada Stadium II berwarna jingga tua kemerah-merahan kemerah-merahan. Pada stadium ini, sel-sel mulai terkonsentrasi dan menampakkan tekstur granular. Nuklei menjadi lebih nyata, dan sel-sel menjadi lebih kecil. Keadaan ini kurang matang pada pinggiran kista. Kenyataannya, sel lebih matang dengan nuclei lebih nyata dan tersusun lebih terpusat. Selama Stadium II beberapa tempat kosong berukuran

kecil muncul pada bagian interior kista. Ruang ini berkembang serentak sampai sebuah lumen muncul di dalam bagian tengah kista.

3. Stadium III. Sperma sudah memiliki ekor walau hanya memiliki ukuran yang masih terbatas pada bagian interior lumennya. Sejalan dengan penambahan jumlah dan pertumbuhan ekor, sperma terkonsentrasi di dalam kelompok kecil yang tersusun secara radial di dalam kista. Pada stadium ini, walaupun berukuran lebih kecil dari pada yang diamati sebelumnya, serta memiliki warna pink kemerah-merahan gelap. Seiring dengan perubahan menjadi matang kelompok berubah menjadi jingga tua, dan nuclei berubah menjadi coklat tua. Pada penghujung kelompok berdampingan dengan nuklei mulai berbeda dengan kemunculan buket. Peristiwa spermatik di dalam mesentery memiliki perkembangan stadium berbeda umum terjadi.

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

Stadium testis juga dibagi menjadi 4, yaitu 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 interstial 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 gigantea*, dan sekitar 50 μm sampai 112 μm untuk *Gardineroseris planulata*. Transisi antara Stadium III dan IV juga dimasukkan ke dalam Stadium IV. Nekloui 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.

Gametogenesis baik oogenesis maupun spermatogenesis karang yang diklasifikasikan menjadi 5 stadium berdasarkan karakteristik histologi dilakukan oleh Thamrin (2001) pada karang *Alveopora japonica*, yang dimodifikasi dari Harii (1995) yang membagi oogenesis spesies karang yang sama hanya menjadi 4 stadium. Karakteristik setiap stadium untuk oogenesis sebagai berikut:

1. Stadium I. Stadium I memiliki diameter $61,0 \pm 21,0 \mu\text{m}$, nucleus memiliki diameter $27,3 \pm 7,7 \mu\text{m}$; dan nucleulus memiliki diameter $10,8 \pm 3,5 \mu\text{m}$. Stadium I memiliki warna wine, berbentuk bulat, elip atau berbentuk seperti cacing pita. Nukleulus berwarna violet dan biasanya muncul di tengah-tengah oosit. Stadium ini ditemukan di dalam mesoglea, dalam mesentery terpisah atau berdampingan dengan tingkat stadium oosit yang lebih besar, atau melekat langsung dengan Stadium yang lebih besar.

2. Stadium II. Stadium ini memiliki diameter telur $146 \pm 31,5 \mu\text{m}$; nucleus memiliki diameter $48,0 \pm 10,4 \mu\text{m}$; dan nukleulus memiliki diameter $20,3 \pm 3,9 \mu\text{m}$. Oosit memiliki warna merah muda dan lipid vesicle menutupi seluruh permukaan oosit untuk membedakannya dengan Stadium I. Nukleulus memiliki warna violet yang tajam.
3. Stadium III. Telur memiliki diameter $268,4 \pm 55,7 \mu\text{m}$; nucleus memiliki diameter $67,3 \pm 12,7 \mu\text{m}$; nukleulus memiliki diameter $25,3 \pm 3,4 \mu\text{m}$. Warna setelah distaining memiliki warna merah jambu, lapisan mesoglea lebih besar dari stadium lainnya. Pada lapisan yang berada pada mesenteri yang membungkus oosit mengandung sedikit atau tanpa zooxanthellae. Nukleulus memiliki warna violet gelap.
4. Stadium IV. Telur memiliki diameter $399,8 \pm 12,7 \mu\text{m}$; nucleus memiliki diameter $79,0 \pm 16,5 \mu\text{m}$; dan nukleulus memiliki diameter $25,9 \pm 2,7 \mu\text{m}$. Oosit setelah distaining memiliki warna putih sampai kekuning-kuningan. Nukleulus mulai bergerak dari pertengahan sel dan memiliki warna violet tajam. Lapisan endodermis yang membungkus oosit mengandung kepadatan zooxanthellae yang tinggi.
5. Stadium V. Oosit memiliki diameter $434,1 \pm 17,7 \mu\text{m}$; nucleus memiliki diameter $93,1 \pm 17,7 \mu\text{m}$; dan nukleulus memiliki diameter $14,1 \pm 6,1 \mu\text{m}$. Oosit memiliki warna gelap, dan oosit mengandung zooxanthellae. Nukleulus memiliki warna violet tajam tanpa zooxanthellae. Nukleulus sedang bergerak atau telah berada di tepi sel. Beberapa nukleulus masih utuh, akan tetapi sebagian besar memiliki nukleulus lebih dari satu (2 – 8 nukleulus), dan berukuran lebih kecil. Pada lapisan endodermis yang melapisi oosit tidak mengandung zooxanthellae

Stadium testis juga dibagi menjadi 5, yaitu sebagai berikut:

1. Testis pertama terlihat seperti bintik-bintik didekat interstisial sel dalam bentuk kelompok kecil spermatid di dalam lapisan endodermis dekat dengan lapisan mesoglea mesenteri. Nuklei berwarna violet tajam dengan diameter kelompok sekitar $4,7 \mu\text{m}$.
2. Stadium II. Kelompok spermatid semakin melebar dengan peningkatan jumlah spermatosit, dan kelompok spermatid bergerak dari lapisan endodermis ke dalam lapisan mesoglea.
3. Stadium III. Stadium ini berwarna anggur gelap dan sangat mudah dibedakan dengan Stadium I dan Stadium II dengan kehadiran ruang di tengah setiap kelompok spermatid. Ukuran klaster lebih besar dari

Stadium II, akan tetapi memiliki ukuran spermatit yang hampir sama dengan Stadium I dan Stadium II, yaitu dengan ukuran sekitar 4,7 μm .

4. Stadium IV. Testis stadium IV memiliki dua ukuran spermatit, yaitu dibagian tepi kelompok spermatit memiliki ukuran panjang spermatit 3,7 μm dan di bagian tengah memiliki ukuran panjang spermatit 2,1 μm . Stadium ini memiliki warna coklat atau coklat terang. Pada stadium ini masih terlihat pemisah antara masing-masing kelompok spermatit dan di tengah kelompoknya tidak ditemukan lagi ruang kosong.
5. Stadium V. Pada stadium ini memiliki ukuran sperma yang seragam dengan ukuran panjang 2,1 μm (tidak termasuk bagian ekor), serta sperma menyebar merata pada seluruh bagian testis dan tidak lagi ada pemisah diantara kelompok sperma. Spermatosit memiliki warna violet tajam dan memiliki lapisan pembungkus testis yang lebih tipis dibandingkan Stadium V.

Pada umumnya karang tipe spawning memproduksi telur tanpa zooxanthellae, namun beberapa memproduksi telur telah dilengkapi micro-algae tersebut. Sebagai contoh jenis-jenis karang yang memiliki telur telah mengandung zooxanthellae termasuk *Montipora* spp. dan *Porites* spp. yang membedakan kelompok genus ini dengan spesies karang yang lain (Kojis dan Quinn, 1982a; Heyward dan Collins, 1985a; Babcock et al., 1986; Heyward, 1986; Tomascik dan Sander, 1987). Pada umumnya zooxanthellae masuk ke dalam jaringan tubuh keturunannya pada saat embriogenesis. Sehingga larva yang diproduksi karang tipe brooder telah memiliki zooxanthellae. Seperti halnya karang tipe *spawning*, pada sebagian kecil karang tipe *brooder* juga ditemukan zooxanthellae di dalam telur saat oogenesis (lihat BAB 5).

Disamping itu karang tipe brooding yang memproduksi telur telah memiliki zooxanthellae ditemukan pada karang scleractinia bersifat endemik di Perairan Jepang dan Korea *Alveopora japonica* di Amakusa Jepang (Thamrin, 2001). Akan tetapi telur jenis karang yang sama tidak memiliki telur yang mengandung zooxanthellae yang berada di Perairan Teluk Tokyo (Harii, 1995).

Jenis kelamin karang memiliki mekanisme reproduksi seksual yang beragam. Beragam sifat tersebut baik dalam tingkat individu maupun dalam tingkat koloni, dan ragam tersebut meliputi sifat dan tempat terjadinya gametogenesis, tempat terjadinya fertilisasi dan embriogenesis, waktu dan periode gametogenesis, waktu dan periode pelepasan larva planulae atau pelepasan gamet (periode spawning) dan lain-lain.

Berdasarkan jenis gamet dan tempat terjadinya gametogenesis, individu karang dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu bersifat gonochoric (gonokorik) dan bersifat hermaphrodit. Berdasarkan tempat terjadinya fertilisasi dan embriogenesis, maka baik yang bertipe hermaprodit 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.

3.1.1. Gonochorik (gonokorik)

Sebagian besar karang bersifat hermaphrodit dan sebaliknya sebagian kecil bersifat gonokorik. Gonokorik adalah bila individu suatu jenis karang (organisme) menghasilkan salah satu jenis gamet, ada individu yang memproduksi oosit dan ada individu yang memproduksi testis, yang disebut juga dengan diaceous. Dalam arti kata masing-masing koloni/polyp hanya memproduksi salah satu jenis gamet, telur atau sperma, sebagaimana umumnya terjadi pada organisme tingkat tinggi. Jadi ada karang jantan dan karang betina. 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*.

3.1.2. Hermaphrodit

Suatu organisme dikatakan bersifat hermaphrodit bila organisme tersebut memproduksi gamet jantan (testis) dan gamet betina (oosit) selama hidupnya. Pada karang yang dikatakan hermaprodit adalah bila spesies karang memiliki koloni atau karang soliter memproduksi baik gamet jantan maupun gamet betina selama hidupnya. Gametogenesis karang terjadi di dalam mesoglea mesenterii. Kelompok karang hermaprodit dapat dikelompokkan menjadi dua berdasarkan tempat perkembangan gamet jantan dan betina. 1) ovaries dan testes berkembang bercampur aduk dalam mesenterii yang sama yang disebut kondisi singonic sensu Policansky (1982). Untuk tipe perkembangan gamet seperti ini termasuk kelompok karang Merulinidae dan Pectiniidae. Diantara karang yang memiliki tipe perkembangan gamet seperti adalah *Goniastrea australensis* di daerah terumbu karang Heron Australia. 2) ovaries dan testis berkembang secara terpisah yang disebut kondisi digonic sensu Policansky (1982). Kelompok

ini dapat lagi dibagi menjadi dua, yaitu ovary dan testis berkembang secara terpisah dalam mesentery yang sama dalam polip yang sama atau dalam mesentery yang berbeda dalam individu polip yang sama. Jenis karang yang termasuk tipe digonic dimana perkembangan gamet jantan dan betina secara terpisah dalam mesentery yang sama adalah kelompok karang Mussidae. Sementara yang termasuk tipe digonic dimana perkembangan gamet jantan dan betina dalam mesentery berbeda dalam polyp berbeda ditemukan pada Acroporidae, Pocilloporidae dan lain-lain.

Berdasarkan waktu kematangan jenis gamet (gamet jantan atau betina), kelompok hermaphrodit dibedakan menjadi:

a• Hermaprodit simultan.

Hermaprodit simultan adalah bila suatu organisme menghasilkan telur dan sperma pada waktu bersamaan dalam kesatuan sperma dan telur (*egg-sperm packets*). Meski dalam satu paket, telur yang diproduksi karang baru dibuahi antara 10 - 40 menit kemudian, yaitu setelah telur dan sperma terpisah. Kelompok karang yang termasuk hermaprodit tipe ini termasuk kelompok Acroporidae, dan Faviidae.

b• Hermaprodit sequential (hermaprodit berurutan).

Kelompok tipe hermaprodit ini dapat dibagi menjadi dua, yaitu: 1) Hermaprodit sequential protandri yaitu bila individu karang tersebut pertama berfungsi sebagai jantan baru berubah menghasilkan sperma untuk kemudian menjadi betina; 2). Hermaprodit sequential protogini yaitu bila individu karang pertama memproduksi gamet betina kemudian berubah menjadi jantan. Contoh: *Stylophora pistillata* dan *Goniastrea favulus*. Sebagian besar karang bersifat hermaphrodit dengan spawning (lihat Gambar 26).

Gamet yang diproduksi polip karang secara sederhana memang dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok sebagaimana disebutkan di atas. Akan tetapi tidak semua jenis karang memiliki sifat yang konsisten. Ketidak konsistenan jenis karang tertentu ditemukan pada sifat sebagian karang hermaprodit atau gonokorik, baik pada tingkat spesies pada lingkungan berbeda maupun pada tingkat individu di dalam koloni yang sama sekalipun terhadap adakalanya tidak sama. Ketidak konsistenan karang dalam gametogenesis dalam tingkat spesies yang sama pada lingkungan berbeda seperti pada spesies *Porites astreoides* di Teluk Discovery Jamaika, sebagian koloninya berjenis kelamin betina (hanya memiliki oosit) dan sebagian lagi bersifat hermaphrodit (Chornesky dan Peters, 1987). Berbeda dengan spesies yang sama yang ditemukan di

Puerto Rico yang keseluruhan koloninya bersifat hermaphrodit secara simultan (Szmant's, 1986).

Disamping itu juga ditemukan jenis karang yang bertipe hermaphrodit pada sebagian polipnya, dan polyp-polyp yang lain dalam bentuk gonochorik. Akan tetapi polip yang bertipe gonochorik hanya dari kelompok betina (hanya memiliki oosit), dan tidak ada polyp yang hanya memproduksi testis (jantan). Jadi koloni jenis karang ini sebagian polipnya memiliki jenis kelamin betina dan sebagian yang lainnya bertipe hermaphrodit. Sebagai contoh ditemukan pada koloni *Pocillopora damicornis* (Harriott, 1983; Permata *et al.*, 2000). Keadaan serupa juga ditemukan pada karang *Galaxea fascicularis* dimana sebagian dari populasinya memiliki koloni hanya memproduksi gamet betina dan yang lainnya memproduksi baik gamet jantan maupun gamet betina (hermaphrodit) (Harrison, 1988a).

Pada karang *Porites astreoides* juga memiliki sistem breeding campuran. Akan tetapi tidak semua koloni mengandung gonat, dan perbandingannya hampir 50 % koloni dalam suatu populasi tidak memproduksi gonat. Lebih rinci koloni karang *Porites astreoides* ditemukan bersifat hermaphrodit sekitar 26 %, dan sekitar 28 % hanya memiliki gonat betina. Sementara sekitar 46 % tidak memproduksi gonat (Chornesky dan Peters, 1987). Sementara pada populasi karang *Pavona gigantea* di Pulau Cano memiliki koloni bersifat hermaphrodit dan gonochorik, dan sebagian besar bersifat hermaphrodit. Perbandingan antara gonochorik dan hermaphrodit adalah 1:1,7. Sementara di perbandingan antara jantan dan betina berkisar antara 1:1, pengecualian untuk spesies yang ditemukan di Saboga dengan perbandingan 1:4, di Taboga Panama dengan perbandingan 1:0,53 (Glynn *et al.*, 1996).

Kerumitan karang di dalam reproduksi juga terlihat dalam mengelompokkan jenis karang dari kehadiran jenis kelamin dalam suatu populasi. Sebagian kecil jenis karang dalam suatu populasi memiliki koloni bertipe gonochorik dan hermaphrodit. Jenis karang ini dapat dibagi ke dalam tiga kelompok, yaitu: kelompok jantan, kelompok betina dan kelompok hermaphrodit. Jenis karang yang termasuk ke dalam kelompok ini meliputi *Agaricia agaricites*, *A. humilis* dan *Caryophyllia ambrosia*. Akan tetapi yang lebih rumit dijumpai pada karang *Astrangia danae*, *Heteropsammia cochlea*, *Porites cylindrica*, *P. porites* dan *Turbinaria mesenterina*. Kelompok karang ini termasuk gonochorik, namun sebagian kecil polip atau koloninya memiliki jenis kelamin hermaphrodit (lihat Harrison dan Wallace, 1990).

3.2. Model/sifat Reproduksi Karang

Pada organisme karang ditemukan bahwa spesies yang sama sekalipun bisa memiliki model/sifat reproduksi yang berbeda bila berada pada daerah geografis yang berlainan (Rinkevich dan Loya, 1979). Seperti *Goniastrea aspera* Verrill yang dijumpai di Great Barrier Reef Australia bersifat hermaphrodit dan bereproduksi secara *spawning* (pembuahan di luar tubuh induk) (Babcock, 1984; Harrison et al., 1984; Willis et al., 1985; Babcock et al., 1986). Akan tetapi Sakai (1997) menemukan bahwa karang *G. aspera* di Okinawa bersifat hermaphrodit dimana pembentukan larva (planula) terjadi di dalam tubuh induk (*brooding*) dan juga karang yang sama melakukan pembuahan di luar tubuh induk (*spawning*). Jadi karang *G. Aspera* yang di Okinawa bereproduksi secara *brooding* dan secara *spawning*.

Dilihat dari kedua tipe reproduksi ini, yakni yang bersifat *spawning* dan bersifat *brooding* menunjukkan siklus gametogenesis yang berbeda. Spesies karang yang melakukan *spawning* untuk pembuahan di dalam kolom air pada umumnya memiliki satu siklus gametogenesis, sebaliknya bagi kelompok spesies karang yang bersifat *brooding* memiliki banyak siklus gametogenesis setiap tahunnya (Harrison dan Wallace, 1990). Akan tetapi karena sebagian kecil karang pada daerah tertentu ditemukan juga jenis karang yang sama bereproduksi secara *brooding* dan *spawning* sekaligus, menyebabkan perbedaan siklus reproduksi pada karang semakin rumit. Tidak bisa dipisahkan pengelompokkan siklus gametogenesis ini hanya dari segi tempat terjadinya fertilisasi dan embriogenesis.

Sebagian besar karang melakukan breeding pada musim panas atau dipenghujung musim panas bagi karang yang berada di daerah yang memiliki empat musim. Namun sebagian kecil karang melakukan breeding pada musim dingin di beberapa daerah sebagai mana disebutkan di atas (Harriott, 1983a; Shlesinger dan Loya, 1985; Szmant, 1986). Meski banyak faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi breeding pada karang, akan tetapi secara umum disimpulkan bahwa fluktuasi temperatur air laut merupakan salah satu faktor lingkungan yang sangat menentukan dalam mengontrol siklus tahunan reproduksi pada hewan karang (Yonge, 1940; Szmant-Froelich et al., 1980; Kojis dan Quinn, 1982; Tranter et al., 1982; Van Moorsel, 1983; Fadlallah, 1985; Stoddart dan Black, 1985; Willis et al., 1985; Babcock et al., 1986; Harrison dan Wallace, 1990; Soong, 1991, Tioho, 2000, Thamrin, 2001). Untuk lebih jelas dibahas pada topik di bawah ini.

3.2.1. Karang Tipe *Brooding*

Karang tipe *brooding* hanya sebagian kecil bila dibandingkan total jenis karang, dan pengelompokkan karang ini mengacu pada tempat terjadinya embriogenesis. Yakni embriogenesis terjadi di dalam tubuh induk. Bukan mengacu pada tempat terjadinya fertilisasi, karena diantara karang yang bersifat *brooding* tidak seluruhnya memproduksi planula dengan proses seksual. Akan tetapi dijumpai juga karang tipe brooder ini memproduksi larva planulae melalui proses aseksual (lihat Stoddart, 1983; Aire dan Resing, 1986).

Perkembangan gamet berhubungan dengan temperatur air laut pada sebagian besar karang (Harrison *et al.*, 1986; Kojis, 1986; Szmant, 1986; Heward *et al.*, 1987; Richmond and Hunter, 1990). Jenis kelamin dan cara pembuahan setiap spesies karang juga beragam. Sebagian besar hewan karang bersifat hermaphrodit dan sebaliknya sebagian kecil bersifat gonochorik (gonokorik), dan pola siklus gamet karang menunjukkan perkembangan berbeda antara karang bertipe *spawning* dan karang bertipe *brooding*. Spesies karang bertipe *spawning* biasanya memiliki satu siklus gamet dalam setahun, sementara sebagian besar spesies karang bertipe *brooding* memiliki banyak siklus gamet dalam setahun (Harrison and Wallace, 1990).

A. Perkembangan Gamet Betina

Oosit karang berkembang di dalam lapisan mesoglea mesentery. Bentuk oosit pada dasarnya tidak selalu bulat. Pada sebagian besar karang tipe *brooding* memiliki perkembangan oosit (oogenesis) lebih dari satu siklus. Faktor yang menyebabkan perbedaan tipe dan jumlah siklus perkembangan gamet karang terutama disebabkan letak lintang habitat di bumi karang berada (lihat Rinkevich dan Loya, 1979, Stoddart and Black 1985, Harrison and Wallace, 1990, Glynn *et al.*, 1991, Ward 1992). Perkembangan oosit lebih dari satu siklus ditemukan seperti pada spesies tipe *brooding* *Acropora* (*Isopora*) *cuneata* di Kepulauan Heron (great Barrier Reef) yang memiliki dua siklus yang berurutan sepanjang tahun. Malahan *Acropora* (*Isopora*) *palifera* di dekat Lae Papua New Guinea memiliki 6 siklus oosit sepanjang tahun (Kojis, 1986a,b).

Kelompok karang yang termasuk kategori kedua dimana pada saat oogenesis sebagian oosit mengalami peningkatan ukuran sampai matang, dan sebagian oosit yang lain tidak mengalami peningkatan ukuran pada periode waktu tertentu (tidak berkembang). Salah satu jenis karang seperti ini ditemukan pada *Alveopora japonica* yang di

Amakusa dan *Pocillopora damicornis* yang di Okinawa. Stadium oosit karang *A. japonica* paling banyak ditemukan pada bulan Juni dan Juli, dan bila dikelompokkan dapat dibagi menjadi tiga stadium (stadium satu, stadium dua dan stadium tiga). Diperkirakan sebagian besar oosit mengalami peningkatan ukuran termasuk sebagian stadium satu. Akan tetapi pada 10 bulan lainnya stadium satu hampir tidak mengalami peningkatan ukuran.

Balanophyllia elegans diperkirakan memiliki tumpang tindih oogenesis (Fadlallah dan Pearse 1982), dan mirip dengan *Goniopora queenslandiae decima* (Yamazato *et al.*, 1975). Mereka memperkirakan bahwa *G. queenslandiae decima* memiliki dua siklus oosit dalam setahun, sementara Fadlallah dan Pearse (1982a) menyimpulkan bahwa *B. elegans* memerlukan paling kurang 2 tahun untuk satu siklus perkembangan oosit. Sementara untuk periode pendek oogenesis karang *Alveopora japonica* yang di Amakusa membutuhkan waktu sekitar 10 bulan dan untuk periode panjang membutuhkan waktu sekitar 16 bulan.

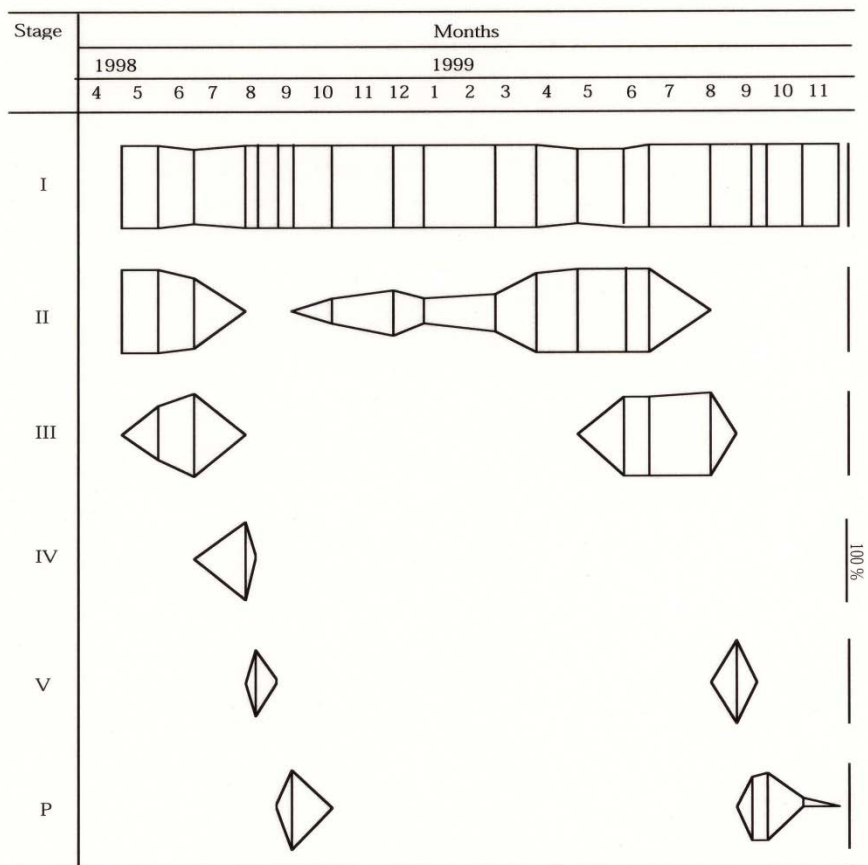
Pada spesies yang sama karang tipe brooding juga ditemukan variasi siklus oogenesis, dan kejadian ini terutama ditemukan diantara jenis karang yang sama bila berada pada daerah lintang bumi yang berbeda. Seperti *Acropora (Isopora) palifera* di dekat Lae Papua New Guinea memiliki 6 siklus oosit sepanjang tahun. Bertolak belakang dengan spesies yang sama (*A. palifera*) yang ditemukan di Kepulauan Heron yang hanya memiliki satu siklus perkembangan gamet setiap tahun (Kojis, 1986a,b). Antara karang *Alveopora japonica* yang berada di Teluk Tokyo Jepang memiliki siklus oogenesis kurang dari setahun. Muncul sekitar satu bulan setelah planulasi dan matang pada penghujung musim panas pada bulan September setiap tahunnya (Hari, 1995). Sementara spesies yang sama yang ditemukan di Amakusa Jepang oosit ditemukan sepanjang tahun, khususnya stadium satu oosit ditemukan setiap saat sepanjang tahun (Thamrin, 2001).

Karang *A. japonica* adalah spesies yang bersifat endemik pada daerah lintang tinggi Jepang dan Korea (Song, 1982; Veron, 1992, Nishihira and Veron, 1995), dan bersifat hermaphrodit *brooding* yang memiliki satu siklus gamet dalam setahun di Teluk Tokyo (Harii, 1995). Perairan ini sudah dekat ke perbatasan sebelah utara penyebarannya. Akan tetapi karang jenis yang sama yang berada di daerah perbatasan di sebelah selatan distribusinya, yakni di Amakusa juga masih dalam negara yang sama Jepang memiliki siklus oogenesis yang berbeda. Oogenesis *A. japonica* di Amakusa memiliki dua siklus oogenesis (Thamrin, 2001). Oosit stadium I ditemukan sepanjang tahun dan testis mulai terdeteksi

pada bulan Februari. Akan tetapi oosit dan testis matang secara bersamaan pada penghujung bulan Agustus. Jumlah Stadium oosit paling banyak dijumpai pada bulan Mei dan bulan Juni, kemudian dari bulan Juli sampai oosit matang hanya dijumpai dua stadium oosit. Satu Stadium oosit mengalami peningkatan ukuran dan satu stadium lagi yakni Stadium I memiliki diameter ukuran tetap (tidak berkembang) (Gambar 35).

Karang *A. japonica* diperkirakan memiliki dua model siklus perkembangan oosit, yaitu siklus periode pendek diantara bulan Mei menjelang Agustus dan siklus periode panjang yang diperkirakan mencapai 16 bulan dari Mei sampai bulan Agustus tahun berikutnya. Hal ini disebabkan oosit dalam posisi Stadium I seluruhnya hanya ditemukan pada bulan September (Gambar 34). Diduga waktu kemunculan oosit *A. japonica* berkemungkinan dimulai dalam bulan Februari pada setiap tahun bila berpedoman pada kepadatan oosit Stadium I paling rendah dalam mesenteri dijumpai antara bulan Oktober sampai bulan Februari. Karena stadium ini mulai meningkat kepadatannya pada bulan Maret. Dalam siklus pendek, diperkirakan membutuhkan sekitar 6 bulan untuk satu siklus oogenesis, yakni antara bulan Maret sampai bulan Agustus. Untuk oogenesis siklus yang panjang memakan waktu sekitar 18 bulan, mengingat oogenesis kelompok ini (Stadium I) tetap berada pada Stadium I selama oogenesis dan embriogenesis kelompok lain. Diperkirakan sebagian oosit Stadium I berkembang menjadi Stadium II antara bulan Oktober menjelang Maret dan matang pada bulan Agustus pada tahun yang sama, dan sisanya bertahan pada Stadium I sampai September dan kemudian berkembang menjelang musim panas untuk proses planulasi tahun berikutnya.

Stadium I oosit juga ditemukan sepanjang tahun pada karang *Pocillopora damicornis*. Memiliki kemiripan dengan oogenesis karang *A. japonica* dimana ditemukan satu stadium yang tidak mengalami perkembangan dan tetap pada Stadium I, dan yang satu Stadium lagi mengalami perkembangan dan mengalami perubahan stadium dari Stadium I sampai matang. Akan tetapi planulae karang *P. damicornis* yang dihasilkan bukan dari oosit yang telah matang, melainkan dari pertunasan organ di dalam tubuh yang membentuk planulae. Planulae yang dihasilkan bukan dari proses seksual, melainkan dari proses aseksual (Stoddart, 1983). Sementara oosit yang telah matang diserap kembali oleh tubuh induknya.

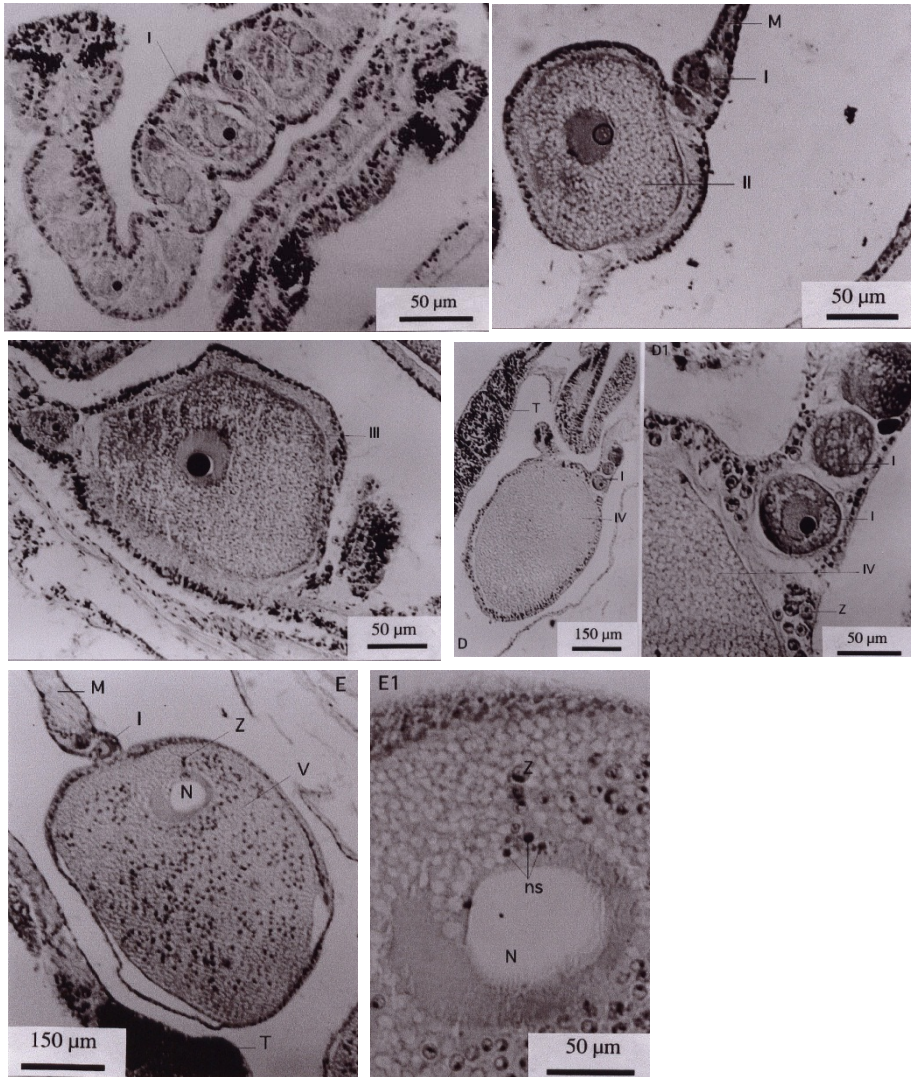


Gambar 35. Kehadiran setiap stadium oosit karang *Alveopora japonica* dari bulan April 1998-Bulan Nopember 1999. Posisi garis tegak setiap stadium menyatakan waktu pengambilan sampel dan panjang garis tersebut menunjukkan proporsi setiap stadium oosit dari total sampel, dan P = planula.

Bermacam-macam tipe perkembangan oosit yang terjadi pada karang. Beberapa spesies yang ditemukan memiliki stadium satu sepanjang tahun disamping karang *A. japonica* di Amakusa termasuk *Pocillopora damicornis* yang di Okinawa Jepang. Namun kedua jenis karang ini memiliki jenis kelamin yang berbeda. Karang *A. japonica* sepenuhnya kelompok karang bertipe hermaphrodit *brooding*, sementara karang *P. damicornis* memiliki polyp bertipe betina dan tipe hermaphrodit (Harriott, 1983; Permata *et al.*, 2000). Contoh yang lain dijumpai pada karang *Acropora cuneata*, dimana spesies ini memiliki dua tingkat gametogenesis dan mengeluarkan planulae pada waktu dan musim bersamaan (Kojis, 1986). Untuk melihat oogenesis yang selalu disertai kehadiran Stadium I bisa dilihat pada perkembangan oosit karang *Alveopora japonica* (Gambar 35).

Dalam perkembangan, jumlah oosit pada setiap karang diperkirakan menurun jumlahnya dengan peningkatan ukuran dari Stadium I sampai terakhir. Jumlah oosit terbanyak setiap mesentery atau setiap polyp dijumpai pada saat stadium I (saat oosit berukuran paling kecil), kemudian jumlahnya menurun dengan peningkatan ukurannya. Seperti karang *Alveopora japonica* pada saat Stadium I memiliki kepadatan yang sangat tinggi, dalam satu mesentery saja diperkirakan mencapai 20 buah (Lihat Gambar 35). Karang *A. japonica* memiliki 12 mesentery pada setiap polip dan jumlah maksimum setelah matang menurun dengan rata-rata 4 buah oosit serta jumlah maksimum mesentery berisi oosit 5 buah. Sedangkan jumlah maksimum testis ditemukan mengisi empat mesentery pada setiap polip. Namun pada umumnya hanya 7 mesentery yang berisi gamet dalam sebuah polyp, dan 4 mesentery ditempati oosit dan 3 mesentery ditempati oleh testis.

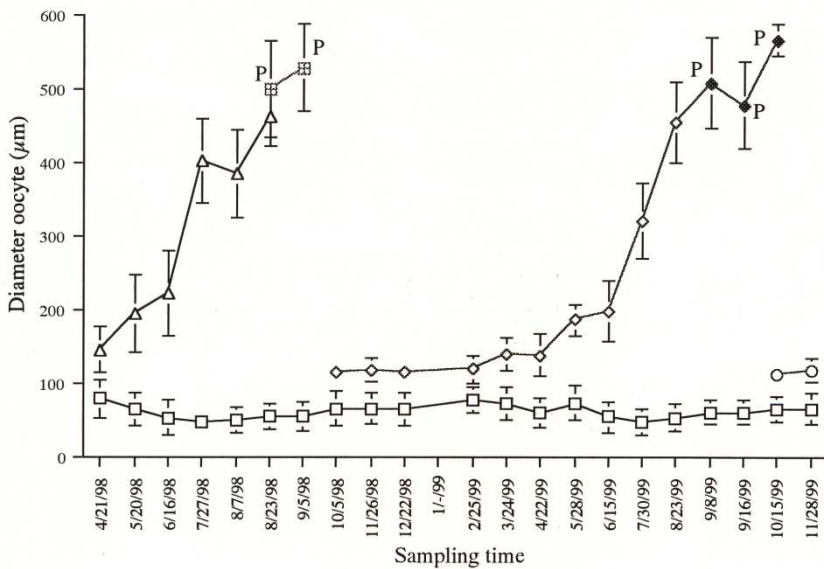
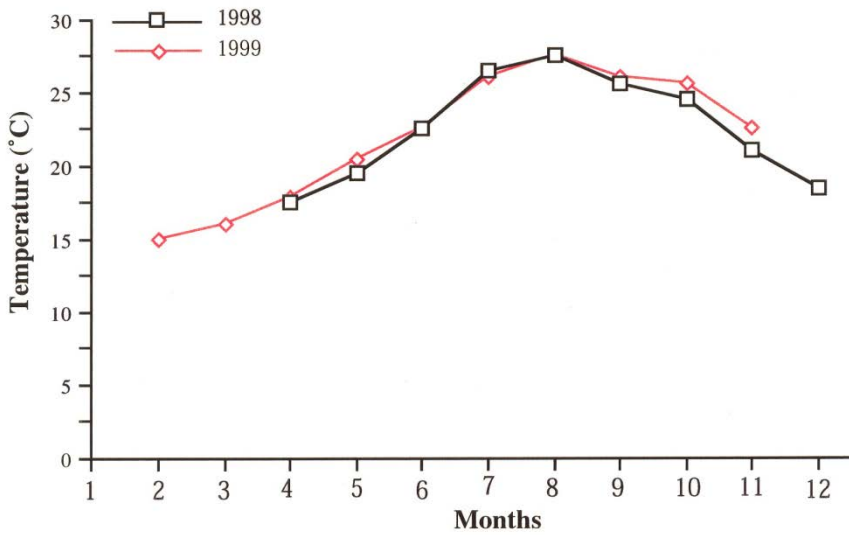
Harii (1995) menyimpulkan bahwa jumlah oosit maksimum diperkirakan mencapai 24 buah bila ke enam pasang mesentery diisi oleh oosit dan testis, serta bila rata-rata oosit setiap mesentery berjumlah 4 buah di Teluk Tokyo. Namun jenis karang yang sama di Amakusa pada negara yang sama, Jepang diperkirakan hanya memiliki 16 oosit. Bila oogenesis dipisahkan antara yang mengalami perubahan ukuran dengan yang tetap berada pada stadium I dapat digambarkan perkembangan oosit dan kehadiran planulae pada karang *Alveopora japonica* seperti pada Gambar 36 berikut.



Gambar 36. 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).

Sebagian besar penelitian menyimpulkan bahwa temperatur adalah faktor utama yang mengontrol perkembangan gamet pada karang scleractinia (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 peningkatan temperatur air laut (Gambar 33). 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.

Stadium I oosit ditemukan sepanjang tahun diperkirakan berhubungan dengan terbatasnya ruangan di dalam coelenteron dan terbatasnya persediaan nutrisi untuk pertumbuhan oosit. Sehingga pada jenis karang tertentu seperti karang *Stylophora pistillata* dan *Cyphastrea ecellina* memiliki gamet atau planula menutupi semua ruang yang berada di dalam polyp (Rinkevich and Loya, 1979a; Wright, 1986). Pada karang *A. japonica* menunjukkan kepadatan oosit yang tinggi dalam setiap mesenteri, dan polyp-polyp spesies karang ini memiliki 12 mesenteri yang semuanya diisi oleh gamet (Harii, 1995). Semua gamet ini, terutama oositnya mungkin tidak dapat matang secara serentak karena terbatasnya ruang di dalam coelenteron yang menyebabkan sebagian oosit tidak mampu berkembang menjelang musim panas berikutnya.



Gambar 37. Fluktuasi temperatur dan rata-rata peningkatang ukuran diameter oosit karang *A. japonica* yang ditemukan di Amakusa Jepang. P, Planulae dan \pm SD (Thamrin, 2001).

Beberapa jenis karang melakukan penyerapan oosit selama oogenesis. Penyerapan kembali oosit selama perkembangan oosit diperkirakan dilakukan untuk menyediakan nutrisi pada oosit tersisa pada beberapa spesies karang. Kojis (1986) menyatakan bahwa planula yang diproduksi karang brooder menerima nutrisi dari induknya dengan mentransfernya melalui mesenteris. Pada karang *A. japonica* dijumpai dua stadium oosit berbeda antara Agustus dan September (Stadium I dan III, I dan IV, atau I dan V). Oosit Stadium I tidak mengalami perubahan ukuran selama periode ini, sementara ukuran oosit stadium yang lain berkembang sampai matang, kemudian membentuk planula secara seksual (Thamrin, 2001). Dalam arti kata, sebagian oosit karang *A. japonica* menerima nutrisi dari induknya melalui mesenteris untuk perkembangan oosit. Akan tetapi, oosit yang tetap berukuran kecil (Stadium I) berkemungkinan tidak menerima cukup nutrisi yang menyebabkan tidak mengalami perubahan ukuran.

Kondisi perkembangan gamet pada karang *Alveopora japonica* juga ditemukan tidak konsisten antara spesies karang yang sama antara yang dijumpai di Teluk Tokyo Jepang dan di Perairan Amakusa Jepang. Pada karang *A. japonica* yang ditemukan di Perairan Amakusa, zooxanthellae masuk dalam siklus oogenesis saat telur telah matang (Thamrin, 2001). Sementara untuk spesies yang sama di Teluk Tokyo, oosit tidak memiliki zooxanthellae (Harii, 1995). Oosit Stadium V karang *A. japonica* di Amakusa memiliki zooxanthella di dalam telur yang berasal dari induknya ditransfer melalui lapisan endodermis mesenteris. Perpindahan zooxanthellae dari induk kepada keturunannya bisa dipantau dari kehadiran zooxanthellae yang semula pada lapisan endodermis sangat padat menjadi menghilang setelah oosit dipenuhi zooxanthellae (lihat Thamrin, 2001).

Keadaan yang sama ditemukan antara karang *Pocillophora damicornis* yang berada di lintang lebih rendah di Okinawa Jepang dengan yang berada posisi lintang lebih tinggi di Amakusa pada negara yang sama. Sebagaimana yang disebutkan sebelumnya, karang *Pocillophora damicornis* yang di Okinawa juga memiliki oosit berukuran kecil (Stadium I) sepanjang tahun (Permata et al., 2000). Akan tetapi tidak demikian halnya dengan jenis karang yang sama yang dijumpai di Amakusa (Tioho, 2000). Kemudian planula karang *P. damicornis* yang di Australia diproduksi secara aseksual, walaupun gametogenesis karang ini juga memiliki kemiripan dengan jenis karang lain pada umumnya (Stoddart, 1983).

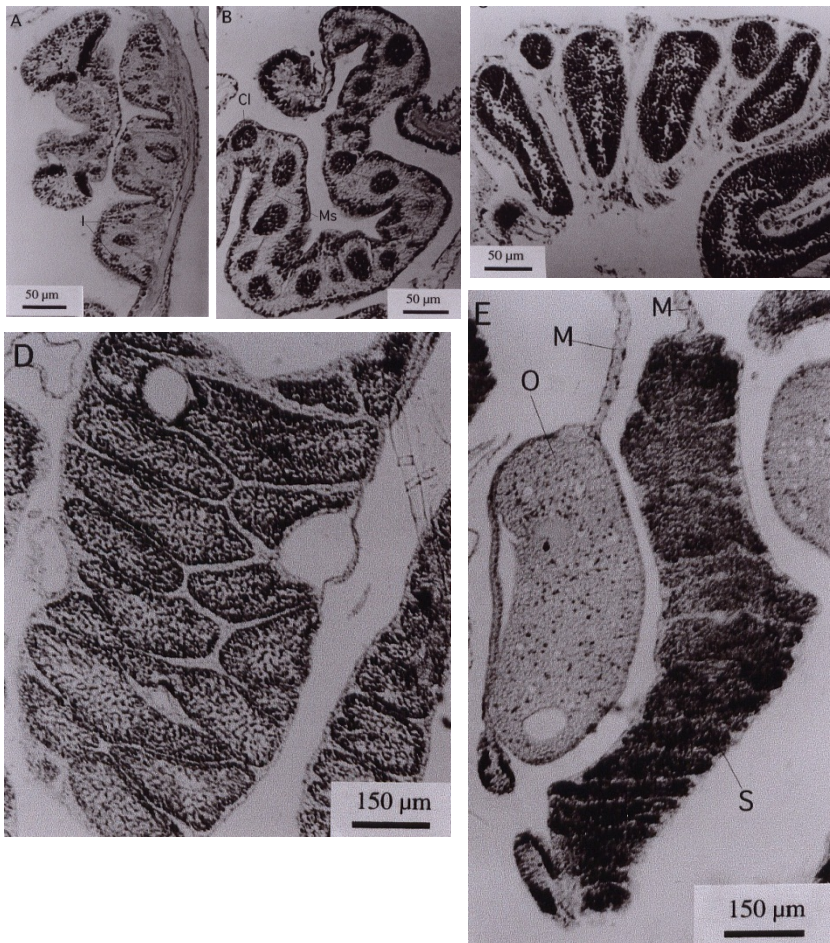
Pada umumnya gametogenesis hewan karang memiliki hubungan dengan temperatur. Namun beberapa jenis karang tidak memiliki

hubungan antara gametogenesis dengan fluktuasi temperatur. Kelompok karang yang memiliki gametogenesis seperti ini mengandung oosit yang sudah matang dan planulae dilepaskan sepanjang tahun. Sebagai contoh ditemukan pada karang scleractinia *Balanophyllia elegans* yang hidup di daerah lintang tinggi (36°37,4'N; 121°54'W) USA. Karang *B. elegans* memiliki oosit matang dan larva sepanjang tahun walau karang ini hidup pada daerah bermusim empat (Fadlallah and Pearse, 1982a).

Koloni karang *Acropora cuneata* yang ditemukan di Kepulauan Heron *Great Barrier Reef* memiliki dua siklus gametogenesis dalam setahun. Berbeda dengan spesies karang dari genus yang sama *A. palifera* yang ditemukan di daerah yang sama hanya memiliki siklus gametogenesis satu kali dalam setahun. Siklus oogenesis pertama mulai muncul pada bulan Januari dan yang kedua muncul bulan Maret. Akan tetapi keduanya matang pada waktu yang sama pada bulan Agustus. Sementara jenis planula dilepaskan dari bulan Mei sampai awal Januari. Sementara jenis karang dari genus yang sama *A. palifera* mulai bulan Juni/Juli, tetapi tidak mengalami peningkatan ukuran menjelang pertengahan bulan September. Kemudian baru mengalami pertumbuhan dan matang pada bulan Nopember.

B. Perkembangan Gamet Jantan (spermatogenesis)

Testis berkembang di dalam mesoglea mesentery (mesentery). Perkembangan testis pada spesies yang bertipe hermaphrodit secara simultan ada yang berkembang pada mesentery terpisah dan ada berkembang pada mesentery 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 38 sebelumnya.

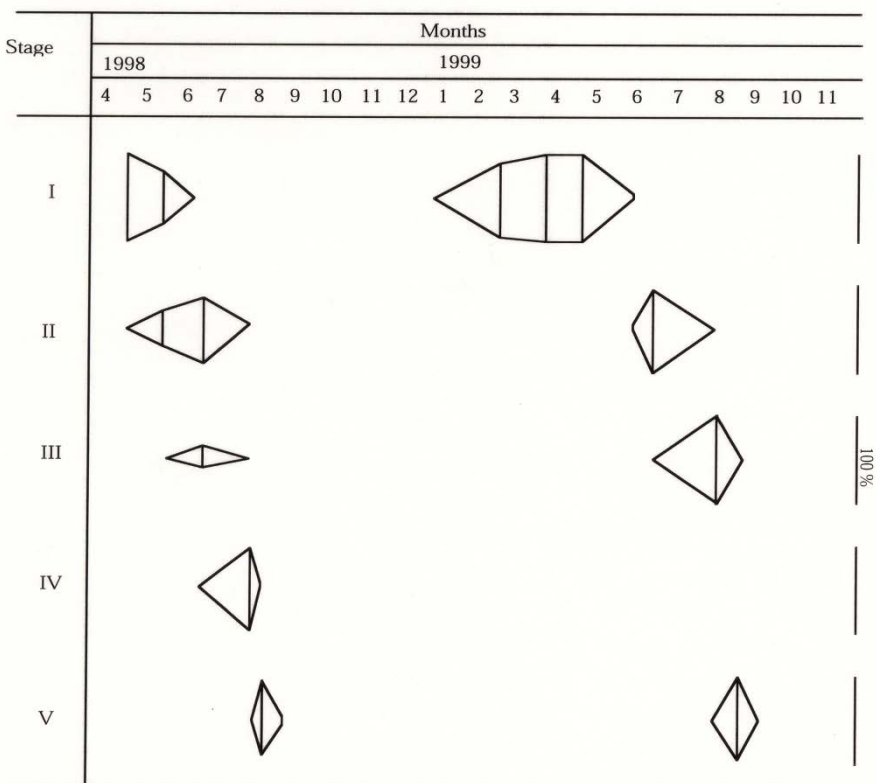


Gambar 38. Histologi spermatogenesis karang *Alveopora japonica* dari hasil pengamatan melalui preparat. A = Stadium I testis; B = Stadium II; C = Stadium III testis; D = Stadium IV testis; dan E = Stadium V testis (sperma) bersama oosit telah matang dalam polyp yang sama. M = mesentery; S = sperma; dan O = oosit (Thamrin, 2001).

Spermatogenesis memiliki siklus yang jelas dan lebih simpel dibandingkan dengan siklus oogenesis, dan selalu memiliki periode siklus yang lebih pendek dibandingkan oogenesis. Sedangkan untuk perkembangan siklus testis ini bisa dilihat pada Gambar 37 dan 38. 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). Spermatosit membentuk beberapa spermatid di dalam mesenter. 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.

Berdasarkan pembagian Stadium testis karang *A. japonica* dapat dilihat pada Gambar 38 di atas. Siklus perkembangan testis menunjukkan pola yang jelas, memiliki satu siklus setiap tahun, dimana testis muncul bulan Februari dan matang bersamaan dengan matang oosit pada bulan Agustus. Walau testis muncul 4 bulan setelah planulasi, tetapi perkembangannya sinkron dengan oogenesis dari Stadium III sampai Stadium V dalam koloni yang sama, akan tetapi berbeda diantara koloni yang berlainan.

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.



Gambar 39. Proporsi kehadiran setiap stadium testis karang scleractinia *Alveopora japonica* di Amakusa Jepang. Posisi garis tegak setiap stadium menyatakan waktu pengambilan sampel dan panjang garis tersebut menunjukkan proporsi setiap stadium oosit dari total sampel, dan P = planula (Thamrin, 2001).

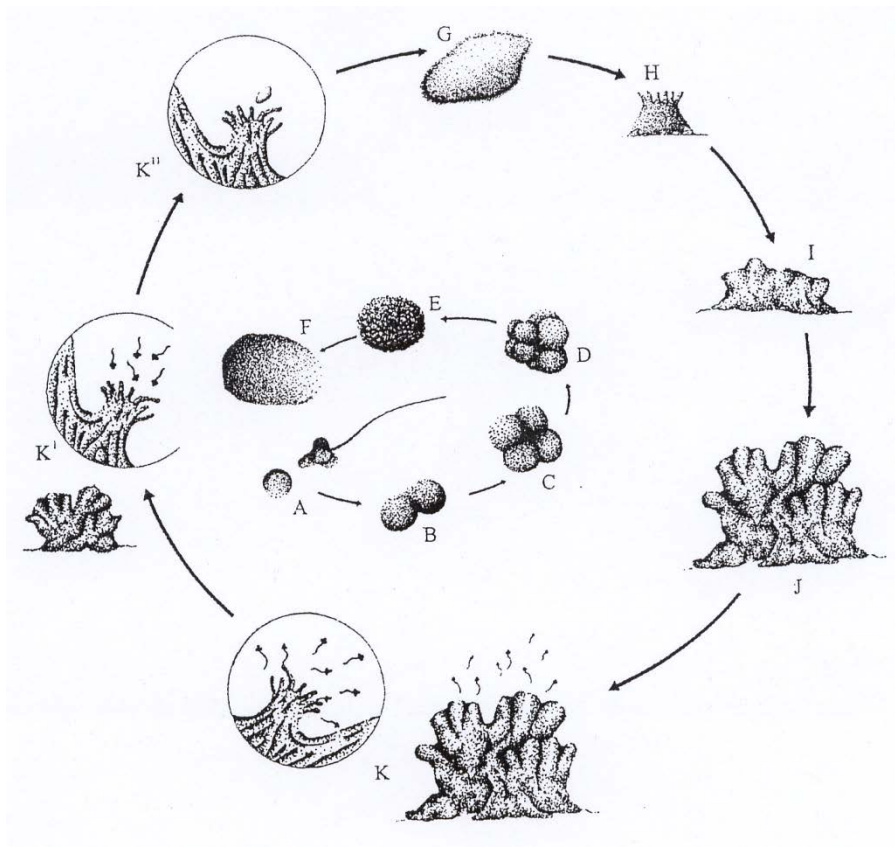
A. Fertlisasi di Dalam Tubuh (fertilisasi internal)

Telur yang dihasilkan tidak dilepaskan ke kolom air, kecuali sperma. Bagi kelompok karang tipe *brooding* yang melakukan pembuahan silang (*cross fertilization*), sperma dikeluarkan ke dalam air dan berenang mencari 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 terjadi baik pada tipe karang hermaprodit, maupun dari jenis karang tipe gonokorik. 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* adalah karang *Alveopora japonica*. Karang *A. Japonica* memiliki gametogenesis yang 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 39. Pembuahan terjadi di dalam tubuh induk dan zigot berkembang menjadi larva planula di dalam polyp, kemudian setelah planula matang dilepaskan dari tubuh induknya.

Siklus karang tipe *brooding* secara sederhana dapat diterangkan sebagai berikut (Gambar 39). K adalah karang dewasa yang sedang mengeluarkan spermatozoa, dan kemudian spermatozoa akan berenang dan masuk kedalam 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).



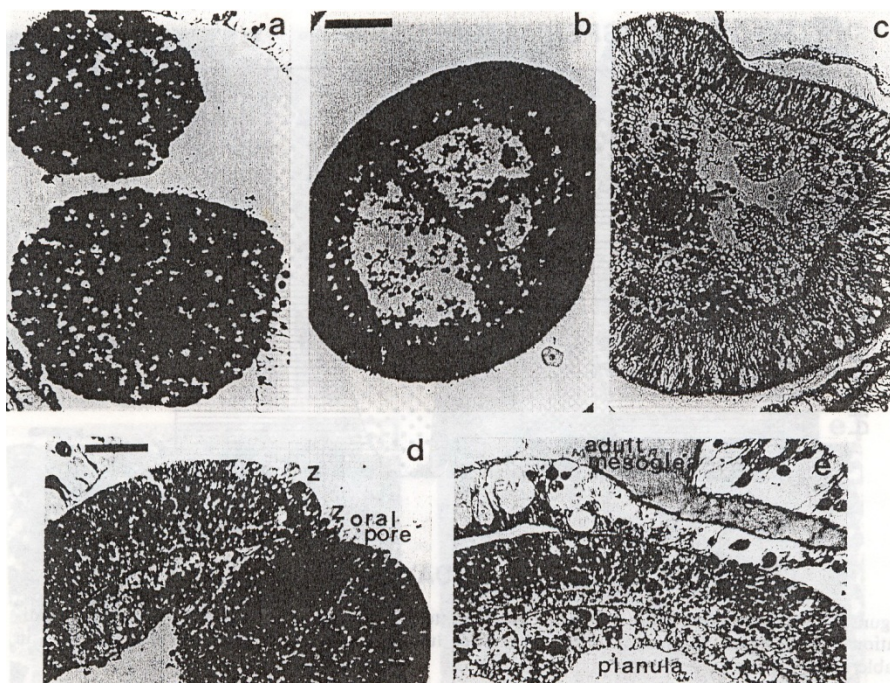
Gambar 40. Siklus hidup dan embriogenesis karang tipe *brooding* (Wallace, 2000).

Fertilisasi oosit oleh sperma sulit dideteksi pada karang tipe *brooding*. 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*.

D. Embriogenesis karang tipe *brooding*

Fertilisasi dan embriogenesis pada karang bertipe *brooding* terjadi di dalam tubuh induk, kemudian disusul terbentuk zigot dan embriogenesis (Gambar 41). 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 setiap karang bertipe *brooding* tidak memiliki cara dan tempat yang sama. Pada sebagian karang embrio berkembang di dalam mesoglea dan dibungkus oleh lapisan endodermis (gastrodermis) yang berada pada mesentery, dimana terjadi gametogenesis sebelumnya. Jenis karang yang mengalami embriogenesis seperti ini dijumpai pada *Acropora cuneata* dan *A. palifera* (Kojis, 1986). Disamping itu embriogenesis juga dijumpai 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 41. 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 tissu larva. M = mesentery; bar 50 μm untuk a-c, dan 30 μm untuk d dan e (Szmant-Froelich et al., 1985).

Szmant-Froelich et al. (1985) membagi embriogenesis menjadi 4 stadium. Pertama 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 40a). 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.

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 (Gambar 5b). 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. Kemudian zooxanthellae mulai masuk ke dalam larva melalui lapisan ektoderem di dekat aral pore (Gambar 5d). Ujuang planula selalu ditemukan berbatasan dengan tisu lapisan endoderem induk dimana selalu terkonsentrasi zooxanthellae. Proses transfer zooxanthellae dari sel endodermis induk menuju larva terlihat pada Gambar 5e.

Stadium III ditandai dengan kepadatan zooxanthellae yang tinggi 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 5e). Jumlah mesentery terus meningkat dan biasanya 6 dimana 3 pasang mesentery yang komplek 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.

E. Pelepasan Planulae Karang Tipe *Brooding*

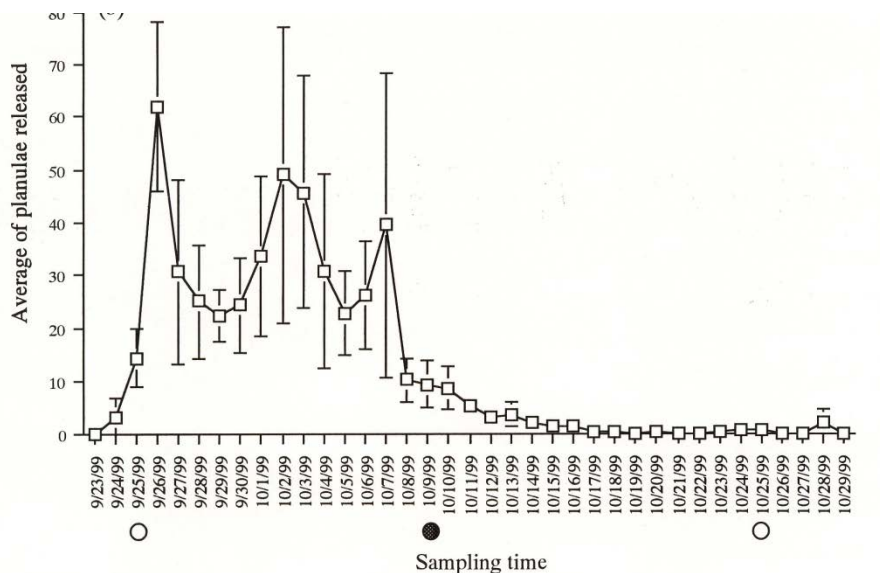
Pada awal perkembangan ilmu di bidang karang sampai di penghujung abat ke 19 dipercaya bahwa *brooding* merupakan satu-satunya mode dari reproduksi karang. Planulasi karang pada umumnya terjadi sepanjang tahun di daerah tropis, dan di daerah subtropis pada umumnya terjadi pada musim panas. Seperti planula *Seriatopora hystrix* Dana, dikeluarkan setiap bulan sepanjang tahun yang 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*.

Waktu musim pelepasan planula (pengeluaran planula) dan rentang periode breeding pada karang bervariasi bila dihubungkan dengan mode reproduksi dan letak lintang di bumi (Harrison dan Wallace,

1990). Spesies bertipe spawning melakukan breeding dalam periode waktu yang pendek, sebaliknya spesies bertipe brooding condong melakukan planulasi dengan rentang periode waktu yang lebih panjang atau sepanjang tahun. Pada karang bertipe 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 (Gambar 42).

Reproduksi 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).

Karang *P. damicornis* yang dijumpai di Hawaii ditemukan dua tipe bentuk pertumbuhan yang dikelompokkan menjadi tipe B dan tipe Y. Sementara yang berada di Enewetak hanya satu tipe, namun diyakini baik yang berada di Enewetak dan kedua tipe yang berada di Hawaii merupakan spesies yang sama. Fase dan puncak pelepasan planulae karang *P. damicornis* yang di Enewetak dan kedua tipe 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 planula karang sama yang berada di Palau (Atoda, 1947a). 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).



Gambar 42. Rata-rata fluktuasi dan periode pelepasan planulae *Alveopora japonica* Eguchi 1968; Lingkaran kosong = bulan purnama; lingkaran hitam = bulan mati; bar = \pm SD (Thamrin, 2001).

Berdasarkan waktu pelepasan planula karang tipe brooding juga dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu: 1) malam hari, 2) siang hari, dan 3) 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.

3.2.2. 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).

Perkembangan gamet karang tipe spawning juga 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.

A. Perkembangan Gamet Betina

Karang tipe spawning pada 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.

Beragam spesies karang yang melakukan 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. Spesies karang dari kelompok *Acropora* mulai dapat terlihat oositnya melalui pemotongan sampel pada penghujung musim panas, yaitu pada bulan Januari dan Februari. Sementara untuk spesies lainnya, yaitu *Galaxea fascicularis*, *Goniastrea aspera*, *G. favulus* dan *Platygyra sinensis* mulai terlihat dengan nyata pada pertengahan musim semi, yakni antara bulan Juni dan Juli.

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 perkembangan oosit 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*.

Perkembangan gamet yang tidak sinkron diantara koloni berbeda pada spesies yang sama biasanya terjadi mulai dari kemunculan oosit yang juga tidak sama. Waktu kemunculan oosit yang 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 fava* pada 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 tidak sama. Karang *L. corymbosa* membutuhkan waktu satu siklus oosit antara 8 bulan (April-Nopember) sampai 12 bulan (Januari-Desember). Sementara untuk karang *F. fava* membutuhkan satu siklus oosit berkisar hanya antara 4 bulan (Agustus-Nopember) sampai 7 bulan (Juni-Desember).

Jenis 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. fava* yang ditemukan pada perairan tersebut. Ke-empat spesies ini melakukan *spawning* pada bulan November atau Desember setiap tahunnya.

B. Perkembangan Gamet jantan

Perkembangan gamet jantan lebih jelas dan membutuhkan waktu jauh lebih pendek dibandingkan dengan gamet betina. Keadaan seperti ini juga mirip dengan yang terjadi pada karang tipe brooding yang membutuhkan waktu spermatogenesis lebih pendek dari oogenesis. 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).

Sementara 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.

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

Jenis 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.

C. Spawning (Pelepasan gamet ke dalam air)

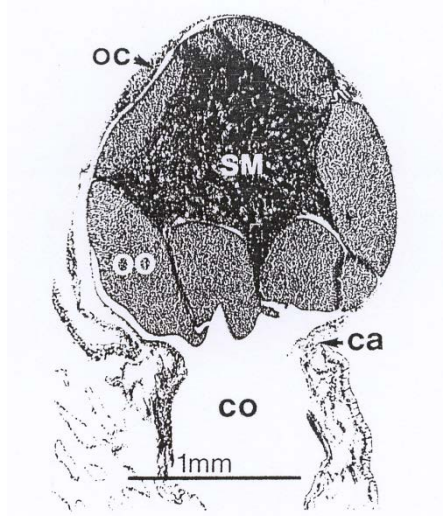
Spawning mengacu pada pelepasan gamet baik gamet jantan maupun gamet betina dari dalam tubuh induk untuk melakukan fertilisasi dan embriogenesis di dalam air laut. Pada organisme karang, mekanisasi pelepasan gamet dapat berupa gumpalan oosit, gumpalan sperma-oosit, atau telur dan sperma secara terpisah. 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 42. Pada karang yang hanya mengeluarkan gumpalan telur sebagai contoh ditemukan pada karang spesies *Montastrea valenciennesi* (Gambar 43). 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 44). Sementara sperma dikeluarkan menyerupai lembaran matrik yang kemungkinan disertai dengan mucus atau sperma-mucus complex (Gambar 45). 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.

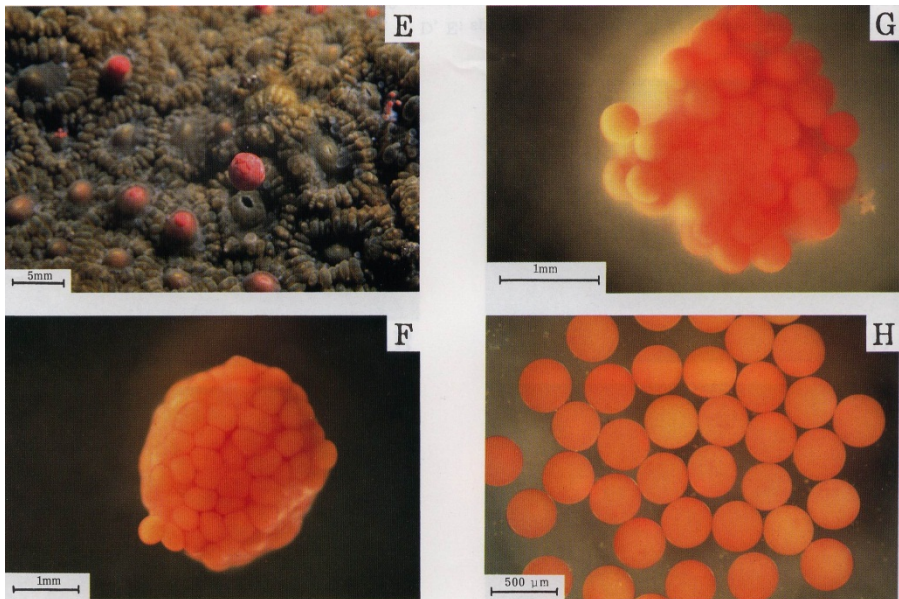
Spesies karang yang melepaskan gamet dalam bentuk bundelan dilakukan pada sebagian besar karang tipe spawning. Tingkah laku spawning dibagi menjadi 5 stadium oleh Van Veghel (1994) pada pelepasan gamet *Montastrea annularis*. Ke-empat stadium tersebut adalah sebagai berikut:

1. Setting stage (Babcock et al., 1986): yaitu pada saat bundel telur-sperma terlihat dengan jelas di bawah oral disc.
2. Birth stage: adalah ketika bundel telur-sperma terjepit pada mulut polyp.
3. Gliding stage: adalah bundelan telur-sperma bergerak-gerak di dekat koloni induk.
4. Upward stage: adalah ketika bundelan telur-sperma bergerak ke atas.
5. Bursting stage: bundel telur-sperma bercampur aduk di permukaan air dan terpisah-pisah.

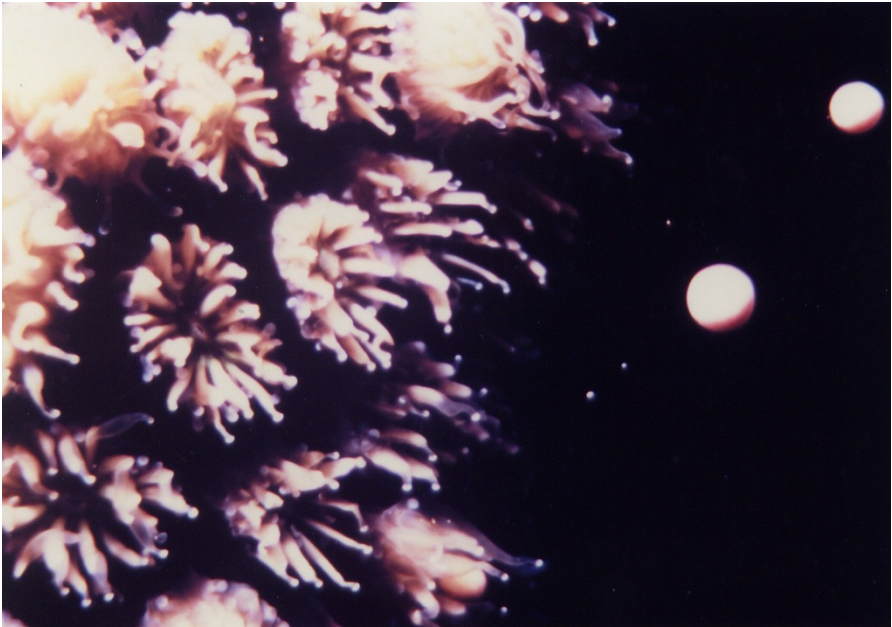
Telur yang diproduksi pada karang tipe spawning dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu yang mengapung di permukaan perairan dan tenggelam serta melekat di dasar perairan. Sebagai mana yang disebutkan di atas bahwa sebagian besar karang melepaskan gamet dalam bentuk bundelan (Gambar 43). Bundelan gamet yang dilepaskan karang umumnya kemudian mengapung di permukaan air. 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 43. Bundel gamet jantan dan betina karang *Acropora* sp. (Wallace, 2000).

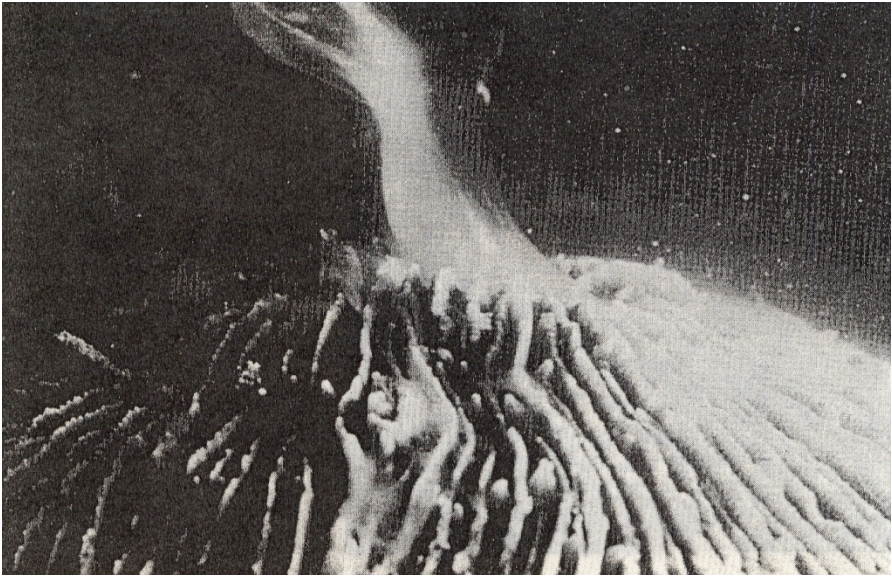


Gambar 44. Bundel oosit dikeluarkan karang *Montastrea valenciennesi* A) Oosit dalam bentuk bundel sedang dikeluarkan, B) Bundel oosit dilihat dari dekat, C) Masing-masing telur mulai memisahkan diri dari bundel, dan D) Oosit satu sama lainnya telah memisahkan diri (Foto oleh S. Nojima)



Gambar 45. Spesies karang *Galaxea facicularis* sedang melepaskan telur secara satu persatu (Foto oleh S. Nojima).

Mass spawning 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 secara sinkron terjadi 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. Mass spawning pada karang bisa dilihat seperti pada Gambar 46 di bawah ini.



Gambar 46. Karang mushroom *Fungia fungites* sedang mengeluarkan sperma yang berwarna buram (Harrison dan Wallece 1990).

Mass spawning organisme karang yang terjadi di daerah terumbu karang Curacao juga disertai organisme benthik 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. Sementara dari kelompok karang scleractinia yang ikut serta dalam melakukan spawning adalah *Acropora palmata*, *Diploria clivosa*, *Montastrea annularis* dan *M. cavernosa*. Spawning pada karang bisa dilihat pada Gambar 47 berikut.

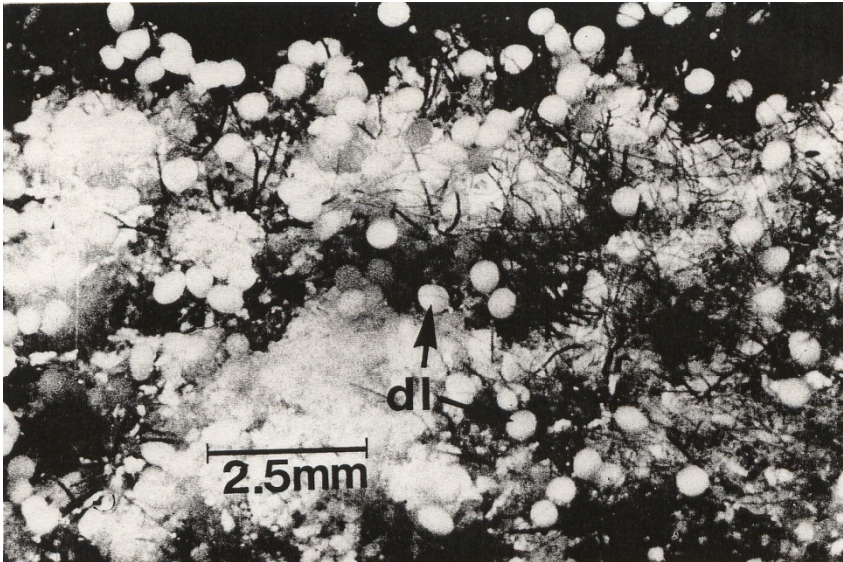


Gambar 47. Karang *Acropora* sedang melakukan spawning (Foto oleh S. Nojima).

Sebagian besar karang tipe spawning memproduksi telur yang mengapung di permukaan air laut setelah dikeluarkan induknya. Sebaliknya yang tenggelam dan melekat pada substrat termasuk pada tumbuhan di dasar perairan ditemukan hanya dalam jumlah spesies yang terbatas. Karang yang memproduksi telur yang memiliki sifat seperti ini dijumpai pada karang *Montastrea annularis* di Perairan Flower Garden dan *Goniastrea favulus* yang ditemukan di Pasifik (Gambar 48), serta *Pocillopora verrucosa* dan *P. eydouxi* di Sesoko Okinawa Jepang (juga di Pasifik).

Spawning pada 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 jenis

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 07:00 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).



Gambar 48. Telur-telur karang *Goniastrea favulus* melakat pada substrat dasar setelah dilepaskan induknya ke dalam air (Kojis dan Quinn, 1981).

Untuk karang yang melakukan spawning pada sore hari diantaranya ditemukan pada spesies *Caryophyllia smithi*, *Galaxea fascicularis* dan *Goniastrea favulus* serta *Fungia scutaria* di Hawaii, yang 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.

Pada umumnya hewan karang melepaskan telur dalam bentuk bundalan pada saat spawning. Namun beberapa spesies karang juga ditemukan mengeluarkan telur pada saat spawning secara satu-persatu atau tidak dalam bentuk bundelan (tidak dalam bentuk gumpalan). Pada umumnya telur yang dilepaskan bersifat agak negatif untuk mengapung. Beberapa spesies karang yang melepaskan telur dalam bentuk terpisah seperti pada kelompok karang gonokorik *Paracyathus stearnsii* (Fadlallah dan Pear, 1982). Gamet dikeluarkan secara terpisah baik diantara telur pada induk betina maupun sperma yang berasal dari kelompok induk jantan.

Spawning bagi karang yang melakukan pembuahan di luar tubuh induk memiliki periode waktu spawning yang pendek, 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. Akan tetapi pada daerah sub-tropis pada umumnya karang melepaskan planula hanya terjadi pada musim panas.

Hewan karang dalam melakukan spawning atau planulasi dapat dibagi menjadi dua berdasarkan sifatnya, yaitu: 1) melakukan spawning atau planulasi secara bersamaan dengan spesies lain (mass spawning), dan 2) melakukan secara sendirian tanpa bersamaan dengan spesies lain.

Dalam melakukan spawning dan planulasi hewan karang memiliki kecenderungan terjadi secara bersamaan dengan spesies lain dalam jumlah besar (mass spawning) mengikuti bulan purnama 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 kecenderungan melakukan spawning pada waktu yang berbeda. Namun beberapa spesies masih ditemukan melakukan spawning secara bersamaan.

Beberapa faktor yang mempengaruhi waktu spawning atau planulasi karang diantaranya termasuk cahaya (bulan), siklus pasang dan temperatur air laut.

Waktu terjadinya spawning atau pelepasan planula (planulasi) selalu dihubungkan dengan cahaya bulan, siklus pasang, atau faktor yang berhubungan (Harrison dan Wallace, 1990). 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 terhadap hewan karang yang berada di Perairan Taiwan. Pengaruh temperatur air Perairan Taiwan menyebabkan perbedaan waktu spawning mencapai dua bulan lebih dahulu pada karang yang berada disebelah selatan dibandingkan dengan yang berada di sebelah utara Taiwan.

Peristiwa spawning juga terjadi pada 8 sampai 9 hari setelah bulan purnama di Barat Australia, walaupun terjadi pada bulan Maret dan April pada musim gugur mengikuti masa maksimum peningkatan temperatur air laut (Harrison dan Wallace, 1990). Untuk lebih jelas mengenai waktu dan periode pelepasan planula dan gamet (spawning) dapat dilihat pada halaman 83.

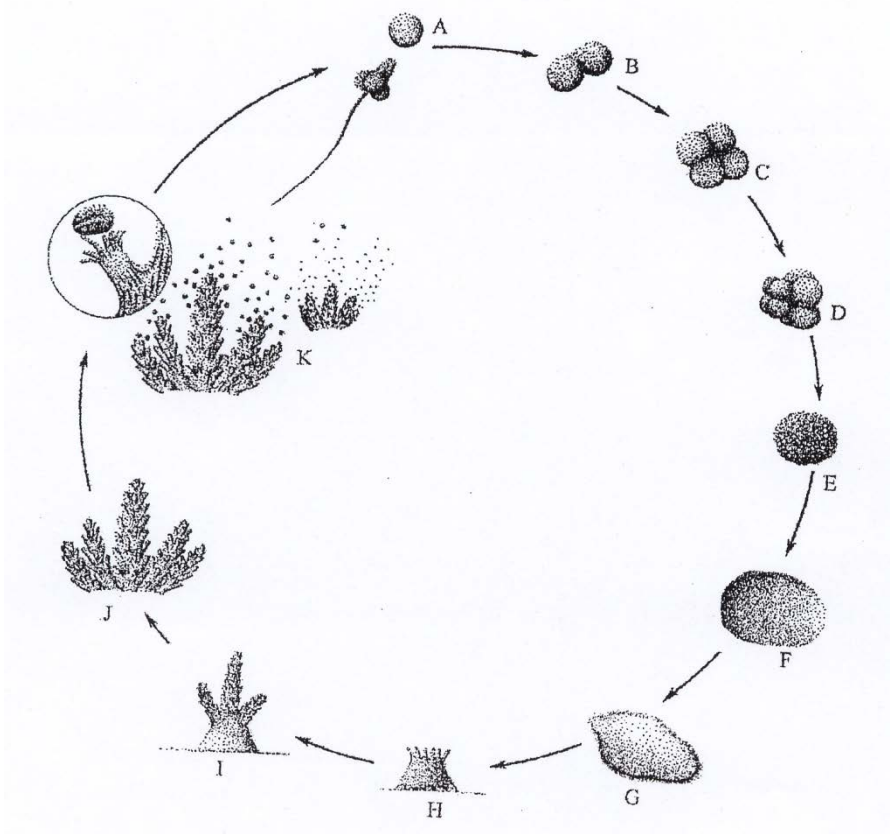
Batas paling selatan penyebaran karang di sebelah barat Australia ditemukan di Kepulauan Houtman Abrolhos diantara 28-29°LU. Spawning organisme karang yang berada di perairan ini (Houtman Abrolhos) dan di daerah tropis yang terdapat di sebelah barat Australia terjadi pada waktu bersamaan (Babcock et al. (1994). Mass spawning terjadi pada malam ke sembilan sampai malam ke sebelas setelah bulan purnama bertepatan pada tanggal 24 sampai malam ke 25 Maret 1987. Dari ke tiga malam ini, puncak spawning terjadi pada malam ke sepuluh setelah bulan purnama. Temperatur air laut pada saat spawning berkisar antara 21,5-24,5°C, dengan rata-rata 23°C. Peristiwa ini sangat berbeda dengan yang dijumpai di Perairan Taiwan, dimana sebagian besar karang melakukan spawning pada waktu berbeda antara karang yang berada di sebelah utara dan disebelah selatan negara tersebut. Perbedaan waktu spawning berkisar antara satu sampai dua bulan, dimana disebelah selatan lebih dahulu melakukan spawning dibandingkan karang yang berada di sebelah utara Taiwan.

Periode spawning sedikit berbeda antara karang yang berada di Great Barrier Reef Australia dengan yang dijumpai di Perairan Taiwan. Organisme karang di Teluk Nanwan Taiwan melakukan spawning pada bulan Mei, Juni dan September 1991. Sebagian kecil karang melakukan spawning pada bulan Juni dan September, dan sebaliknya

sebagian besar pada bulan Mei. Pada umumnya karang melakukan spawning dalam periode waktu satu bulan. Akan tetapi beberapa spesies dari kelompok policeous seperti *Mycedium elephantotus* dan *Echinophyllia aspera* melakukan spawning lebih dari satu bulan dengan perpanjangan waktu dalam dua atau tiga bulan (Dai dan Fan, 1992).

D. Fertilisasi Karang Tipe Spawning

Karang bertipe spawner 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 48.



Gambar 49. Siklus hidup karang bertipe spawning (Wallace, 2000).

Siklus hidup karang tipe spawning secara sederhana dapat digambarkan sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 48. Proses dan siklus dari fertilisasi (A) sampai terbentuk planula (F) karang tipe spawning ini sama dengan proses 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 22H menunjukkan planula menempel dan membentuk polyp muda dan skeletogenesis dimulai. Dari polyp muda berkembang dan percabangan mulai terbentuk (I), dan dengan perkebangkan berikut berubah kebalik menjadi karang dewasa yang siap melakukan proses reproduksi kembali (K).

Pada karang tipe spawning, pelepasan gamet pada umumnya dikeluarkan dalam bentuk bundelan sebagaimana diterangkan di atas. 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).

Tingkat keberhasilan fertilisasi telur 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).

Proses fertilisasi sangat sensitive bagi karang tipe *spawning* dimana pembuahan terjadi di dalam kolom air, dan 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 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 hermaprodit, terutama untuk spesies yang memiliki siklus dan waktu kematangan gamet tidak sama diantara koloni satu dengan yang lainnya. Termasuk jenis karang yang bersifat hermaprodit yang memiliki sifat dimana oosit melekat di dasar perairan. Seperti yang dijumpai pada karang *Goniastrea favulus* (Kojis dan Quinn, 1981). Termasuk untuk karang tipe hermaprodit *spawning* yang melakukan *spawning* secara sinkron diperkirakan juga bisa terjadi karena gamet pada umumnya karang bersifat mengapung di permukaan air sampai terbentuk planula.

D. Embriogenesis Karang Tipe *Spawning*

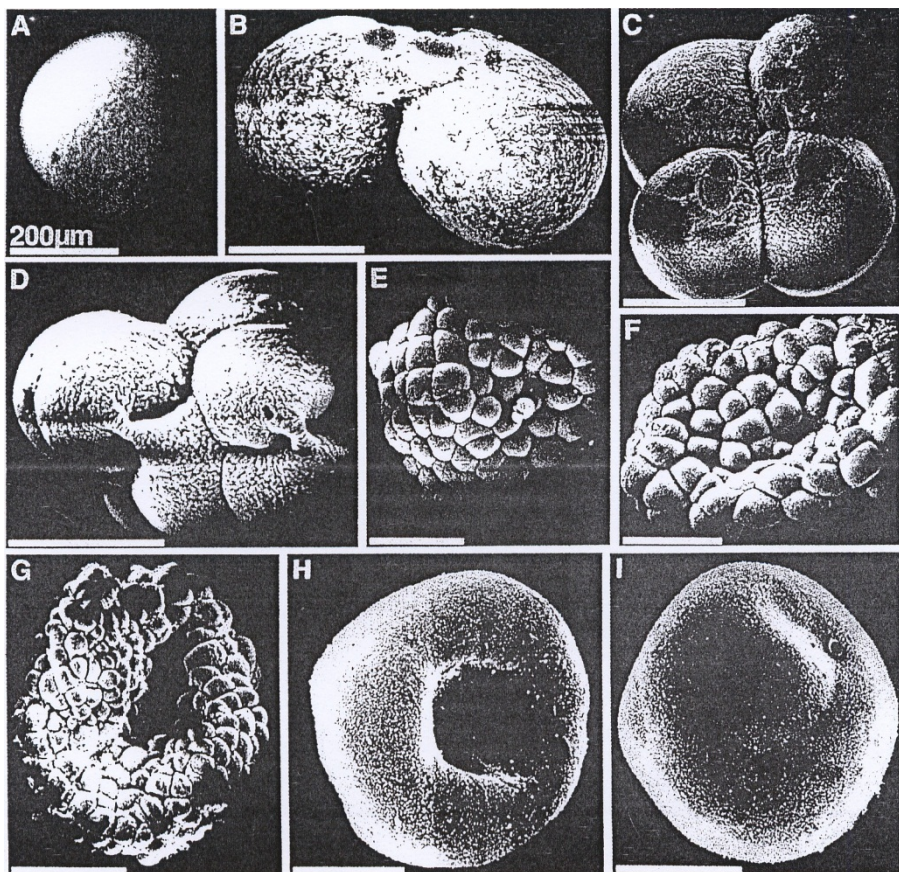
Embriogenesis dimulai dengan proses fertilisasi telur oleh sperma di dalam air. Proses embriogenesis pada karang tipe *spawning* yang terjadi di luar tubuh induk jauh lebih pendek membutuhkan waktu dibandingkan dengan pembuahan dan embriogenesis di dalam tubuh. Embriogenesis pada karang tipe *brooding* memakan waktu selama 4 hari, sementara pada karang tipe *spawning* memakan waktu antara antara 6 sampai 24 hari. 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 49.

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 50. 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 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).

3.2.3. 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).

3.3. Fekunditas

Fekunditas pada karang dihitung tidak seragam atau tidak mengacu pada satuan yang sama. Sebagian saintis menghitungnya berdasarkan satuan luas permukaan koloni, dan disamping itu juga dilakukan persatuan individu/polyp. Terutama 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 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/ cm^2 . 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>A. 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, baik pada kelompok karang tipe berkoloni maupun tipe soliter. Perbedaan ukuran ini tergantung pada 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 proses reproduksi ditemukan pada karang *Acropora cervicornis* dengan ukuran sekitar 8 x 18 cm.

Favia fragum memiliki ukuran polip sekitar 5 mm, dan ukuran maksimal koloni kurang dari 5 cm. Setiap polyp memiliki 12 mesenteri, dan setiap mesentery hanya mampu memproduksi dua oosit. Sehingga polip karang ini hanya mampu memproduksi planulae terbanyak sekitar 24 bila setiap mesentery mampu memproduksi 2 oosit yang tumbuh menjadi planula. Berbeda dengan *Stylophora pistillata*, spesies ini diperkirakan memproduksi maksimal hanya 12 planulae setiap polip. Karena dari setiap

oosit hanya satu telur yang tersisa, yang kemudian berubah menjadi planulae. Sementara oosit yang lainnya dihisap kembali oleh induknya (Rinkevich dan Loya, 1979). Sehingga bila setiap mesentery memiliki satu oosit yang sampai matang dan kemudian berubah menjadi planula, maka dari 12 mesentery yang dimiliki polip *Stylophora pistillata* menyebabkan jumlah maksimal planulae yang diproduksi setiap polip spesies ini hanya 12 ekor.

Perbedaan ukuran koloni/individu ini tidak saja terjadi diantara spesies yang berbeda, tetapi juga ditemukan pada spesies yang sama yang memiliki tipe bentuk koloni yang berbeda. Untuk karang *Montastrea 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.

Fekunditas karang dapat dipengaruhi oleh bermacam-macam faktor. Faktor-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.

3.3.1. Pengaruh padatan tersuspensi dan sedimentasi

Salah satu faktor yang merupakan masalah yang sangat besar pada saat ini adalah pengaruh sedimentasi. Pengaruh kekeruhan dan sedimentasi pada karang termasuk salah satu faktor yang dapat menurunkan fekunditas. Seperti karang *Acropora palifera* di dekat Lae Papua New Guinea berhubungan negatif dengan turbiditas dan sedimentasi (Kojis dan Quinn, 1984). Dimana fekunditas karang *A. palifera* menurun dengan terjadinya peningkatan turbiditas dan sedimentasi. Hal ini berhubungan dengan penurunan intensitas cahaya yang dibutuhkan alga zooxanthellae di dalam

jaringan karang. Penurunan intensitas cahaya ini menyebabkan penurunan penerimaan energi yang diterima karang dari zooxanthellae menjadi berkurang. Kemudian energi yang tersedia pada karang juga terbagi untuk keperluan membersihkan sedimen yang menempel pada permukaan karang. Sehingga energi yang dibutuhkan untuk reproduksi semakin berkurang yang menyebabkan fekunditas menjadi menurun.

Pengalihan peruntukan energi bisa menyebabkan penurunan atau menghalangi kemampuan polip dalam memproduksi gamet pada saat gametogenesis. Pengalihan energi ini disebabkan berbagai faktor, terutama berhubungan dengan faktor kimia atau faktor fisika yang berhubungan dengan kualitas air dan aktifitas yang menyebabkan tissu karang menjadi rusak. Untuk polip yang berdampingan dengan tissu atau polip yang mengalami kerusakan menyebabkan energi yang seharusnya untuk pertumbuhan gamet dialihkan untuk memperbaiki tissu yang rusak tersebut. Seperti yang terjadi pada karang *Montastrea annularis* (van Veghel dan Bak, 1994), *Stylophora pistillata* (Rinkevich dan Loya, 1989).

Peningkatan temperatur merupakan salah satu faktor yang menyebabkan penurunan fekunditas pada umumnya karang. Terutama terjadi pada saat suhu air laut mencapai titik masimum 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 (Kojis dan Quinn, 1984). Bila temperatur air laut melebihi titik maksimum fluktuasi temperatur tahunan akan menyebabkan pengaruh lebih fatal, yaitu menyebabkan kematian secara massal pada karang.

Pengaruh polusi minyak yang kronis tidak hanya menurunkan fekunditas karang, akan tetapi lebih jauh juga merusak jaringan organisme karang. Keadaan ini menyebabkan penurunan fekunditas mencapai lima kali lebih rendah dibandingkan karang normal. Rinkevich dan Loya (1977) menyatakan bahwa polusi minyak kronis di Eilat Israel tidak hanya menurunkan fekunditas karang *Stylophora pistillata* sampai empat kali lipat, 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 (abortus). Peristiwa abortus planulae ini juga bisa terjadi bila karang menghadapi salinitas yang rendah, penurunan air pasang yang luar biasa, temperatur air laut yang tinggi dan penurunan intensitas cahaya.

Fekunditas juga dipengaruhi oleh posisi polip sendiri dalam suatu koloni. Pada karang tipe massive umumnya polip-polip yang berada di tepi

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*, polip yang berada pada baris ke lima dari tepi memiliki fekunditas lebih rendah dari polip yang berada di tengah koloni (van Veghel dan Kahman, 1994). 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. Polip yang memproduksi larva planula mencapai 73 % dari jumlah polip yang berada di tepi koloni karang *F. fragum* (Soong dan Lang, 1992). Karakteristik beberapa spesies karang lebih rinci berhubungan dengan fekunditas seperti pada Tabel 1.

Tipe koloni berbeda yang mempengaruhi fekunditas seperti yang terjadi pada karang *M. annularis* (van Veghel dan Kahman, 1994). Rata-rata fekunditas karang *M. annularis* pada morphotypes (berbeda tipe) berbeda menunjukkan perbedaan jumlah 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). Polip axial yang memproduksi gamet ditemukan pada ujung percabangan karang *Acropora* yang tidak lagi mengalami pertumbuhan.

Karang juga menjadi habitat bagi berbagai jenis organisme yang berukuran lebih kecil. Barnakel yang hidup melekat hampir pada semua jenis substrat termasuk pada berbagai organisme seperti ketam, ikan, penyu juga dijumpai hidup melekat pada berbagai jenis karang. Semula diperkirakan antara karang dan barnakel hidup secara bersimbiosis mutualisme. Termasuk hubungan antara barnakel dengan inangnya sponge juga diperkirakan bersimbiosis secara mutualisme. Namun dari hasil pengamatan pengaruh barnakel terhadap fekunditas karang diketahui

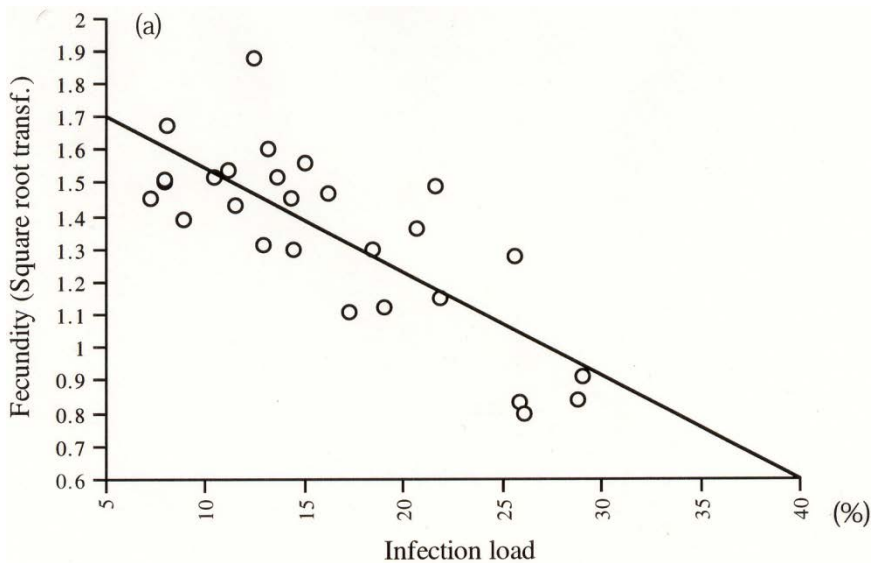
hubungan kedua organisme ini bukan bersimbiosis secara mutualisme, tetapi barnakel lebih condong hidup sebagai parasit pada karang, sebagai-

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).

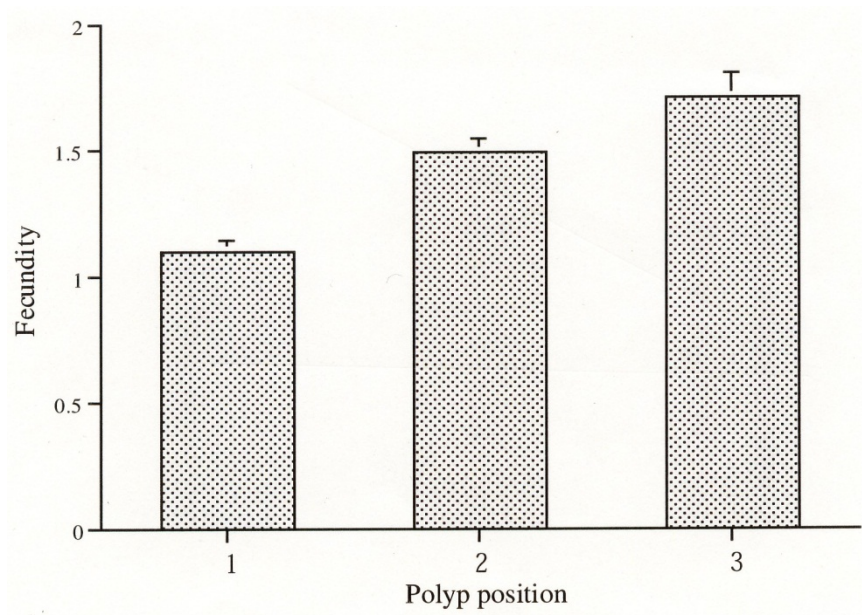
No	Spesies	Bentuk Koloni	Lokasi Polip Belum Produktif	Koloni terkecil (cm)
1.	<i>Favia fragum</i>	Massive	Tidak ada, tetapi 27 % marginal polyp (polip) di tepi koloni menurun dan 7 % sentral polip kekurangan planulae	0,6 - 0,6
2.	<i>Siderastrea radian</i>	Massive	0,25-0,5 cm dari tepi (satu sampai dua 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 horizontal (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)

sebagaimana yang terjadi antara barnakel dengan ketam. Hubungan antara barnakel dengan karang condong sebagai parasit dibuktikan Thamrin et al. (2001) antara karang *Alveopora japonica* dengan barnakel *Cantellius pallidus*. Peningkatan jumlah barnakel *C. pallidus* menempel pada koloni karang *A. japonica* berpengaruh besar terhadap fekunditas karang inang *A. Japonica*, dan fekunditas karang inang menurun secara signifikan (Gambar 50).

Barnakel *C. pallidus* hidup dan berkembang dengan cara menempel pada skeleton koloni karang *A. japonica*. Ukuran barnakel ini termasuk kecil, dengan diameter berkisar antara 2,5 sampai 5 mm. Pengaruh terbesar kehadiran barnakel *C. pallidus* terjadi pada individu polip karang *A. japonica* yang bersentuhan langsung dengan barnakel. Semakin jauh jarak individu polyp dengan barnakel semakin kecil pengaruh terhadap fekunditas polyp karang *A. japonica* (Gambar 51).



Gambar 51. Pengaruh kepadatan barnakel pada koloni terhadap fekunditas karang *Alveopora japonica*. $Y = -0,034x + 1,64$; $r^2 = 0,671$ (Thamrin, 2001).



Gambar 52. Rata-rata fekunditas polip karang *Alveopora japonica* pada jarak berbeda dari barnakal. Bar = SE (Thamrin et al., 2001)

Bab 4

REPRODUKSI KARANG DENGAN 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. Namun dengan perkembangan ilmu pengetahuan diketahui bahwa larva planula sendiri yang diproduksi karang tidak selamanya dihasilkan secara seksual. Terutama dari kelompok planulae karang tipe *brooding* ditemukan bahwa planulae yang diproduksi juga ditemukan dengan cara aseksual.

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 seksual telah dibahas pada BAB 3, dan untuk 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 (lihat halaman berikut).

4.1. *Brooding*

Karang tipe *brooding* secara umum merupakan karang yang melakukan embriogenesis di dalam tubuh induk. Jenis karangnya dikatakan kelompok *brooder*. Embrio yang dihasilkan akan keluar dalam bentuk larva yang disebut dengan nama planula. 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 dijumpai pada karang *Pocillopora damicornis* (Stoddart, 1983), dan pada karang *Tubastrea coccinea* serta *T. diaphana* yang juga memproduksi planula secara aseksual memiliki (Aire dan Resing, 1986).

Karang *P. damicornis*, *Tubastrea coccinea* dan *T. diaphana* memproduksi gamet sebagaimana karang pada umumnya. Gametogenesis, baik oogenesis maupun spermatogenesis terjadi sebagaimana jenis karang umumnya. Dimulai dengan kehadiran oosit dan testis yang dilanjutkan perkembangan kedua gamet sampai matang di dalam mesentery. Perkembangan gamet juga pada umumnya berhubungan dengan temperatur. Namun setelah gamet matang diserap oleh tubuh induk seluruhnya. Sementara planulae yang diproduksi bukan dari perkembangan gamet betina (oosit) yang dibuahi gamet jantan (sperma). Planula yang terbentuk berasal dari pertunasan di dalam tubuh induk yang membentuk planula, sehingga genetik yang dimiliki sel anak (planula) sama dengan genetik sel induk. Pembuktian ini dilakukan dengan pengamatan menggunakan metode electrophoresis isozyme (Stoddart, 1983; Aire dan Resing, 1986). Sebaliknya untuk membuktikan planulae spesies karang lainnya diproduksi melalui proses seksual juga telah dibuktikan pada karang *Acropora cuneata* dan *A. palifera* (Ayre dan Resing, 1986).

4.2. *Polyp bail-out*

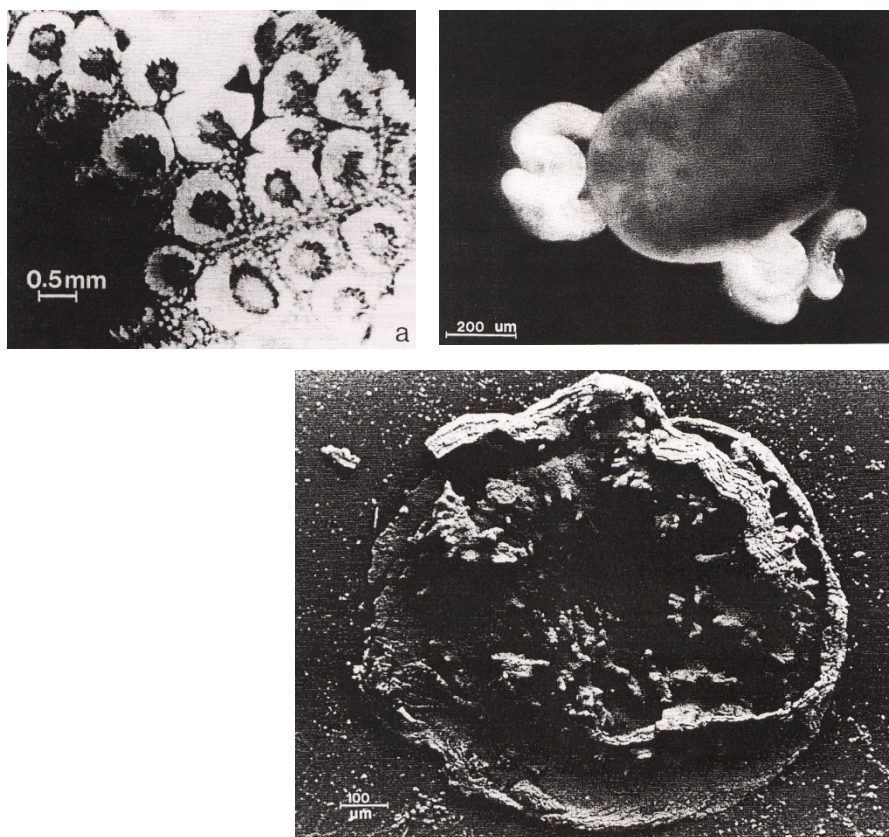
Polyp bail-out merupakan respon karang terhadap stres menghadapi perubahan lingkungan. Proses terjadinya *polyp bail-out* ada tiga, yaitu: 1) isolasi individu polip melalui daerah pergerakan polip dari coenosarc, 2) pelepasan polip dan terpisah dari skeleton, dan 3) menyebar, dan kemudian melekat kembali pada substrat, dan kemudian memproduksi skeleton baru

(Sammarco, 1982). Mortalitas polip yang mengalami reproduksi secara *bail-out* ini sangat rendah, dan kemampuan beradaptasi cukup tinggi. Kemampuan untuk menempel kembali pada substrat tempat polyp yang memisahkan diri ini dari koloni induknya hampir 100 %, yakni sekitar 95 % dari jumlah *polyp bail-out* yang memisahkan diri dari koloni induknya. Polip-polip yang memisahkan diri dari koloni induknya ini mampu menempel dan melekat kembali serta memproduksi skeleton dalam 9 hari (Gambar 53).

Pada awal proses terjadinya reproduksi dengan *polyp bail-out* dimulai dengan pergerakan *coenosarc* polip. Tumpukkan berwarna coklat pada individu polip dan disekelilingnya secara simpel mengalami penipisan tisu secara progressif. Kemudian permukaan tisu karang menjadi lebih tipis dan skeleton menonjol ke permukaan. Dalam beberapa jam, diantara polip-polip ini hanya tinggal dihubungkan tisu tipis, yang tidak lama kemudian terpisah sama sekali. 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. Total waktu yang dibutuhkan untuk satu koloni mencapai 2 sampai 3 hari.

Polip yang baru saja melepaskan diri dari koloni biasanya memiliki bentuk permukaan oral yang bulat dengan *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 diperkirakan mesenterial filamen, yang mampu melakukan kontraksi, baik memanjang maupun memendek.

Polip-polip ini agak sedikit negatip mengapung, dan secara perlahan-lahan tenggelam ke dasar container setelah melepaskan diri dari koloni induk bila diamati di laboratorium. Memiliki kemampuan terbatas dalam bergerak, akan tetapi dengan 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 kembali.



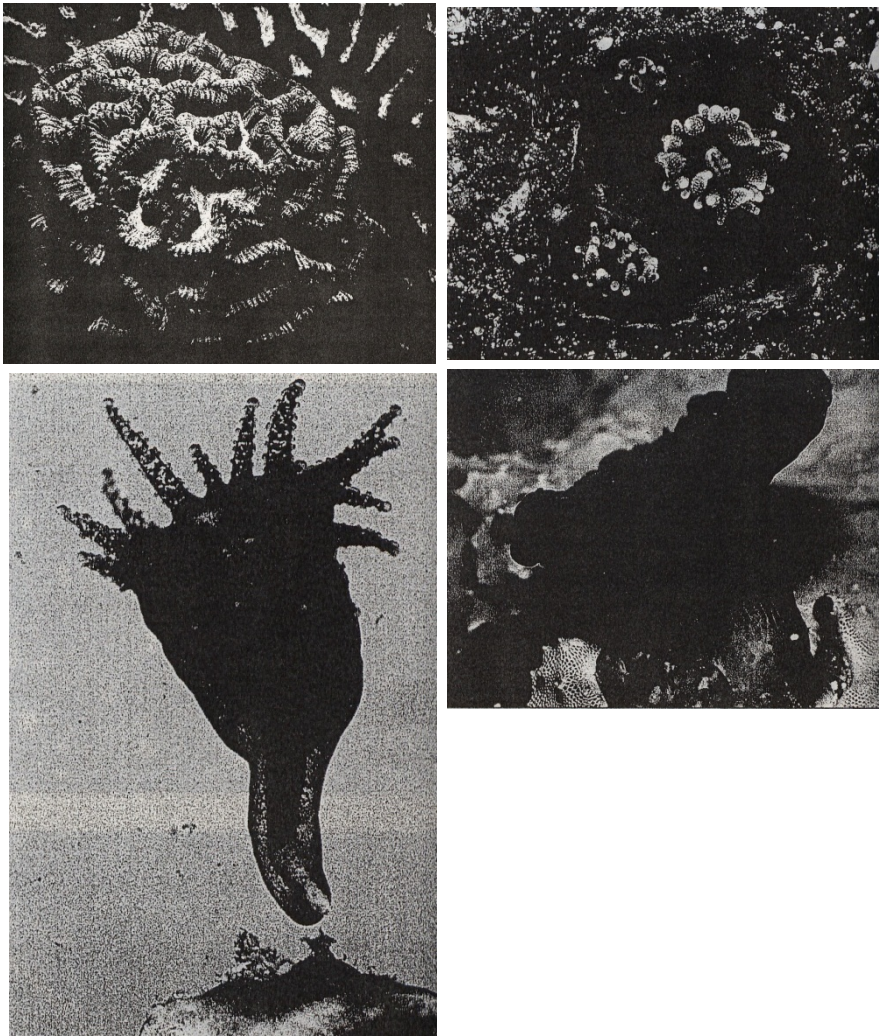
Gambar 53. *Polyp bail-out* dari *Seriatopora hystrix* dalam keadaan bebas yang memiliki dua filamen yang berbentuk coil (b). a, Salah satu corallite pada koloni telah kosong ditinggalkan polip, dan c, Gambar SEM skeleton yang dihasilkan *polyp bail-out* sekitar 7-9 hari setelah *bail-out* (Sammarco, 1984).

4.3. *Polyp Expulsion*

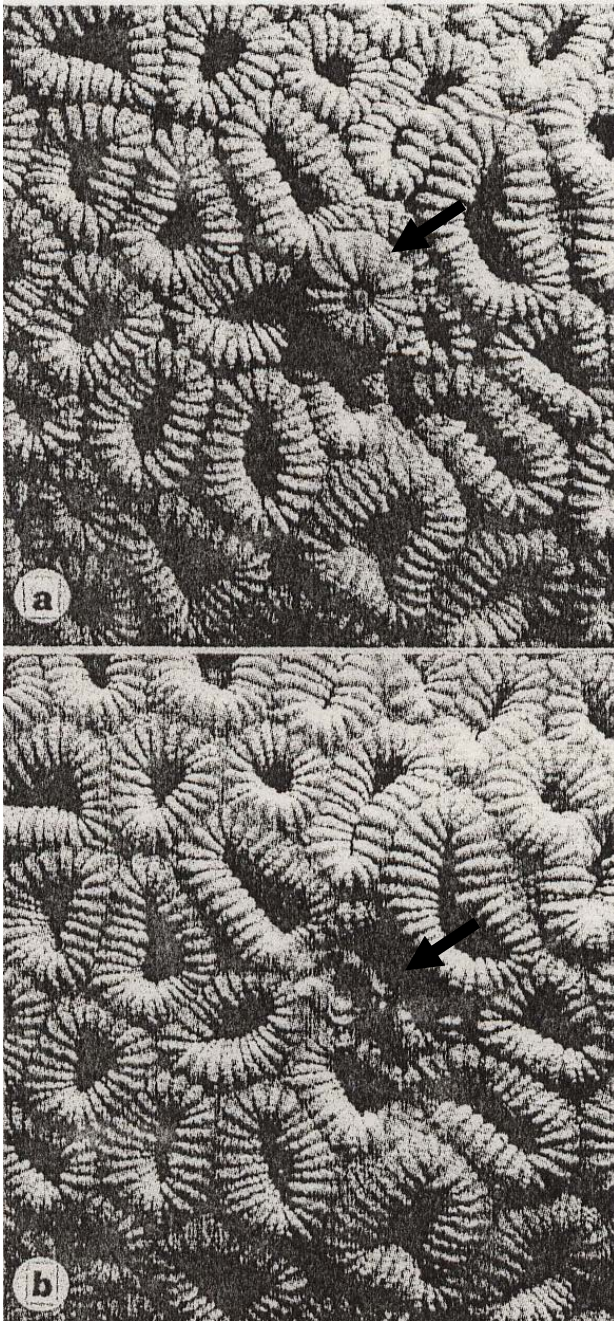
Reproduksi karang dengan polyp-expulsion ini memiliki kesamaan dengan *polyp bail-out*. Dalam reproduksi dengan *polyp-expulsion* juga terjadi pada karang tipe berkoloni dan prosesnya dimana polip memisahkan diri dari koloni induk. Jadi *polyp-expulsion* juga merupakan pemisahan diri individu polip dari suatu koloni karang. Dalam proses ini 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 bagian polip yang terpisah terdapat 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 53 dan 54).

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

Individu polip termasuk calice-nya terangkat pada pemanjangan tangkai *calcareous* sebelum terlepas dari koloni dan menempel pada substrat dimana *polyp expulsion* mendarat. Bekas polip yang melepaskan diri dari koloni induk melakukan regenerasi dalam dua minggu. Propagule baru kemudian menempel, tisunya 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.



Gambar 54. Koloni karang yang ditinggalkan polip pada bagian tengah menjadi kosong (a). (b), *polyp-expulsion* dalam keadaan bebas; (c), *polyp-expulsion* menempel kemblai pada substrat baru; dan (d) *polyp-expulsion* mulai tumbuh kembali membentuk polip muda (Wallace, 2000).



Gambar 55. Proses terjadinya *polyp expulsion* pada karang tipe massive *Favia fragum* (Kramarsky-Winter et al., 1997).

Mekanisme pelepasan polip dari koloni induk dalam reproduksi secara aseksual dengan *polyp-expulsion* dari koloni induk diuraikan secara rinci oleh Kramarsky-Winter et al. (1997). Pengamatan ini dilakukan mereka lebih jelas pada spesies karang *Favia fragum* (Gambar 55). Pada awalnya iyang akan melepaskan diri terangkat dan kelihatan lebih menonjol dari polip-polip lainnya dalam suatu koloni (Gambar 54A). Polyp yang sedang terangkat ini dapat terlihat pada individu polip bagian tengah koloni (panah hitam) secara bertahap melepaskan diri 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 53C-D. Polip yang melepaskan diri meninggalkan corallite pada koloni induk (Gambar 55B). Corallite yang ditinggalkan polip ini akan ditutupi tissu kembali dalam 2 hari.

4.4 Fragmentasi

Beberapa penelitian menyimpulkan bahwa reproduksi dengan 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 pertambahan 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. Bila polip atau tunas lepas dari koloni induk dan membentuk koloni baru disebut reproduksi secara aseksual dengan fragmentasi Koloni baru terbentuk dari patahan karang. Walaupun pada beberapa penelitian dilaporkan reproduksi secara aseksual dari kelompok karang massive, akan tetapi yang menjadi objek kerusakan sehingga

membentuk fragmen (patahan-patahan) terutama terjadi pada karang tipe bercabang. Hal ini disebabkan koloni karang tipe bercabang mudah sekali patah oleh faktor fisik (seperti ombak atau badai) atau faktor biologi (predasi oleh ikan). Patahan (koloni) 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 (Gambar 56).

Kelulusan hidup fragmen karang di alam pada dasarnya sangat ditentukan oleh bentuk pertumbuhan koloni, jenis (spesies), kecepatan arus dan substrat dimana fragmen terdampar. Untuk spesies bercabang kemungkinan memiliki kesempatan besar untuk bereproduksi dengan fragmen karena bagian tubuh koloni hanya sedikit tanpa dibalut tisu bila terpisah dari koloni induk, yakni bagian yang mengalami patahan. Mengingat karang yang bereproduksi dengan fragmen harus mampu melekat kembali pada substrat baru tempatnya terdampar dan kemudian berkembang dan melanjutkan kehidupan. Untuk melekat kembali pada substrat baru dilakukan oleh polip-polip dan tisu fragmen yang bersentuhan dengan substrat. Keuntungan fragmen karang bercabang ini karena sebagian besar polip-polip yang bersentuhan dengan substrat terlindung dan tetap mendapatkan cahaya yang dibutuhkan zooxanthellae yang berada di dalam jaringan polip. Sehingga menyebabkan fragmen karang bercabang memiliki kesempatan untuk melekat kembali lebih besar dibandingkan bentuk koloni karang lainnya.

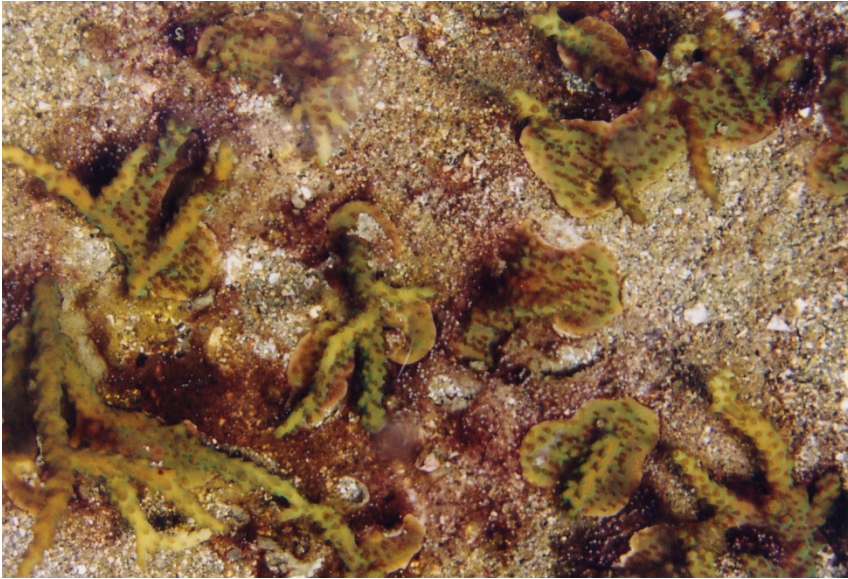
Beberapa keunggulan spesies bercabang dalam melakukan reproduksi secara aseksual melalui fragmentasi meliputi: 1) bentuk koloni bercabang memungkinkan hanya sebagian kecil individu polip karang yang bersentuhan dengan substrat tempatnya terdampar. 2) Bentuk koloni bercabang akan membentuk kaki-kaki untuk berdiri lebih kokoh bagi koloni baru sehingga bila jatuh pada substrat pasir sekalipun akan memiliki kesempatan untuk tetap bertahan hidup (Gambar 56). 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 yang besar. Sehingga sangat mendukung usaha fragmen untuk melekat kembali dengan cepat, karena untuk melekat

keballi pada substrat pada umumnya karang dengan membentuk fondasi atau telapak baru.



Gambar 56. Fragmen-fragmen 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).

Proses melekat kembali fragmen dilakukan oleh tissu 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 tissu yang bersentuhan dengan substrat. Dalam pembentukan telapak baru, tissu tumbuh melebar dan diikuti pertambahan polip-polip baru dan di bawah polip-polip dan tissu yang tumbuh melebar dari fragmen disertai penumpukkan kalsium karbonat yang menyebabkan fragmen melekat kebalik pada substrat.



Gambar 57. Fragmen karang *Acropora fruinosa* di atas substrat pasir tetap hidup dan berkembang (Foto oleh Thamrin).

4.4.1. Penyebab terbentuknya fragmen

Tekanan yang diterima terumbu karang dunia dari waktu ke waktu terus mengalami peningkatan, dan tekanan ini terjadi baik secara langsung maupun tidak langsung. Penyebab kerusakan terumbu karang bisa diakibatkan oleh beberapa faktor, yaitu berasal dari faktor biologis, kimia dan fisika. Namun demikian, kerusakan yang disebabkan oleh tingkah laku manusia merupakan yang paling dominan membawa bencana pada kerusakan terumbu karang (Grigg, 1994). Kerusakan terumbu karang yang berhubungan dengan tingkah laku manusia diperkirakan mencapai sekitar

80%, termasuk aktifitas manusia langsung seperti penangkapan ikan menggunakan bom dan muroami (Burke *et al.*, 2002). Sementara penyebab kerusakan terumbu karang yang tidak bisa dikendalikan termasuk Global Warming El-Nino (Brown dan Suharsono, 1990; Glynn, 1993) dan angin topan (Dollar dan Tribble, 1993). Namun untuk faktor kerusakan terumbu karang/karang yang menyebabkan terbentuknya fragmen terutama disebabkan bencana alam seperti angin topan dan gempa. Beberapa terumbu karang yang berkembang dengan baik justru berada pada jalur pergerakan angin topan, seperti di Perairan Filipina menuju ke timur laut ke arah Perairan Jepang, dimana perairan ini setiap tahun dilanda bencana alam tersebut.

Pada dasarnya terumbu karang merupakan salah satu ekosistem yang mudah mengalami kerusakan yang disebabkan berbagai faktor lingkungan (Grigg, 1994). Pengaruh yang disebabkan faktor fisika dan dalam beberapa kejadian juga disebabkan faktor biologis menyebabkan organisme karang menjadi rusak. Terutama jenis karang dari tipe bercabang, kerusakan karang akan membentuk fragmen dan terlepas dari induknya. Reproduksi dengan aseksual (fragmentasi) berkemungkinan lebih penting dalam beberapa spesies karang, seperti pada siklus hidup *Acropora millepora* atau *A. hyacinthus* (Smith dan Hughes, 1999).

Pengaruh bencana alam baik yang disebabkan gempa di bawah laut maupun yang berasal dari atas permukaan laut seperti angin topan bisa mempengaruhi hampir seluruh organisme karang yang memiliki bentuk bercabang. Namun hewan karang yang dilaporkan bereproduksi dengan *fragmentasi* hanya dari beberapa spesies, seperti *Acropora cervicornis*, *A. palifera*, *A. millepora* atau *A. hyacinthus* (Knowlton et al. 1981; Smith dan Hughes, 1999). Bila hewan karang juga bisa melakukan reproduksi melalui fragmentasi, diperkirakan pengaruh bencana alam seperti gempa dan angin topan tidak selamanya merugikan bagi beberapa spesies karang.

4.4.2. Faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan reproduksi karang dengan fragmen

Beberapa faktor 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. Smith dan Hughes, (1999) mengatakan bahwa fragmen berukuran besar memiliki kelulus hidupan yang lebih baik dari yang berukuran kecil. Tipe substrat tempat fragmen mendarat berpengaruh besar terhadap kelulusan hidup fragmen, dimana

kelulusan hidup lebih tinggi terjadi pada substrat padat atau keras. Sementara jenis karang berpengaruh pada kelulusan hidup fragmen melalui kecepatan pertumbuhan bentuk dan posisi fragmen yang terbentuk. Bagi jenis karang yang memiliki kecepatan pertumbuhan yang cepat memiliki pengaruh terhadap fragmen untuk melekat kembali lebih cepat disamping itu akan lebih cepat menutupi bagian tisu yang rusak.

Usaha fragmentasi pada karang sangat besar dalam mempertahankan diri untuk tetap hidup. Pada umumnya fragmen yang terbentuk kehilangan tissue pada bagian yang patah, dan juga banyak dari fragmen yang mengalami patahan yang tidak bagus, mati dengan cepat atau terlempar pada substrat yang tidak cocok. Kelangsungan hidup fragmen karang dan organisme berkoloni lainnya juga disimpulkan sangat tergantung pada ukuran fragmen (Connell, 1973; Hughes, 1984), dan fragmen berukuran kecil memiliki kecepatan mortalitas yang tinggi. Seperti contoh Knowlton et al. (1981) melaporkan bahwa 98 % mortalitas fragmen karang staghorn *Acropora cervicornis* yang biasa memiliki ukuran lebih besar berkembang kembali setelah 5 bulan dari pengaruh angin topan.

Proses melekat kembali fragmen karang terhadap substrat dapat dibedakan menjadi dua cara (Tunncliffe, 1983; Thamrin 2005), yaitu:

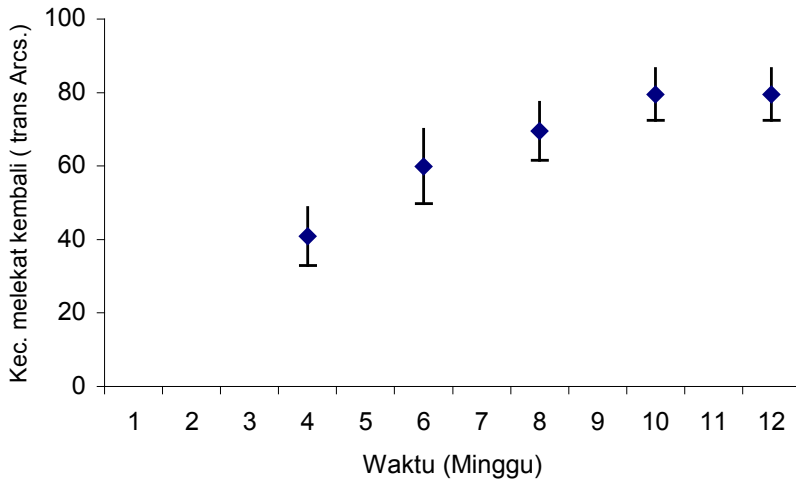
1. Karang sendiri mengalami pertumbuhan yang berlebihan dan menempel kembali pada substrat.
2. Bagian yang mati pada bagian dasar karang melengket kembali pada substrat dengan proses semenisasi. Proses semenisasi ini dilakukan oleh *coralin algae* atau oleh foraminifera dari spesies *Gypsina plana* Carter.

Fragmen (patahan koloni karang yang terpisah dari induknya) *Acropora fruinosa* 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. fruinosa* 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.

Kondisi di alam jauh berbeda bila dibandingkan dengan di laboratorium yang jauh dari pengaruh arus, predator, dan lain-lain. 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.

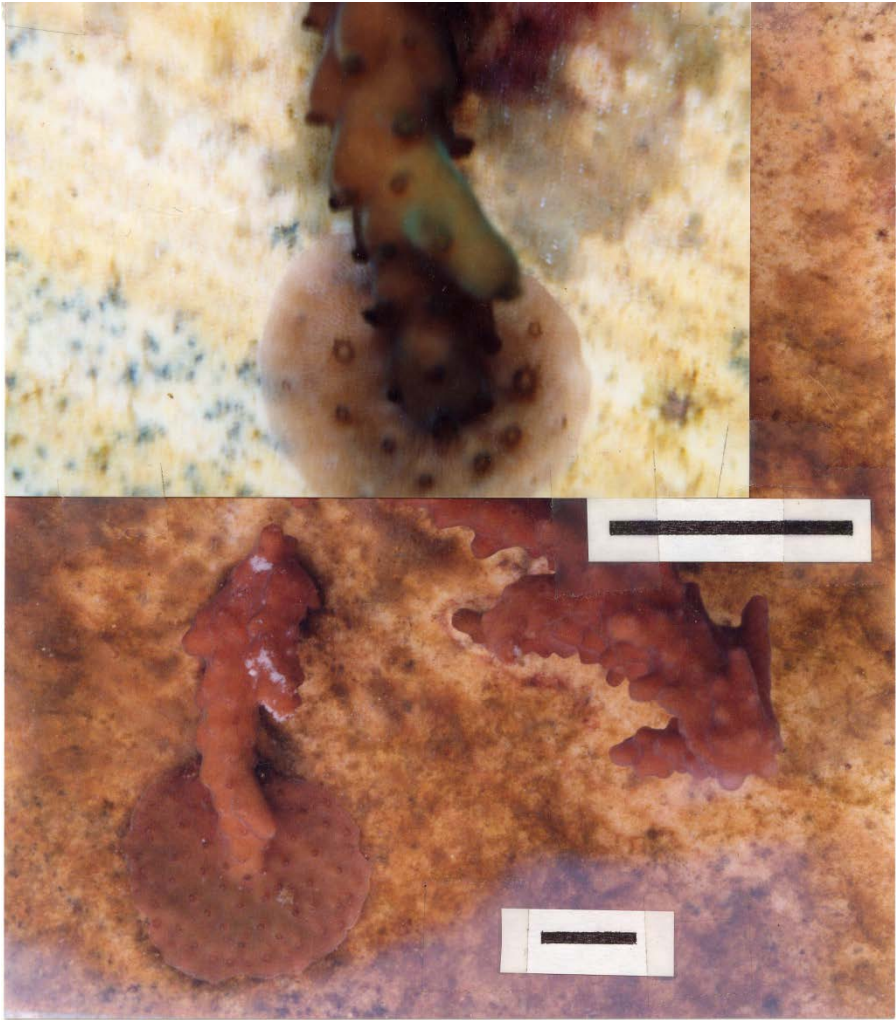
Fragmen karang *A. fruinosa* mulai melekat pada substrat menjelang minggu ke empat, dan memasuki minggu ke 10 jumlah fragmen yang mampu melekat kembali berkisar antara 93,75 % sampai 100 % dengan rata-rata 95,52 %. Jumlah rata-rata fragmen yang melekat kembali pada substrat pada minggu ke empat hampir separoh, yakni 40,89 %. Kecepatan melekat kembali fragmen pada substrat meningkat hampir secara beraturan menjelang minggu ke 10, akan tetapi tidak ada peningkatan sampai berakhir penelitian (Gambar 57). Tidak ada hubungan antara ukuran fragmen dengan kecepatan pertumbuhan telapak fragmen untuk melekat kembali pada substrat yang disediakan.

Proses melekat kembali fragmen karang *A. fruinosa* pada substrat tempatnya terdampar dilakukan oleh polip 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 penumpukan 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 59).



Gambar 58. Rata-rata kecepatan melekat kembali fragmen karang *Acropora fruinosa* pada substrat keramik (Bar = \pm SD).

Pertumbuhan fragmen terjadi pada setiap ujung percabangan. Seperti yang terjadi pada 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 selalu 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. Kecepatan pertumbuhan fragmen ini mencapai 2 cm selama 12 minggu penelitian, dan kecepatan pertumbuhan terpanjang terjadi pada ujung fragmen bagian yang patah. Namun kecepatan pertumbuhan yang dialami fragmen ini dibahas pada topik BAB 7.



Gambar 59. 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).

Gambar 59 di atas merupakan sebuah eksperimen kemampuan fragmen karang *Acropora fruinosa* untuk melekat kembali pada substrat ubin batu alam. Fragmen mulai melekat pada substrat pada minggu ke tiga penelitian, dan proses melekat kembali fragmen pada substrat dengan kemampuan fragmen sendiri, bukan melalui bantuan proses lainnya. Pada minggu ke lima pada beberapa fragmen karang yang bersentuhan dengan substrat terlihat 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 58 di atas menunjukkan mekanisasi fragment *A. fruinosa* dan kemampuannya untuk melekat kembali pada substrat ubin yang disediakan, dan fragmen karang *A. fruinosa* memiliki kemampuan untuk melekat kembali pada substrat bila terpisah dari koloni induk.

Arah pertumbuhan karang ini tidak terlepas dari aktifitas simbiosis karang zooxanthellae yang membutuhkan cahaya dalam proses fotosintesis. Sehingga bila fragmen terbentuk dari karang tipe bercabang, pertumbuhan baru terjadi dari setiap bagian yang patah yang arahnya akan mengarah ke atas. Keadaan ini menyebabkan bila fragmen ini dalam posisi terbalik, maka pertumbuhan baru karang akan terjadi berlawanan arah dengan posisi fragmen pada saat menyatu dengan koloni induk. Pertumbuhan karang yang bersifat fototaksis positif ini telah dibuktikan Kawaguti (1937) pada regenerasi karang *Acropora* sp yang diletakkan secara vertikal dalam posisi terbalik dan yang diletakkan secara horizontal (lihat halaman 188).

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* menunjukkan memiliki kelulusan hidup yang paling tinggi dimana 32% bertahan hidup setelah 17 bulan, dibandingkan dengan *A. millepora* 15% dan hanya 8% untuk *A. hyacinthus*. Fragmen berukuran besar memiliki kelulusan hidup yang lebih baik dari yang berukuran kecil (Smith dan Hughes, 1999). Namun reproduksi aseksual dengan fragmentasi ini hanya terbatas dilaporkan pada sebagian kecil kelompok karang.

Beberapa tipe reproduksi secara aseksual dikendalikan oleh faktor intrinsic, seperti partenogenesis, pertunasan atau budding, dan *fussion*. Sementara dalam bentuk lainnya ada yang lebih pasif yang difasilitasi oleh pengaruh *extrinsic*, seperti patah terinjak dan fragmentasi. Fragmentasi pada karang dan organisme yang berada pada terumbu karang terjadi disebabkan oleh predasi, bioerosi, gempa bumi dan angin topan. Disamping

karang, sebagian besar organisme terumbu karang yang terpengaruh oleh faktor-faktor tersebut meliputi karang bercabang, gorgonia, zoanthid, stony hydrozoa, alcyonacean dan sponge (lihat Smith dan Hughes, 1999).

Keuntungan dari fragmentasi terhadap genetik (semua koloni diperoleh dari rekrut jenis sek yang sama memiliki kesempatan yang besar. Jadi dapat disimpulkan bahwa reproduksi dengan aseksual secara fragmentasi terjadi bila fragmen bisa beradaptasi, dan mampu berkembang sebagai hasil dari seleksi alam yang mempengaruhi bentuk dan sifat mekanik koloni-koloni bentuk bercabang (Cook, 1979; Highsmith et al. 1980; Highsmith, 1982).

Reproduksi dengan cara 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). Lebih jauh juga memungkinkan kolonisasi suatu habitat dimana larva tidak stabil untuk menempel, seperti daerah berpasir di daerah pinggiran terumbu karang (Highsmith 1980; Bothwell 1993).

Pengaruh reproduksi dengan fragmen secara fisiologi terutama 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).

Kehilangan kemampuan fragmen untuk melakukan reproduksi secara seksual ini pada fragmen karang berhubungan dengan pengalihan peruntukkan energi. Peruntukan energi yang semula untuk keperluan reproduksi dialihkan untuk keperluan menyembuhkan atau proses regenerasi bagian tisu fragmen yang rusak dan untuk melekat kembali pada substrat baru dimana fragmen terdampar. Kemudian koloni yang baru terbentuk

juga berhubungan dengan ukuran minimal koloni bersangkutan sebagaimana koloni yang berasal dari proses seksual atau yang berasal dari larva. Kemampuan fragmen untuk melakukan reproduksi tidak tergantung pada usia fragmen induk (sumber fragmen) seperti yang terjadi pada tumbuhan tingkat tinggi seperti pada proses pencangkokan, akan tetapi faktor yang sangat menentukan adalah ukuran fragmen.

Bab 5

SIMBIOSIS KARANG DENGAN ZOOXANTHELLAE

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

Densitas zooxanthellae umumnya paling padat pada karang dalam keadaan normal dijumpai pada bagian tentakel, daerah oral disc, dan pada bagian coenosarc. Tubuh karang yang memiliki densitas zooxanthellae lebih rendah dijumpai pada bagian bawah polip. Pada setiap waktu densitas zooxanthellae berfluktuasi, tergantung pada kualitas lingkungan perairan. Pada dasarnya keluar masuk zooxanthellae terjadi setiap saat dari dalam tubuh karang. Jumlah zooxanthellae yang keluar tidak lebih dari 0,1 % dari total standing stock simbion algae setiap hari. Sementara kecepatan pengeluaran tidak lebih dari 4 % dari pertambahan sel populasi simbion 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 planula. Densitas zooxanthellae di dalam tubuh karang berfluktuasi sepanjang tahun. Densitas zooxanthellae paling rendah ditemukan pada musim panas dan jumlah paling padat ditemukan pada musim dingin (Fitt et al., 2000). Degradasi zooxanthellae di dalam planulae terjadi sebagai mana terjadi pada karang hermatypic dewasa. Degradasi zooxanthellae pada larva planulae terjadi juga disebabkan pengaruh perubahan lingkungan sebagaimana yang terjadi pada karang yang telah dewasa. Seperti larva planulae pada koloni telah dewasa karang *Pocillopora damicornis*. Degradasi zooxanthellae pada kedua generasi karang *P. damicornis* baik pada saat larva planula maupun pada koloni yang telah dewasa dilaporkan Titlyanov et al. (1996; 1998).

5.1. Zooxanthellae

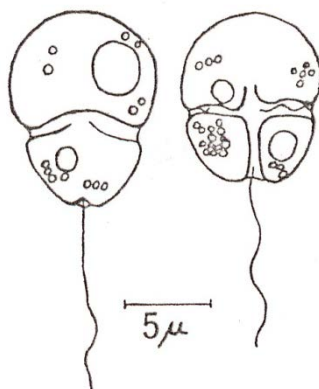
Karang sebagaimana disebutkan pada awal buku ini merupakan salah satu kelompok hewan avertebrata ordo Scleractinia yang berbentuk hanya seperti tabung (polip) yang pada umumnya hidup dalam bentuk berkoloni. Zooxanthellae tanpa terkecuali selalu hadir hanya terbatas pada lapisan endodermis/gastrodermis karang scleractinia bila dalam keadaan normal. Semula zooxanthellae diidentifikasi dengan nama spesies *Gymnodinium adriaticum*, dan kemudian berubah menjadi *Gymnodinium microadriaticum* Freudenthal. *Gymnodinium microadriaticum* Freudenthal yang hidup di dalam tubuh karang diperkirakan berasal dari satu spesies *micro-algae* unicelluler Gambar 60).

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 (Gambar 59). Micro-algae ini diperkirakan berasal dari spesies yang sama walaupun memiliki tipe yang berbeda. Perkembangan zooxanthellae umumnya terjadi dalam bentuk 4 fase (lihat Gambar 61). Pada awalnya sel vegetatif memiliki berbagai chloroplas (Ch) dan beberapa hasil produksi metabolisme (61A). Gambar 61B menunjukkan sel berumur agak lebih tua yang memiliki warna kuning kecoklat-coklatan berisi produksi asimilasi (AP) dan dua vacuola (V) memiliki kecepatan bergerak granule yang besar. Gambar 61C menunjukkan sel berumur lebih tua serta memiliki produksi minyak (O) dan produksi asimilasi yang lebih besar; dan Gambar 61D menunjukkan sel berumur sangat tua mengandung produksi asimilasi yang

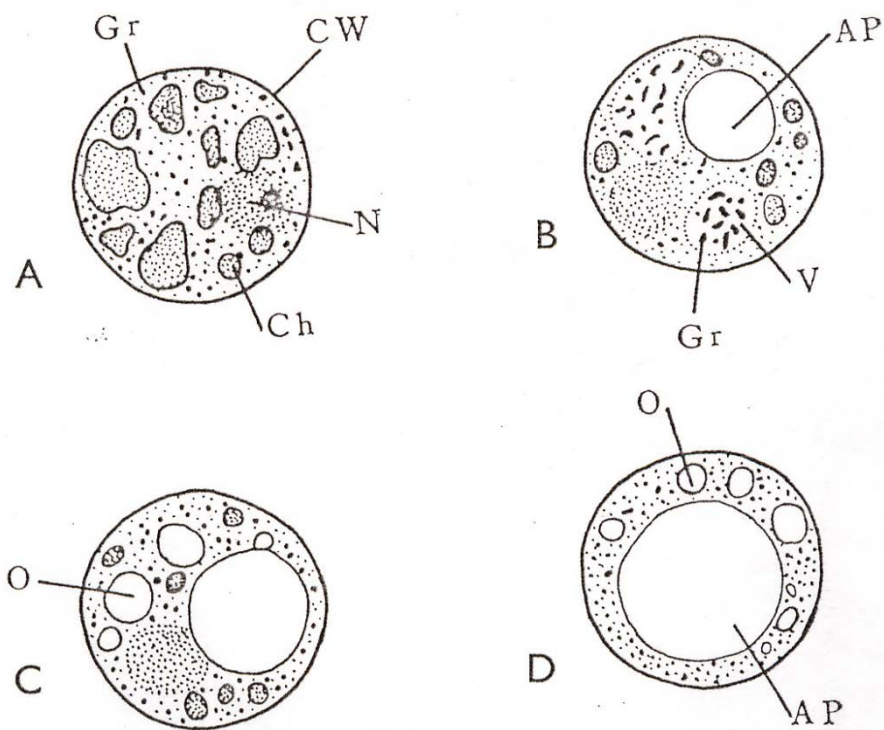
sangat besar, bintik lemak, beragam granule berukuran kecil-kecil, dan tanpa kloroplas (*chloroplas*).

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

Disamping zooxanthellae bersimbiosis dengan karang juga ditemukan di dalam tubuh berbagai kelompok organisme yang hidup di terumbu karang. Beberapa organisme yang mengandung zooxanthellae di dalam jaringan tubuhnya seperti di dalam tubuh hydrozoa, scyphozoa dan lain-lain.



Gambar 60. *Gymnodinium* sp (Kawaguti, 1944a).



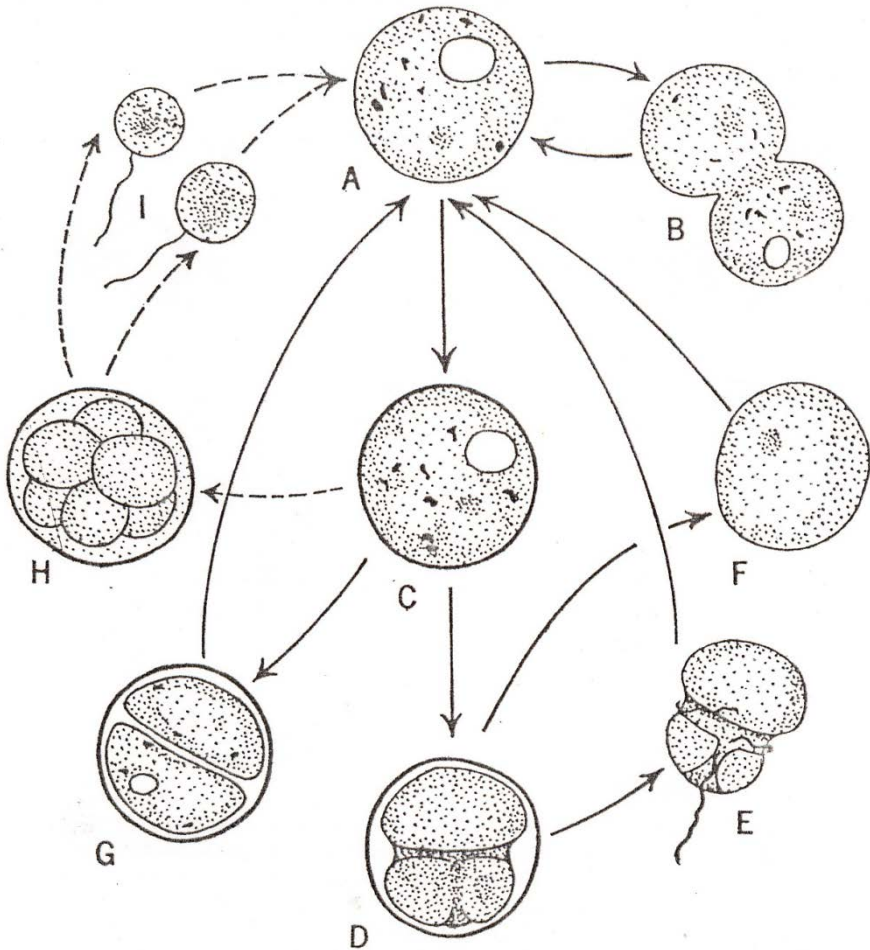
Gambar 61. Sel vegetatif *Symbiodinium microadriaticum* dari berumur muda sampai berumur tua. A), Sel masih muda; B, sel agak lebih tua; C, sel lebih tua, dan D, sel sangat tua. CW, dinding sel; N, nukleus (Freudental dalam Yonge, 1963).

Siklus hidup zooxanthellae telah digambarkan Freudental dalam Yonge (1963). Perkembang biakan zooxanthellae di tempat kultur di laboratorium bisa terjadi dalam 5 cara (Gambar 62), yaitu:

1. Siklus reproduksi sangat pendek, terjadi bila sel vegetatif membelah menjadi dua sel anak secara vegetatif. Kemudian dua sel anak yang terpisah tumbuh dan berkembang kembali menjadi dewasa.
2. Sel vegetatif pada kondisi tertentu berubah menjadi *cyst* vegetatif (kista vegetatif), dan sel vegetatif ini menjadi tebal. *Cyst* vegetatif ini bisa berubah menjadi zoosporangium, yaitu *cyst* mengandung dua *cyst* autospora ataupun berubah menjadi *cyst* berisi isogamet.
3. Bila *cyst* vegetatif membentuk zoosporangium, kemungkinan berubah menjadi zoospora gymnodinioid atau menjadi aplanospore, baru kemudian berkembang menjadi sel vegetatif kembali. Perubahan terbanyak terjadi dari *cyst* vegetatif, dan kemudian *cyst* menjadi zoospora gymnodinioid, yang mencapai antara 80% sampai 90% populasinya. *Cyst* vegetatif juga bisa berubah menjadi *cyst* yang mengandung dua autospora sebelum berubah dan berkembang menjadi sel vegetatif.
5. Terakhir vegetatif mengalami perubahan menjadi *cyst* berisi isogamet. Isogamet ini kemudian melepaskan diri dari *cyst* menjadi isogamet bebas dan kemudian berkembang menjadi sel vegetatif kembali.

5.2. Hubungan karang dengan zooxanthellae

Hubungan antara zooxanthellae dan karang bersimbiosis mutualisme atau saling menguntungkan. Zooxanthellae ini tidak memiliki flagella dan tidak memiliki dinding sel. Jumlah zooxanthellae di dalam jaringan karang mencapai satu juta sel/cm². Kehadiran zooxanthellae di dalam tubuh karang menyebabkan karang akan memiliki warna, dan warnanya akan semakin gelap dengan semakin tingginya pigmen pada zooxanthellae. Sehingga bila 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.



Gambar 62. Siklus hidup *Symbiodinium microadriaticum*. A, sel vegetatif; B, sel vegetatif membentuk dua sel keturunan; C, vegetative cyst; D, zoosporangium matang; E, zoospora gymnodinioid; F, aplanospora; G, cyst berisi dua autospora; H, cyst berisi isogamete sedang berkembang; I, isogamet bergerak bebas (Yonge, 1963).

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

Disamping karang menyediakan nutrisi dari hasil metabolisme karang inang dan karbondioksida, zooxanthellae juga mendapatkan perlindungan dari kelompok hewan yang bersifat grazer. Disamping itu karang juga tidak akan memiliki kotoran (wastes) karena dimanfaatkan langsung oleh simbiotiknya zooxanthellae. Jadi keuntungan yang diperoleh karang sebagai inang dari zooxanthellae sebagai simbiosis berupa hasil fotosintesis, seperti gula, asam amino dan oksigen, serta pengaruh tidak langsung terjadi dalam mempercepat proses kalsifikasi.

Proses fotosintesis akan menaikkan pH dan menyediakan ion karbonat lebih banyak. Proses fotosintesis yang dilakukan zooxanthellae membutuhkan beberapa jenis ion termasuk dari kelompok ion fosfor (P). Fosfor sendiri bersifat sebagai penghambat dalam proses kalsifikasi karang. Sebaliknya proses fotosintesis sendiri berfungsi menyingkirkan inhibitor dalam proses kalsifikasi karang, yang berarti zooxanthellae juga berperan besar dalam memperlancar proses kalsifikasi hewan karang.

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

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

5.3. Rekrutmen Zooxanthellae oleh Karang

Karang batu tidak bisa dipisahkan dari zooxanthellae, karena ketergantungan hewan ini yang sangat besar terhadap simbiotnya zooxanthellae. Waktu kehadiran zooxanthellae pada siklus kehidupan karang tidak sama diantara spesies yang sama maupun diantara spesies berbeda, dan secara garis besarnya dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu:

- 1) Pada saat oogenesis baik pada karang tipe *spawning* maupun karang tipe *brooding*. Sebagian kecil spesies karang, zooxanthellae masuk dalam siklus hidup karang pada saat oosit stadium terakhir (oosit telah matang).
- 2) Pada saat embriogenesis. Pada umumnya terjadi pada karang tipe *brooding*.
- 3). Pada saat larva dan saat terbentuk polyp muda. Kelompok ini terutama terjadi pada karang tipe *spawning*.

5.3.1. Karang Tipe *Brooding*

Zooxanthellae masuk ke dalam jaringan tubuh karang dapat terjadi melalui beberapa mekanisme terkait dengan reproduksi karang. Zooxanthellae masuk dalam siklus kehidupan karang kepada keturunannya dapat dibagi menjadi dua berdasarkan asalnya, yaitu: 1) berasal dari induknya sendiri, dan 2) berasal dari alam (lingkungan). Jenis-jenis karang yang menerima zooxanthellae dari induknya berdasarkan waktu masuknya zooxanthellae kepada keturunannya juga dapat dibagi dua, yaitu: 1) pada saat oogenesis, dan 2) pada saat embriogenesis.

Jenis-jenis karang yang mentrasfer zooxanthellae dari induk kepada keturunan pada saat oogenesis hanya terjadi pada sebagian kecil jenis karang, baik karang tipe *brooding* maupun karang tipe *spawning*. Zooxanthellae sebagian besar ditransfer dari induk kepada keturunannya pada organisme karang terjadi pada saat embriogenesis baik yang diproduksi secara seksual maupun diproduksi secara aseksual, baik pada karang tipe *brooding* maupun pada karang tipe *spawning*. Hal ini menyebabkan sebagian besar planulae yang diproduksi oleh karang tipe *brooding* telah memiliki zooxanthellae pada saat dilahirkan, seperti planula *Pocillopora damicornis*, *Goniastrea aspera*, dan lain-lain.

Pada sebagian kecil karang juga dijumpai beberapa pengecualian, dimana zooxanthellae masuk ke dalam siklus kehidupan karang pada saat oogenesis. Zooxanthellae masuk pada penghujung siklus oogenesis, dan terjadi pada saat telur telah matang. Karang tipe *brooding* yang

mengandung zooxanthellae mulai dari saat oosit dijumpai pada karang *Alveopora japonica*.

Karang tipe brooding pada umumnya memproduksi planulae yang telah memiliki zooxanthellae saat dilepaskan ke alam, dan zooxanthellae berpindah dari induk kepada keturunan sebagian besar terjadi pada saat embriogenesis. Proses masuk zooxanthellae ke dalam tubuh planulae secara terinfeksi dari induknya di dalam sel endodermis pada saat embriogenesis atau pada saat awal pertumbuhan planulae (Szmant-Froelic et al., 1985). Disamping itu perpindahan zooxanthellae dari jaringan tubuh induk ke dalam jaringan tubuh larva planulae terjadi melalui jaringan epidermis menuju endodermis melewati lapisan mesoglea sebelum larvae saat berkembang menjadi larva yang matang (Montgomery dan Kremer, 1995; Benayahu, 1997; Benayahu, dan Schleyer, 1998). Zooxanthellae yang ditransfer dalam jumlah berlipat ganda terhadap keturunannya.

Waktu masuk zooxanthellae ke dalam oosit/planulae tidak sama pada oogenesis/embriogenesis karang yang telah memiliki zooxanthellae. Kejadian ini tidak hanya berlaku diantara spesies yang berbeda, tetapi juga terjadi pada spesies yang sama sekalipun bila berada pada daerah berbeda. Rekrutmen zooxanthellae pada siklus kehidupan karang *A. japonica* umpamanya, spesies ini termasuk salah satu jenis karang yang memproduksi planula yang telah mengandung zooxanthellae. Akan tetapi perpindahan zooxanthellae dari jaringan tubuh induk ke dalam jaringan tubuh keturunannya terjadi pada saat oogenesis pada karang *A. japonica* yang ditemukan di Amakusa Jepang. Zooxanthellae masuk dalam siklus kehidupan spesies ini pada saat oosit Stadium V, yang dijadikan salah satu ciri oosit Stadium V pada saat oogenesis (Thamrin, 2001). Sementara oogenesis karang *A. japonica* yang ditemukan di Teluk Tokyo pada negara yang sama justru tidak mengandung zooxanthellae, akan tetapi larva planulae yang dilepaskan pada waktu planulasi telah mengandung zooxanthellae sebagaimana yang dijumpai dengan di Amakusa (Harii, 1995).

Perbedaan waktu kehadiran zooxanthellae pada karang *A. japonica* pada kedua daerah tersebut diperkirakan disebabkan waktu pengambilan sampel tidak tepat pada waktunya. Seperti pada karang *Porites* dan *Montipora*, zooxanthellae masuk ke dalam telur beberapa minggu sebelum matang (Heyward, 1986; Tomascik and Sander, 1987). Sedangkan Hirose et al., (2000) menemukan zooxanthella masuk ke dalam telur karang *Pocillopora verrucosa* dan *P. eydouxi* pada hari ke tiga atau ke-empat sebelum spawning. Sementara oosit karang *Montipora digitata* baru dimasuki zooxanthella hanya 24 jam sebelum spawning (Harrison and Wallace, 1990).

Sebagian besar planulae karang tipe brooding telah memiliki zooxanthellae saat dilahirkan. *Micro-algae* ini hanya terbatas dijumpai di dalam lapisan endodermis planulae yang diproduksi oleh sebagian besar jenis karang sebagaimana dijumpai pada semua jenis karang telah dewasa. Perbedaan ditemukan pada planulae beberapa jenis karang dimana zooxanthellae berada tidak hanya di dalam jaringan endodermis, tetapi juga dijumpai pada lapisan epidermis. Dalam arti kata zooxanthellae tidak selamanya ditemukan pada jaringan endodermis planulae semua jenis karang. Beberapa jenis karang seperti *Euphyllia glabrescens*, zooxanthellae terutama dijumpai pada lapisan epidermis (Kawaguti, 1941a). Sedangkan karang dari kelompok brooding isopora *Acropora* melahirkan planulae tanpa mengandung zooxanthellae yang menyebabkan warnanya menjadi cerah (Kojis, 1986a).

5.3.2. Karang Tipe *Spawning*

Jenis karang yang melakukan pembuahan di luar tubuh induk atau dengan spawning umumnya melepaskan telur yang belum memiliki zooxanthellae. Zooxanthellae akan masuk ke dalam siklus hidup karang pada saat embriogenesis di dalam kolom air. Akan tetapi keadaan ini tidak semua jenis karang memiliki siklus seperti demikian. Beberapa spesies karang telah mentransfer zooxanthellae ke dalam telur melalui mesentery induk dan telur yang dikeluarkan pada saat spawning telah memiliki zooxanthellae. Keadaan seperti ini ditemukan pada spesies karang *Pocillophora verrucosa*, *P. eydouxi*, dan dari kelompok *Montipora* serta kelompok *Porites*.

Zooxanthellae masuk dalam siklus oogenesis karang tipe *spawning* yang telah memiliki *micro-algae* ini berkisar antara satu hari (24 jam) sampai 3 hari sebelum spawning. Seperti pada karang *Montipora digitata*, oosit baru dimasuki zooxanthella hanya 24 jam sebelum spawning (Harrison and Wallace, 1990). Zooxanthellae minimal masuk dalam siklus hidup karang *P. verrucosa* dan *P. eydouxi* 3 hari sebelum spawning. Zooxanthellae pertama didistribusikan merata di dalam ooplasma, akan tetapi antara 1 sampai 2 hari sebelum *spawning*, dan *micro-algae* ini menjadi terkonsentrasi di dalam belahan (*hemisphere*) yang mula-mula mengandung gelembung. Pada belahan yang lain mengandung banyak bintik-bintik lemak sangat kecil yang diperkirakan berjumlah seimbang dengan jumlah zooxanthellae. Walau gelembung-gelembung tidak lama muncul menjelang telur dikeluarkan, zooxanthellae tersisah terkonsentrasi pada belahan yang mengandung nukleus. Pada waktu spawning, telur kedua spesies ini berukuran lebih kurang berdiameter 140 μm dan berisi sekitar 130 zooxanthellae (Hirose *et al.*, data tidak dipublikasi).

Sebagian besar jenis karang tipe *spawning* belum memiliki zooxanthella ketika dikeluarkan ke dalam kolom air (*spawning*) sebagaimana disebutkan di atas. Rekrutmen zooxanthella untuk karang tipe ini terjadi setelah terjadi proses fertilisasi. Namun masuknya zooxanthellae ke dalam siklus hidup karang tipe *spawning* tetap berbeda diantara spesies, yaitu antara 3 sampai 5 hari setelah fertilisasi. Karang *Fungia scutaria* merekrut zooxanthella pada hari ke empat atau pada hari ke lima setelah fertilisasi (Krupp, 1983). Oosit spesies *Pocillophora verrucosa* dan *P. eydouxi* mulai merekrut zooxanthella pada hari ke tiga atau pada hari ke empat sebelum terjadinya *spawning* (Hirose et al., 2000). Zooxanthellae diperkirakan masuk ke dalam larva melalui lapisan epidermis/ektodermis di dekat lubang oral atau oral pore (Szmant-Froelich et al., 1985; Chornesky dan Peters, 1987).

5.4. Fluktuasi zooxanthellae

Zooxanthellae di dalam tubuh karang pada dasarnya memiliki jumlah yang stabil, namun tetap terjadi pertukaran. Keadaan ini dialami karang bila kondisi lingkungan tidak mengalami perubahan atau dalam keadaan normal, sebagai mana dikatakan Drew (1972). Di alam tidak bisa dihindari perubahan densitas zooxanthella di dalam jaringan tubuh karang, dimana densitas zooxanthella yang dikandung karang berfluktuasi sepanjang waktu. Karena di alam berbagai faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi densitas zooxanthella bisa ditemukan setiap waktu. Karena secara relatif sedikit saja perubahan parameter lingkungan (fisika) laut, secara drastis mempengaruhi stabilitas zooxanthella di dalam karang (Glynn 1990).

Karang sebagai organisme yang memiliki ketergantungan sangat besar terhadap cahaya menyebabkan kelompok hewan ini hanya ditemukan terbatas di perairan dangkal yang jernih. Densitas zooxanthella di dalam tubuh karang berubah-ubah sepanjang waktu tergantung pada kondisi lingkungan di sekitarnya. Fluktuasi tahunan zooxanthella tertinggi terjadi pada musim dingin dan sebaliknya kepadatan paling rendah terjadi pada penghujung musim panas. Sebagai contoh yang terjadi di Kepulauan Lee Stocking Bahama menunjukkan bahwa kepadatan (Fitt et al., 2000). Fluktuasi densitas zooxanthella ini terjadi sepanjang tahun dan bahkan sepanjang waktu. Apalagi faktor lingkungan, seperti suhu yang dibutuhkan karang berdekatan dengan batas ambang atas yang bisa menyebabkan terjadinya *bleaching* pada karang, yaitu antara suhu 25-30°C. Sementara perairan tropis yang menjadi daerah utama penyebaran karang hermatypic tidak jarang melebihi suhu 30°C pada saat musim panas.

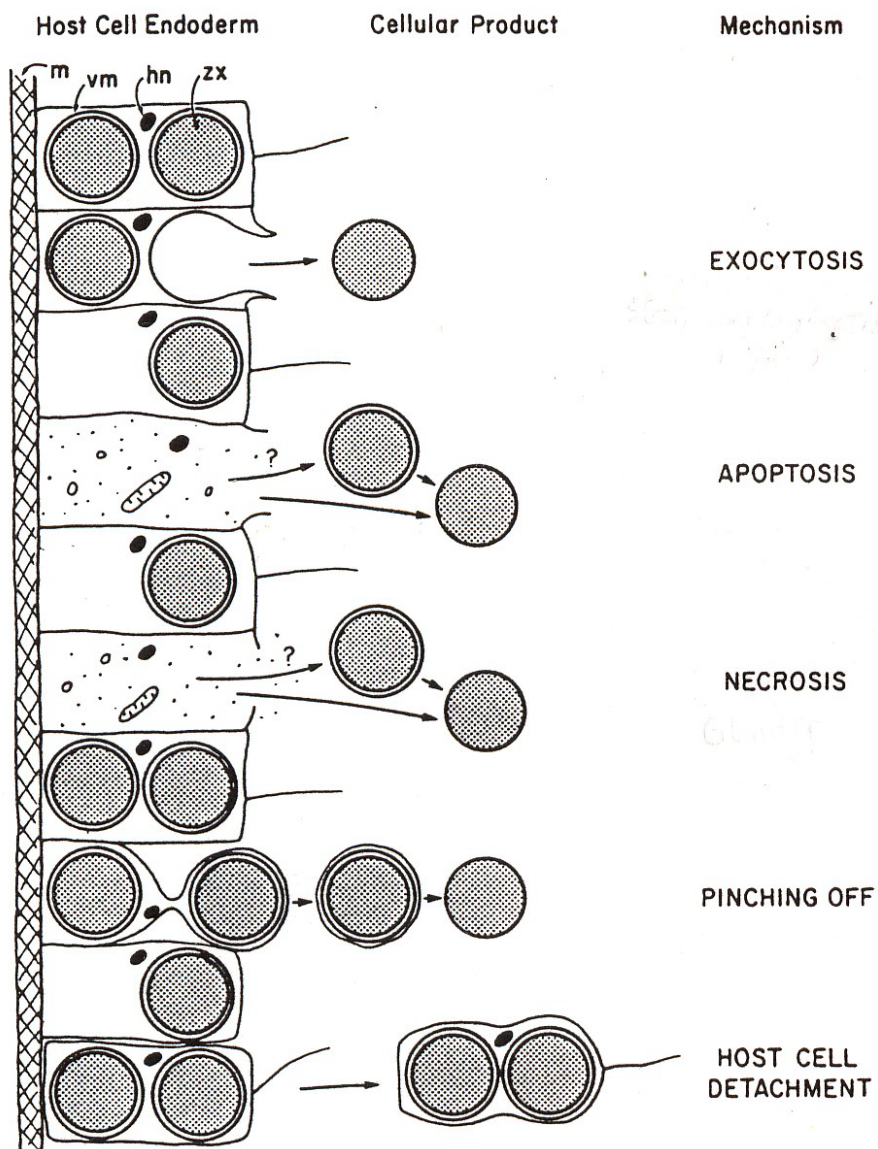
5.5. Faktor-faktor yang mempengaruhi densitas Zooxanthellae

Bermacam-macam faktor lingkungan dapat menyebabkan terjadinya pemutusan hubungan antara zooxanthella sebagai simbiosis dan karang sebagai inang. Pada umumnya perubahan faktor lingkungan ini menyebabkan keluarnya zooxanthellae dari dalam tubuh karang, yang kemudian menyebabkan karang menjadi berwarna putih. Peristiwa ini dikenal dengan nama bleaching pada karang. Mekanisme keluarnya zooxanthellae dari dalam tubuh karang baik karang batu maupun karang lunak dibagi menjadi 5 cara, yaitu: 1) exocytosis zooxanthellae dari sel inang, yaitu pelepasan zooxanthella secara terpisah (Steen dan Muscatin, 1987); 2) apoptosis, yaitu sel mati; 3) necrosis, zooxanthellae keluar bersama-sama sisa sel inang (Searle et al., 1982); 4) pinching off of the distal portion of the distal cell, yaitu pelepasan zooxanthella dikelilingi oleh vacuola dan membran plasma tipis (Glider, 1983); dan 5) host cell detachment yaitu pelepasan sel endoderm dari inang dilengkapi sel zooxanthella. Dari lima mekanisme ini diketahui 4 cara pelepasan zooxanthella disertai oleh sel inang (Gambar 62).

Faktor-faktor yang dominan menyebabkan terjadinya pemutihan karang meliputi peningkatan atau penurunan suhu air laut di atas atau di bawah ambang (Glynn, 1988; Brown dan Suharsono, 1990), peningkatan atau penurunan salinitas secara drastis (Jaap, 1985; Oliver, 1985; Acevedo and Goenaga, 1986), padatan tersuspensi dan sedimentasi (Rice and Hunter, 1992; Thamrin et al., 2003a,b), polusi, penyakit dan pemangsa karang.

5.5.1. Pengaruh kenaikan dan penurunan temperatur/suhu

Salah satu faktor yang mempengaruhi fluktuasi densitas zooxanthellae di dalam tubuh karang adalah berhubungan dengan suhu perairan. Fluktuasi densitas zooxanthellae yang dialami karang berdampak pada perubahan warna koloni karang disamping dipengaruhi pigmen yang dikandung karang sendiri. Densitas zooxanthellae menurun dengan peningkatan temperatur. Densitas zooxanthellae karang paling rendah terjadi pada musim panas dan paling padat terjadi pada musim dingin (Fitt et al., 2000). Temperatur merupakan salah faktor yang sangat mempengaruhi kehadiran dan kelangsungan hewan karang pada suatu perairan. Salah satu faktor yang sangat berbahaya bagi karang berhubungan dengan temperatur termasuk peristiwa global warming El-Nino, yang dapat menghancurkan karang dalam skala besar dan dalam waktu relatif singkat.

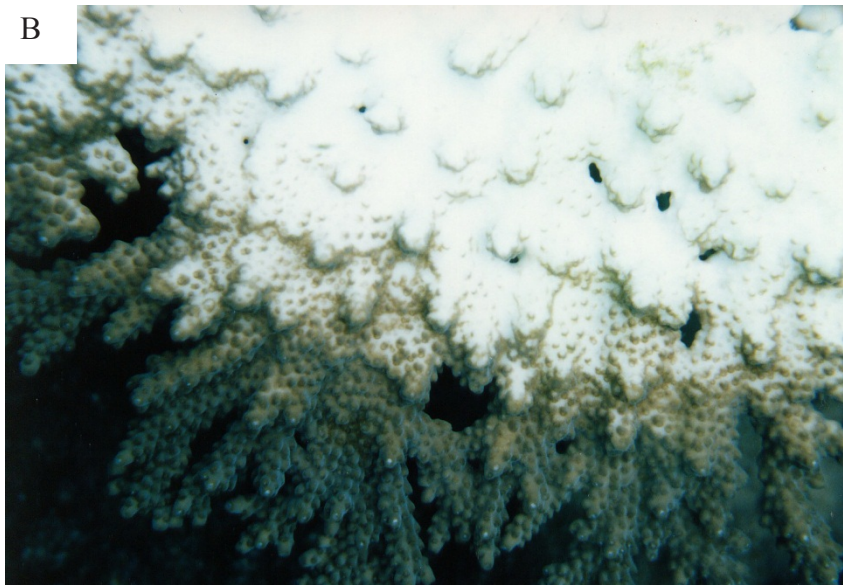
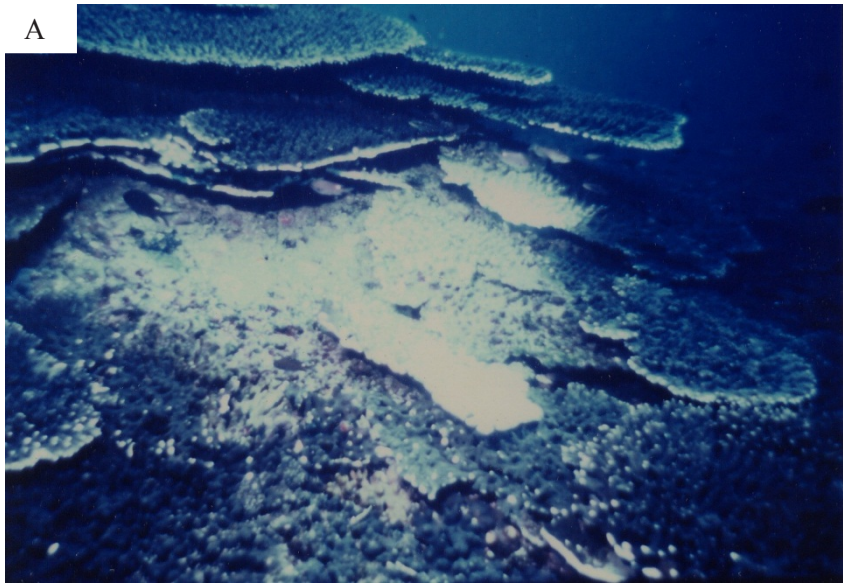


Gambar 63. Skema mekanisasi pelepasan zooxanthella dari lapisan endoderem cnidaria. Hn = nukleus sel inang, zx = zooxanthellae (Gates et al., 1992).

Berbagai faktor lingkungan dapat mempengaruhi fluktuasi densitas zooxanthellae di dalam tubuh karang. Faktor-faktor dominan yang mempengaruhi termasuk peningkatan dan penurunan temperatur secara drastis, peningkatan atau penurunan temperatur di atas atau di bawah ambang. Bila densitas zooxanthellae menurun akan menyebabkan karang mengalami perubahan warna dari warna semula yang umumnya berwarna coklat menjadi keputih-putihan atau putih sama sekali, tergantung proporsi densitas zooxanthellae yang tersisah di dalam jaringan tubuh hewan karang. Peristiwa keluarnya zooxanthella dari dalam tubuh karang disebut dengan *bleaching* (Gambar 63).

Fluktuasi densitas zooxanthellae dan perubahan warna yang dialami karang berhubungan dengan peristiwa keluar masuknya zooxanthella dari dan ke dalam jaringan hewan karang. Bila zooxanthella keluar dari dalam jaringan tubuh karang menyebabkan warna karang bersangkutan akan menjadi putih. Pemutihan pada karang juga dikenal dengan istilah *bleaching* pada karang, dan dapat juga didefinisikan sebagai hilangnya karakteristik warna karang normal dari karang hidup. Hilangnya warna yang umumnya berhubungan dengan keluarnya zooxanthella dari dalam tubuh karang, atau juga bisa terjadi dari hilangnya figmen zooxanthella tanpa penurunan jumlah zooxanthellae atau keluar sama sekali zooxanthellae dari dalam tubuh karang (Hoegh-Gulberg dan Smith, 1989).

Peristiwa di alam yang sangat berbahaya terhadap karang adalah peningkatan suhu permukaan laut secara global yang dikenal dengan peristiwa El-Nino (*global warming*) sebagaimana disebutkan di atas. Peristiwa *global warming* telah beberapa kali melanda dunia, yang menyebabkan sebagian besar karang diseluruh dunia, seperti di Pasifik, di Laut Karibian dan termasuk di Indonesia mengalami *bleaching* secara menyeluruh. Seperti peristiwa pemanasan global skala besar El Nino pada tahun 1982-1983 yang menyebabkan terjadinya peristiwa *bleaching* yang diikuti kematian besar-besaran organisme karang di Perairan Panama (Glynn, 1984).



Gambar 64. 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).

5.5.2. Pengaruh Salinitas

Penurunan dan kenaikan salinitas yang tidak normal merupakan salah satu faktor yang menyebabkan karang mengalami *bleaching*. Organisme karang memiliki kesempatan besar berhadapan dengan penurunan salinitas yang drastis terutama pada karang yang umumnya berada pada daerah dangkal disepanjang pantai pulau-pulau berukuran besar atau benua.

Hewan karang 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. Salinitas merupakan salah satu parameter lingkungan yang ikut mempengaruhi kehidupan karang. Salinitas optimal yang dibutuhkan berkisar sekitar 35 ‰, walaupun karang masih ditemukan pada salinitas 40 ‰. Pengaruh peningkatan salinitas secara drastis dari titik optimum (35 ‰) yang dibutuhkan karang sulit ditemukan pada perairan laut. Kadar garam perairan yang selalu mempengaruhi hewan karang justru berhubungan dengan penurunan drastis salinitas. Cole dan Jokiel (1992) menyatakan bahwa karang hidup dengan optimal pada kisaran salinitas antara 25 – 42 ‰, akan tetapi organisme ini akan mengalami kematian secara massal bila salinitas menurun sampai 15 ‰ atau 20 ‰ untuk periode waktu 24 jam atau lebih.

Penurunan salinitas secara drastis berhubungan dengan luapan air tawar dari daratan menuju daerah terumbu karang. Seperti pada daerah bagian dalam Teluk Thailan yang memiliki lima sungai besar yang mengalir ke dalam teluk tersebut. Jumlah luapan air tawar ke daerah tersebut pada musim hujan mencapai $250 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{tahun}$ (Menasveta et al., 1986), yang menyebabkan salinitas perairan turun sampai 10 ‰.

Penurunan salinitas menjadi 15 ‰ juga pernah terjadi pada permukaan air di perairan Teluk Kaneohe Hawaii menyebabkan seluruh karang pada kedalaman 1-2 m mati semua. Penurunan mendadak ini disebabkan banjir bandang pada malam 31 Desember 1987 di daerah tersebut (Jokiel et al., 1993). Salinitas baru kembali antara 2 sampai 3 bulan kemudia. Bencana alam ini tidak hanya menyebabkan kematian hewan karang secara menyeluruh, akan tetapi juga disertai organisme lain seperti dari kelompok ekinodermata dan crustacea.

Pengaruh umum perubahan kondisi lingkungan terhadap karang termasuk penurunan salinitas yang mendadak adalah terjadinya stress pada karang. Stres yang diakibatkan penurunan salinitas pada umumnya mempengaruhi pertumbuhan, kemampuan untuk bereproduksi dan kelulusan hidup karang (Moberg et al., 1997).

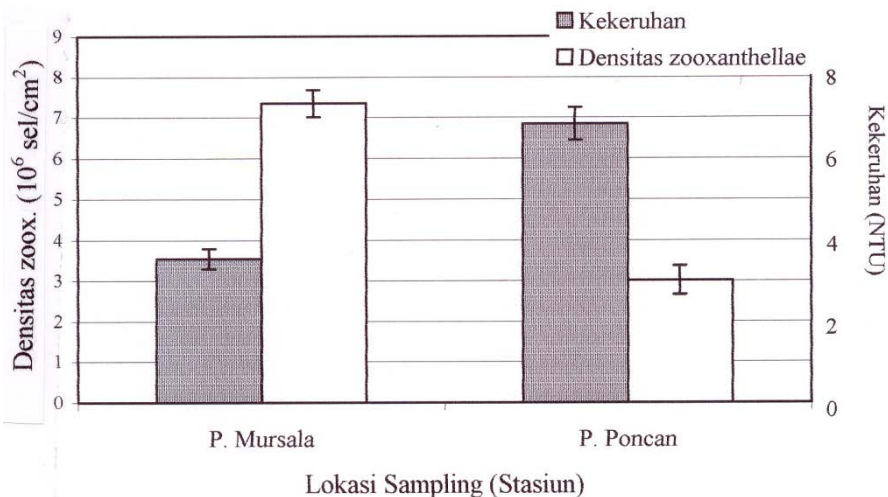
Pengaruh penurunan salinitas secara fisiologi terhadap karang pada dasarnya tidak sama diantara spesies. Seperti karang *Pocillopora damicornis* lebih rentan terhadap penurunan salinitas dibandingkan karang *Porites lutea*, walaupun kedua spesies ini sama-sama mengalami stres dengan perubahan tersebut. Pengaruh ini diketahui dari perubahan oksigen terlarut setiap jam dan rasio produksi kotor respirasi menurun secara signifikan pada spesies *P. damicornis* dari salinitas 30 ‰ berubah ke 20 ‰ dan 10 ‰. Akan tetapi pada spesies karang *P. lutea* kurang terpengaruh oleh perubahan tersebut (Moberg et al., 1997).

5.5.3. Pengaruh Padatan Terlarut dan Sedimentasi

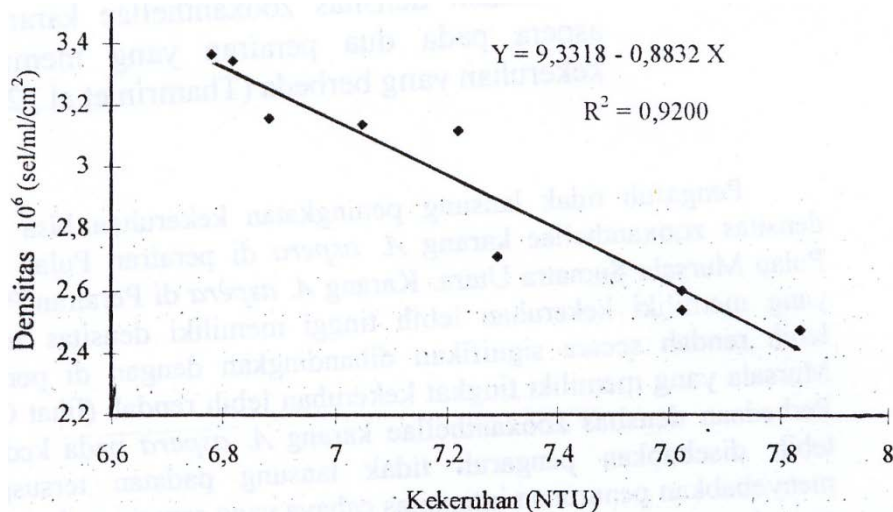
Pengaruh sedimentasi merupakan salah satu masalah yang sangat serius pada umumnya organisme laut, diantaranya termasuk hewan karang. Penelitian pengaruh sedimentasi sendiri terhadap karang telah banyak dilakukan (Hubbard et al., 1987; Rogers 1990; Rice and Hunter, 1992). Kekeruhan (padatan tersuspensi) mempengaruhi sepanjang siklus hidup hewan karang, mulai dari saat gametogenesis, fertilisasi, rekrutmen, pertumbuhan sampai pada *survival rate* karang sendiri.

Pengaruh kekeruhan (padatan tersuspensi) termasuk pada densitas zooxanthellae karang, dan sebagai contoh terhadap densitas zooxanthellae pada karang *Acropora aspera* di Pulau Poncan dan Pulau Mursala. Tingkat kekeruhan berbeda menyebabkan densitas zooxanthellae pada karang *A. aspera* berbeda. Karang *A. aspera* merupakan salah satu spesies yang umum dijumpai di perairan Pulau Mursala dan Pulau Poncan Sibolga Sumatra Utara. Spesies bertipe bercabang ini bisa ditemukan pada perairan dangkal dengan tingkat kekeruhan yang berbeda. Dari pengamatan secara visual menunjukkan bahwa warnanya tidak begitu berbeda walau berada dalam tingkat kekeruhan yang beragam.

Tingkat kekeruhan perairan Pulau Poncan lebih tinggi secara signifikan dibandingkan dengan kekeruhan perairan Pulau Mursala ($P < 0,5$) (Gambar 64). Perbedaan kekeruhan kedua perairan menyebabkan densitas zooxanthellae *A. aspera* yang berada pada kedua perairan berbeda secara signifikan ($P < 0,5$) (Gambar 65). Disamping itu juga ditemukan bahwa densitas zooxanthellae *A. aspera* berbanding terbalik dengan tingkat kekeruhan perairan. Bila tingkat kekeruhan perairan tinggi maka karang *A. aspera* memiliki densitas zooxanthellae yang rendah, dan begitu pula sebaliknya. Dari Reregresi linier memperlihatkan hubungan antara rerata tingkat kekeruhan harian dengan densitas zooxanthellae yang di Pulau Poncan diperoleh hubungan yang negatip (Gambar 66). Densitas zooxanthellae menurun dengan meningkatnya kekeruhan, dengan nilai $R^2 = 0,9200$.



Gambar 65. Perbedaan densitas zooxanthellae karang *Acropora aspera* pada dua perairan yang memiliki tingkat kekeruhan yang berbeda (Thamrin et al., 2004).



Gambar 66. Pengaruh kekeruhan terhadap densitas zooxanthellae pada karang *Acropora aspera* (Thamrin et al., 2004).

Pengaruh tidak langsung peningkatan kekeruhan bisa dilihat pada densitas zooxanthellae karang *A. aspera* di perairan Pulau Poncan dan Pulau Mursala Sumatra Utara. Karang *A. aspera* di Perairan Pulau Poncan yang memiliki kekeruhan lebih tinggi memiliki densitas zooxanthellae lebih rendah secara signifikan dibandingkan dengan di perairan Pulau Mursala yang memiliki tingkat kekeruhan lebih rendah (lihat Gambar 64). Perbedaan densitas zooxanthellae karang *A. aspera* pada kedua perairan lebih disebabkan pengaruh tidak langsung padatan tersuspensi yang menyebabkan penurunan intensitas cahaya yang sampai pada zooxanthellae yang berada di dalam jaringan endodermis karang. Sehingga intensitas cahaya yang sampai pada organisme karang lebih tinggi pada Perairan Mursala yang jernih dibandingkan Perairan Poncan yang keruh. Karang yang berada pada perairan yang memiliki intensitas lebih rendah juga memiliki densitas lebih rendah karena cahaya yang tersedia hanya bisa dimanfaatkan zooxanthella dalam jumlah terbatas untuk melakukan fotosintesis, dibandingkan dengan karang yang menerima intensitas cahaya lebih tinggi.

Keadaan di atas bisa terjadi terutama pada karang yang memiliki tipe bercabang, dimana sedimentasi sulit menempel pada koloni yang memiliki bentuk dan posisinya demikian. Akan tetapi pada karang dengan bentuk melebar atau massive akan menerima pengaruh langsung dan tidak langsung dari padatan tersuspensi disuatu perairan. Pengaruh langsung berupa penutupan langsung oleh padatan tersuspensi bila terjadi pengendapan ke dasar. Bila jumlah pengendapan tidak begitu banyak atau masih bisa ditolelir karang, namun tetap berpengaruh terhadap proses fisiologi karang bersangkutan. Pengaruh padatan tersuspensi yang mengendap menutupi karang, dan tetap berpengaruh terhadap aspek karang lainnya seperti pertumbuhan, reproduksi dan proses fisiologi lainnya. Karena energi yang seharusnya digunakan untuk proses fisiologi tertentu akan dialihkan untuk membersihkan diri dari tutupan sedimen yang menutupi karang. Kemudian pengaruh langsung pengendapan padatan terlarut yang mengendap lebih jauh akan menutupi permukaan polip-polip karang, dan pengaruh ini bisa menyebabkan stres pada karang yang akhirnya menyebabkan zooxanthellae keluar dari jaringan tubuh karang (Rice and Hunter, 1992).

Pengaruh tidak langsung padatan tersuspensi akan menghalangi jumlah intensitas cahaya yang masuk ke dalam perairan. Sehingga semakin tinggi padatan tersuspensi akan meningkatkan tingkat kekeruhan. Pengaruh tidak langsung kekeruhan pada karang terjadi karena padatan tersuspensi ini akan menghambat atau akan mengurangi intensitas cahaya yang diterima zooxanthella yang berada di dalam tubuh karang. Zooxanthella sebagai *micro algae* memerlukan cahaya untuk melakukan aktivitas fotosintesis. Hal ini menyebabkan karang pada kedalaman yang sama pada perairan yang memiliki tingkat kekeruhan yang lebih tinggi menyebabkan cahaya yang sampai pada karang lebih rendah dibandingkan dengan perairan yang lebih jernih.

Lapisan endodermis karang hampir seluruhnya ditutupi zooxanthellae, sehingga pada lapisan ini hanya kelihatan jenis *micro-algae* tersebut. Perbedaan densitas zooxanthellae pada jenis karang yang sama pada tingkat kekeruhan yang berbeda disebabkan zooxanthellae sebagai kelompok tumbuhan tingkat rendah yang membutuhkan sinar matahari memiliki batasan intensitas cahaya tertentu untuk melakukan kegiatan fotosintesis. Perbedaan intensitas cahaya ini yang menyebabkan terjadinya perbedaan densitas zooxanthellae di dalam jaringan tubuh karang, karena bila intensitas cahaya tinggi lebih banyak zooxanthellae yang bisa memanfaatkan cahaya yang menyebabkan densitas zooxanthellae di dalam jaringan karang lebih besar (Thamrin et al., 2002). Sebaliknya bila intensitas cahaya yang tersedia lebih kecil menyebabkan jumlah zooxanthellae yang bisa memanfaatkannya lebih sedikit, yang menyebabkan densitas zooxanthella di dalam lapisan endodermis karang inang lebih rendah.

Zooxanthellae merupakan salah satu organisme yang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, baik yang berasal dari pengaruh bersifat fisika maupun pengaruh bersifat kimia. 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 perubahannya hampir bersamaan dengan perubahan parameter lingkungan yang terjadi. Seperti ditemukan pada karang *Acropora aspera* terhadap peningkatan padatan tersuspensi di dalam air. Densitas zooxanthellae menurun secara signifikan dengan meningkatnya padatan tersuspensi harian di dalam air (Thamrin et al., 2002) (lihat Gambar 65).

Sifat zooxanthella yang sangat sensitif terhadap perubahan berbagai faktor secara tidak langsung menyebabkan karang menjadi organisme yang sangat rentan terhadap perubahan lingkungan. Hubungan antara karang

sebagai inang dan zooxanthella sebagai simbion menempatkan karang pada posisi yang sangat lemah. Karena hubungan kedua organisme ini yang bersifat secara saling menguntungkan (simbiosis mutualisme) tidak secara permanen. Zooxanthellae hidup dan tinggal di dalam jaringan tubuh karang hanya sepanjang menguntungkan, dan zooxanthellae akan secepatnya meninggalkan tubuh karang inang bila keadaan lingkungan mengalami perubahan. Peristiwa keluarnya zooxanthella dari tubuh karang baik sebagian atau seluruh zooxanthellae juga dikenal dengan peristiwa *bleaching* pada karang (Hoegh-Gulberg dan Smith, 1989). Namun kesimpulan umum menyatakan bahwa pemutihan karang disebabkan hilangnya zooxanthellae dari dalam tubuh karang.

Tingkat kekeruhan yang normal pada daerah terumbu karang berkisar antara 0 mg/liter sampai 10 mg/liter (Larcombe et al., 1995; Rogers, 1990). Untuk jenis karang tertentu juga ditemukan pada perairan yang lebih keruh, bahkan memiliki fluktuasi yang sangat tinggi. Seperti karang *Aulophyllia* yang tidak jarang dijumpai di daerah intertidal yang pada saat tertentu memiliki kecerahan yang tinggi, sebaliknya disaat lain pada saat gelombang kuat menghempas pantai daerah ini memiliki tingkat kekeruhan yang sangat tinggi.

Kekeruhan (padatan tersuspensi) mempengaruhi sepanjang siklus hidup hewan karang. Pada karang tipe brooding, kekeruhan mempengaruhi karang mulai dari saat larva seperti mortalitas larva planulae, keberhasilan larva planulae menempel, pertumbuhan, fekunditas sampai kelangsungan hidup karang. Pada kelompok karang yang melakukan spawning, dimana telur dan sperma dikeluarkan untuk melakukan proses fertilisasi di dalam kolom air, pengaruh kekeruhan juga sangat besar, termasuk dalam menentukan keberhasilan sperma untuk membuahi sel telur. Kecepatan fertilisasi lebih rendah terjadi pada tingkat kekeruhan lebih tinggi dibandingkan dengan tingkat kekeruhan lebih rendah pada karang. Gilmour (1999) membuktikan melalui experiment pada karang *Acropora digitifera* bahwa kecepatan fertilisasi pada control dengan padatan tersuspensi 0 % berkisar antara 80 sampai 90 % pada 3 jam pertama eksperimen dibandingkan dengan tingkat kekeruhan yang rendah dengan padatan tersuspensi mencapai 50 mg/liter, dan tingkat kekeruhan yang tinggi dengan padatan tersuspensi 100 mg/liter hanya mengalami fertilisasi antara 30 sampai 40 %.

Pengaruh yang lebih fatal kekeruhan adalah bisa menyebabkan kematian pada karang mulai dari saat larva sampai pada yang sudah matang. Mortalitas larva planulae meningkat dan mencapai lebih dari 80 % pada tingkat kekeruhan rendah dan tingkat kekeruhan yang tinggi dalam waktu 12 jam, dan mortalitas meningkat mencapai 98 % setelah lebih dari

12 jam. Sementara pada perairan yang memiliki tingkat kecerahan yang tinggi atau pada perairan yang terhindar dari padatan tersuspensi memiliki kelulus hidup yang hampir konstan selama 24 jam.

Padatan terlarut yang berada di dalam perairan akan membentuk sedimentasi bila terjadi pengendapan. Pengaruh sedimentasi pada saat karang masih dalam bentuk larva bisa menghalangi planula untuk menempel dan sekaligus dapat menutupi larva dalam tahap koloni (koloni muda) yang dapat berakibat kematian. Untuk karang dewasa, sedimentasi mempengaruhi karang dalam berbagai aspek, mulai dari bentuk dan warna, kecepatan pertumbuhan, reproduksi termasuk, fekunditas dan bahkan bisa membunuh karang, tergantung pada tingkat konsentrasi/laju sedimentasi yang terjadi.

Bab 6

TINGKAH LAKU PLANULA DALAM MENEMPEL & REKRUITMEN

Planula adalah nama yang diberikan pada larva karang. Planula sebagian besar karang diproduksi secara seksual, baik melalui reproduksi secara brooding maupun secara spawning. Planula karang sampai saat ini yang diketahui diproduksi secara aseksual ditemukan pada spesies karang *Pocillopora damicornis* yang berada di barat Australia (Lihat BAB 2). Planula karang tipe spawning mampu menempel 6 hari setelah spawning dan planula yang diproduksi secara brooding menempel, dan mampu menempel mulai dari beberapa saat sampai lebih dari 100 hari setelah dilepaskan oleh induknya.

6.1. Tingkah laku Planula

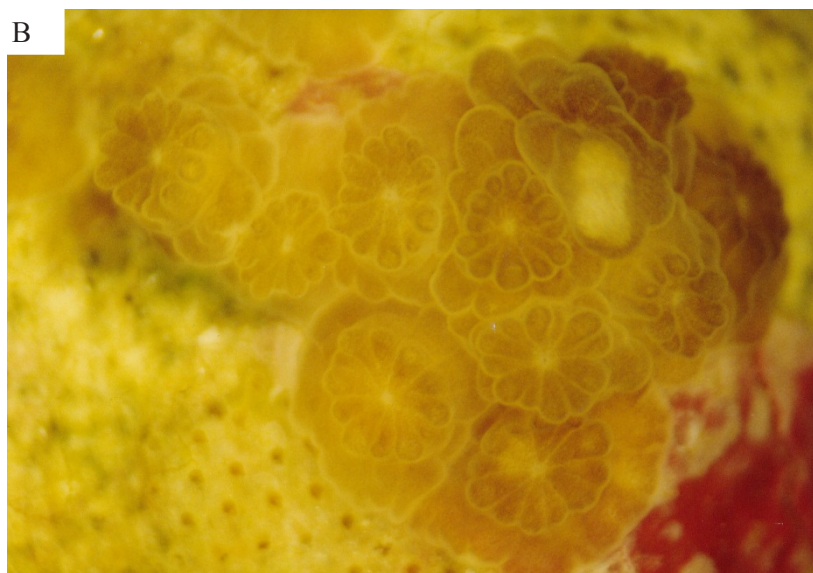
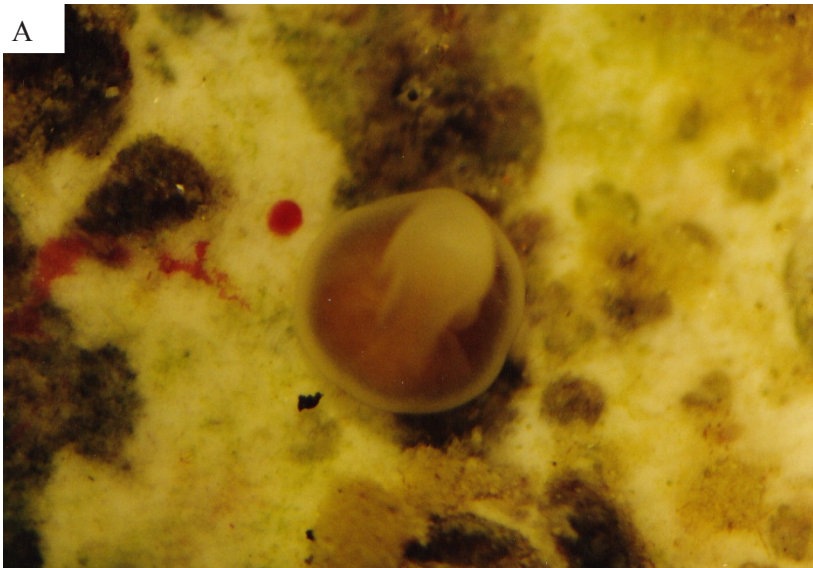
Tingkah laku planula pada sebagian besar jenis karang memiliki kesamaan dalam melakukan penempelan. Penempelan terjadi pada substrat keras dan lebih menyukai celah atau retakan suatu substrat. Planula yang dihasilkan secara brooding (pembuahan di dalam tubuh induk), pada waktu pengeluaran planula dari induknya tidak langsung dikeluarkan. Pada karang *Alveopora japonica* yang kebetulan memiliki polip bisa memanjang beberapa centimeter menunjukkan planulae beberapa kali bolak balik

antara coelenteron sampai keperbatasan mulut polip, kemudian baru dikeluarkan. Setelah polyp meluncur dari mulut polip ke dalam kolom air akan terhentik sejenak, baru kemudian berenang. Pada umumnya planula yang baru saja dikeluarkan bersifat fototaksis dan berkelompok pada permukaan yang memiliki cahaya lebih banyak. Keadaan ini berakhir pada waktu menjelang sore hari, dimana planula lebih condong menjauh dari daerah cahaya. Pada saat tersebut planula berada di dasar sambil mengadakan survei untuk mencari tempat menempel dengan menggunakan bagian aboralnya.

Sebagian kecil planulae karang yang dikeluarkan langsung menuju dasar dan menempel. Pada karang *Alveopora japonica* ditemukan sekitar 10 % langsung menuju dasar setelah planula dikeluarkan. Termasuk planulae abnormal (bercabang) sebagian besar langsung menuju dasar karena tidak memiliki kemampuan untuk berenang (tergantung panjang cabang terbentuk). Pada saat akan menempel planula mulai dengan melakukan survei substrat atau survei lingkungan yang cocok dengan menggunakan bagian aboral. Survei planula mencari substrat memakan waktu antara dalam hitungan menit sampai bulanan. Planula menempel dengan posisi aboral melekat pada bagian permukaan substrat dan sebaliknya bagian oral mengarah ke atas (Gambar 67A), serta condong menempel secara mengelompok (Gambar 67B). Bila planula menempel dan kemudian ternyata tidak cocok dengan substrat tempatnya menempel, maka planulae akan melepaskan diri kembali dari substrat dan melakukan survei kembali sampai menemukan substrat yang cocok untuk menempel.

Beberapa saat setelah planula menempel, polip langsung membentuk 6 pasang mesentery. Pada penghujung hari ke enam akan terbentuk 12 tentakel dan 12 septa, serta 6 septa lainnya muncul pada hari berikutnya. Sementara theca dan columella terbentuk dalam 5 hari setelah menempel (Atoda, 1961).

Sebagian planulae jenis karang tertentu akan tetap melakukan metamorfosis walau tidak menemukan substrat yang cocok untuk menempel. Sehingga ditemukan planula telah melakukan metamorfosis pada saat masih bersifat planktonik (Gambar 67), bahkan pada karang tertentu setelah melakukan metamorfosis kemudian membentuk polip muda tanpa melekat pada substrat. Pada larva karang tertentu disamping tidak menemukan substrat juga berhubungan dengan menurunnya suhu lingkungan. Seperti kelompok planula *Alveopora japonica* yang melakukan metamorfosis dan mampu membentuk polip, namun tidak memiliki kemampuan menumpuk kalsium karbonat sebagai skeleton sekaligus untuk melekat pada substrat dasar (Gambar 68).



Gambar 67. Planula karang *Alveopora japonica* baru saja menempel dengan posisi aboral melekat pada substrat dan oral pada bagian atas (A), dan B) Planulae condong menempel dan membentuk polyp-polyp muda secara berkelompok (Foto oleh Thamrin)



Gambar 68. Polip karang *Alveopora japonica* melakukan metamorfosis membentuk polip tanpa melekat pada substrat (Foto oleh Thamrin).

Planula menempel baik pada kondisi lingkungan memiliki cahaya maupun pada kondisi tanpa cahaya (gelap) dalam waktu 1 jam sampai 103 hari setelah keluar dari induknya. Disamping faktor salinitas dan temperatur, jenis substrat yang sesuai sangat berperan dalam mendukung distribusi karang. Seperti planula karang *Goniastrea aspera* mampu menempel 1 jam setelah dilepaskan oleh induknya pada substrat yang tepat (Sakai, 1997). Bahkan planula jenis karang tertentu melakukan metamorfosis dan berkembang membentuk polip (karang muda) tanpa menempel, atau tetap berkumpul di dasar wadah perlakuan tanpa menempel. Salah satu jenis karang yang memproduksi planula yang memiliki sifat seperti ini termasuk karang *Alveopora japonica*. Diperkirakan sifat planula karang ini sangat selektif dalam memilih substrat untuk menempel, dan hal ini merupakan salah satu faktor yang menyebabkan karang *A. japonica* hanya berdistribusi terbatas atau bersifat endemik di daerah lintang tinggi Perairan Jepang dan Semenanjung Korea. Disamping disebabkan arus kurosiwo yang memiliki satu arah, spesies *A. japonica* bersifat endemik juga disebabkan pengaruh fluktuasi temperatur yang sangat tinggi bila semakin ke arah utara pada Perairan Jepang (Thamrin, 2001).

A



B



Gambar 69. Planula karang *Alveopora japonica* melakukan metamorfosis dan berkembang tanpa menempel pada substrat. A) Polip tanpa menempel sedang memendek; B) Polip tanpa menempel sedang memanjang (Foto oleh Thamrin).

Planula karang *Pocillopora damicornis* menempel dalam 12 jam di laboratorium (Richmond, 1985), akan tetapi bisa berubah kembali menjadi planula sebagai plankton bila lingkungan tidak menguntungkan. Sementara Fadlallah (1983) menemukan bahwa planula karang menempel antara 1 – 2 jam setelah dilepaskan oleh induknya.

Planulae karang tipe spawning *Platygyra daedalea* mulai menempel 48 jam setelah pembuahan, tetapi jumlahnya sangat terbatas. Jumlah maksimum planula menempel ditemukan antara 60-66 jam (2,5-2,75 hari) setelah mengalami fertilisasi. Sementara planulae karang jenis spawning *Goniastrea favulus* mulai menempel setelah 52 jam dan mencapai puncaknya setelah 90 jam (Miller dan Mundy, 2003).

Karang *Stylopora pistillata* memproduksi planula *brooding* yang mampu melakukan penempelan 48-120 hari setelah dilepaskan induknya, dan adakalanya sebagai organisme pelagik sekitar 35 hari. Sementara (Rinkhevich and Loya (1979b) menemukan bahwa planula karang *Pocillopora damicornis* bertahan sebagai organisme pelagis sekitar 35 hari, dan planula *P. damicornis* berwarna putih sebagai organisme pelagis sekitar 7-18 hari, tergantung lokasi (

Beberapa karang yang mampu menempel pada berbagai substrat seperti planula karang *Favia fragum* (Lewis, 1974). Sebaliknya juga ditemukan jenis karang memproduksi planula yang memilih jenis substrat tertentu untuk tempat menempel, dan tidak pada semua jenis substrat mau menempel. Seperti yang dijumpai pada planula karang *Alveopora japonica* tidak ada yang menempel pada bagian sudut wadah perlakuan selama 5 hari eksperimen (Thamrin, 2001). Keberhasilan planulae karang *Alveopora japonica* dalam menempel ditentukan jenis substrat. Kehadiran micro-algae, bakteri dan diatom (biofilm) tidak berpengaruh terhadap kecepatan penempelan larva *A. japonica*, sebagaimana ditemukan pada planulae karang *Pocillopora damicornis* dan karang *Favia fragum*. Sedangkan planulae diperkenalkan dengan ubin keramik hanya berkelompok tanpa menempel di dasar wadah perlakuan, dan beberapa planula melakukan metamorfosis dan berkembang membentuk polip baru yang dilengkapi dengan tentakel, namun tetap tidak menempel (lihat Gambar 69).

Penempelan planula juga dipengaruhi oleh planula yang telah menempel terlebih dahulu, atau oleh induk sendiri dimana berada. Planula karang *A. japonica* termasuk salah satu yang sangat selektif dalam memilih substrat untuk tempat menempel. Walau mikro-organisme (*biofilm*) diperlukan oleh planulae *A. japonica*, akan tetapi substrat tertentu jauh lebih penting dan menentukan dalam pemilihan substrat untuk menempel. Sehingga diperoleh planula *A. japonica* sangat berbeda dengan planula

jenis karang lainnya, seperti dikemukakan sebelumnya (Lewis, 1974; Carleton dan Sammarco, 1982; Harrison dan Wallace, 1990; Gilmour, 1999).

Disamping itu juga ditemukan planula yang membutuhkan organisme lain seperti biofilm, dan beberapa karang memproduksi planula memiliki kesamaan dengan kelompok Cnidaria yang lain dalam menempel. Proses penempelan planula dipengaruhi oleh berbagai mikro-organisme yang hidup pada substrat dasar. Beberapa organisme yang mempengaruhi penempelan planula adalah bakteri, diatom, algae dan organisme lain (*biofilm*) yang mendominasi melekat pada substrat dasar melalui kontak fisika oleh tactile atau stimulasi kimia (Harrigan, 1972; Brewer, 1976; Chia dan Bickell, 1978; Sebens, 1983; Benayahu dan Loya, 1984).

Pada umumnya planula karang scleractinia mampu menempel pada berbagai substrat selain substrat lumpur atau yang bersifat bergerak seperti pasir. Seperti planula karang *Pocillopora damicornis* mampu menempel pada bermacam-macam tipe substrat (Lewis (1974). Berdasarkan posisi tempat menempel, planulae lebih menyukai pada bagian bawah dan bagian sisi tegak substrat dibandingkan bagian atas yang terbuka. Dari manipulasi eksperimen di laboratorium dan di lapangan juga menunjukkan bahwa planula umumnya menempel di bawah permukaan objek penempelan (Lewis, 1974; Wilson dan Harrison, 1995).

Planulae yang diproduksi karang memiliki warna bermacam-macam, tergantung densitas zooxanthella yang dikandungnya. Karang *A. japonica* Eguchi memproduksi planula berwarna coklat dan putih atau keputih-putihan, normal dan abnormal (*fused*) di penghujung musim panas pada saat alga mulai tumbuh di Amakusa Jepang. Planula yang diproduksi memiliki dua tipe warna, yaitu keputih-putihan dan berwarna cokelat dengan ukuran antara 0.75 sampai 1,90 mm. Planula bercabang memiliki antara 2 sampai 4 cabang (lihat Gambar 24). Baik planulae normal maupun planula bercabang (bercabang 2 dan 3) mampu menempel melakukan metamorfosis dan berkembang sebagaimana planula pada umumnya. Hampir 80 % dari 34 planula bercabang mampu menempel dan melakukan metamorfosis ketika dipertemukan dengan substrat yang diambil dari habitat koloni induk, tetapi tipe ini berkembang menjadi lima tipe berbeda dan membentuk jumlah kepala polip utama berbeda (lihat BAB 7).

Planulae bercabang baik yang bercabang dua atau yang bercabang lebih dari dua (bercabang tiga atau empat), bila berkembang tetap menjadi satu polip utama. Perbedaan bentuk pertumbuhan antara planula normal dan planula abnormal setelah melakukan metamorfosis dan membentuk polip muda/koloni hanya ditemukan pada bentuk polip utama (polip

pertama sekali terbentuk). Polip abnormal yang diproduksi karang *A. japonica* setelah menempel dan berkembang membentuk bermacam-macam bentuk, jumlah kepala dan tentakel serta jumlah mulut yang dihasilkan planula abnormal karang *A. japonica*, akan tetapi tetap berkembang dan membentuk satu polip utama.

Penempelan planula karang tipe spawning terjadi antara 4 dan 7 hari setelah fertilisasi di laboratorium. Hasil ini menyatakan secara tidak langsung bahwa larva karang yang sebagian besar mengeluarkan gamet berkemungkinan akan menyebar jauh dari koloni induk (Babcock dan Heyward, 1986). Spesies karang tipe *spawning* membutuhkan waktu untuk berkembang dalam satu hari sampai 3 hari setelah melakukan fertilisasi, dan dilengkapi silia dan dapat bergerak (Szmant-Froelich et al., 1980; Kojis and Quinn, 1981a; Babcock 1984; Krupp 1983; Harrison et al 1984).

6.2.1. Bentuk-bentuk planula

Planula karang yang diproduksi dapat digolongkan menjadi dua, planula dalam bentuk normal dan planula abnormal. Planula normal seperti yang terlihat pada halaman 43 di atas, dan planula abnormal memiliki bentuk tubuh umumnya bercabang. Percabangan bentuk planula ini terjadi pada bagian pertengahan sampai beberapa milimeter dari ujung oral. Jadi planula bercabang memiliki satu oral dan memiliki oral antara 2 sampai 4 buah (4 cabang). Planula bercabang pada karang telah dilaporkan pada karang *Pocillopora damicornis* semenjak tahun 1971 oleh Reed, dan kemudian pada tahun berikutnya dilaporkan juga oleh Harrigan pada spesies karang yang sama pada tahun 1972. Namun planula abnormal memiliki cabang sampai 4 baru dilaporkan Thamrin pada tahun 2001. Planula bercabang dua sampai bercabang 4 ini dijumpai pada karang bersifat endemik *A. japonica* (lihat Gambar 24).

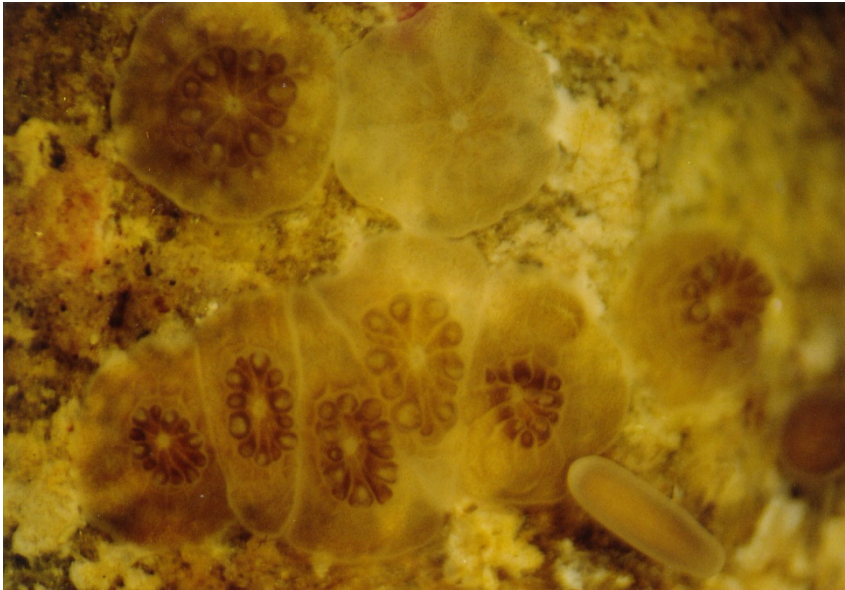
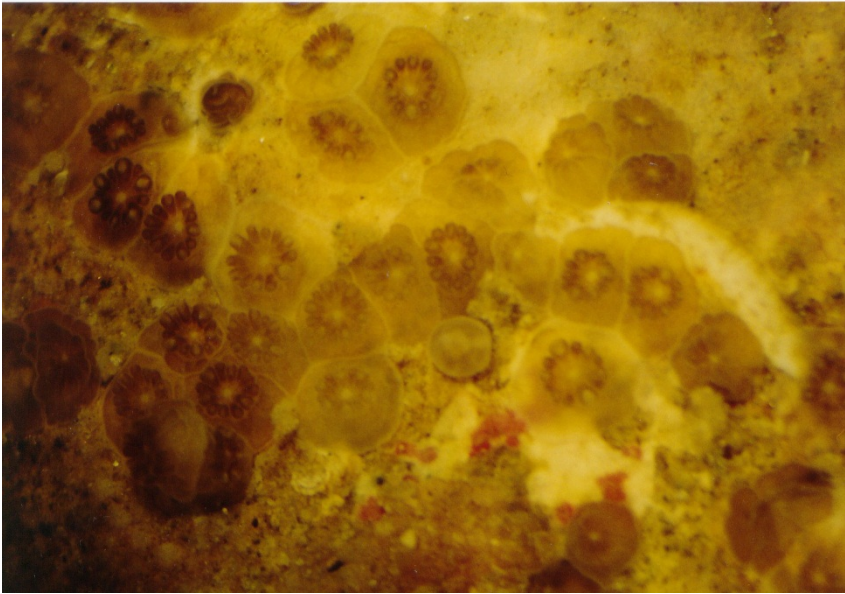
6.2.2. Tingkah laku planula

Planulae baik yang berbentuk normal maupun yang abnormal memiliki kemampuan untuk menempel, diikuti metamorfosis dan berkembang menjadi koloni dewasa. Di laboratorium menunjukkan bahwa sebagian besar jenis karang memiliki tingkah laku planula yang serupa dalam menempel. Pada umumnya planula karang hermatypic lebih menyukai menempel di sudut, di celah-celah atau daerah retakkan substrat atau permukaan kasar yang tidak beraturan, permukaan substrat tidak

begitu jelas, selalu pada sudut bejana, pada permukaan vertikal dan pada bagian bawah substrat (Lewis, 1974; Carleton dan Sammarco, 1982; Harrison dan Wallace, 1990; Gilmour, 1999). Namun dilihat lebih rinci tingkah laku planula dalam menempel dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu kelompok yang mampu menempel pada semua jenis substrat dan kelompok jenis karang yang memproduksi planula yang memilih substrat tertentu untuk menempel.

Berdasarkan sifat planula dalam menempel juga dapat dibagi kedalam tiga kelompok, yaitu 1) jenis planula memilih substrat tertentu dalam menempel, 2) planulae yang tidak memilih substrat tertentu dalam menempel, dan 3) planula yang membutuhkan kehadiran organisme tertentu sebagai pendahulu dalam menempel. Jenis planula yang tidak memilih substrat tertentu dalam menempel bisa menempel dan berkembang dalam berbagai jenis substrat dan memiliki adaptasi yang tinggi terhadap berbagai jenis substrat. Beberapa jenis karang memproduksi larva planula yang memilih substrat tertentu dalam menempel, dan tidak akan menempel bila tidak tersedia substrat yang disukai dalam menempelan. Sehingga bila larva ini sudah saatnya melakukan metamorfosis ditemukan dalam keadaan tidak melekat, seperti yang ditemukan pada planula karang *A. japonica* sebagaimana diterangkan di atas (Gambar 70).

Reed (1971) mendemonstrasikan bahwa planula kembar karang *P. damicornis* mampu menempel dengan baik, tetapi kecepatan penempelannya agak lebih rendah dibandingkan planulae berbentuk normal (Harrigan, 1972). Sebaliknya pada karang tipe *brooding A. Japonica* diketahui hampir 80 % planulae bercabang mampu menempel dan tumbuh pada substrat yang diambil dari habitat koloni induk. Kecepatan penempelan ini agak lebih tinggi dibandingkan kecepatan penempelan planulae bertipe normal yang sama-sama diekspos pada tipe substrat yang sama (77,3 %). Planula-planula tipe ini menempel dan tumbuh membentuk satu buah polyp utama, namun memiliki jumlah dan tipe kepala polyp yang berbeda-beda. Walau polip utama dari planula-planula bercabang ini tumbuh dengan tipe, bentuk atau bentuk kepala yang berbeda-beda, namun bisa tumbuh membentuk sebuah koloni yang normal. Tipe planula ini diperkirakan menempel sangat dekat dengan induknya di lapangan (di alam) karena pergerakannya sangat terbatas.



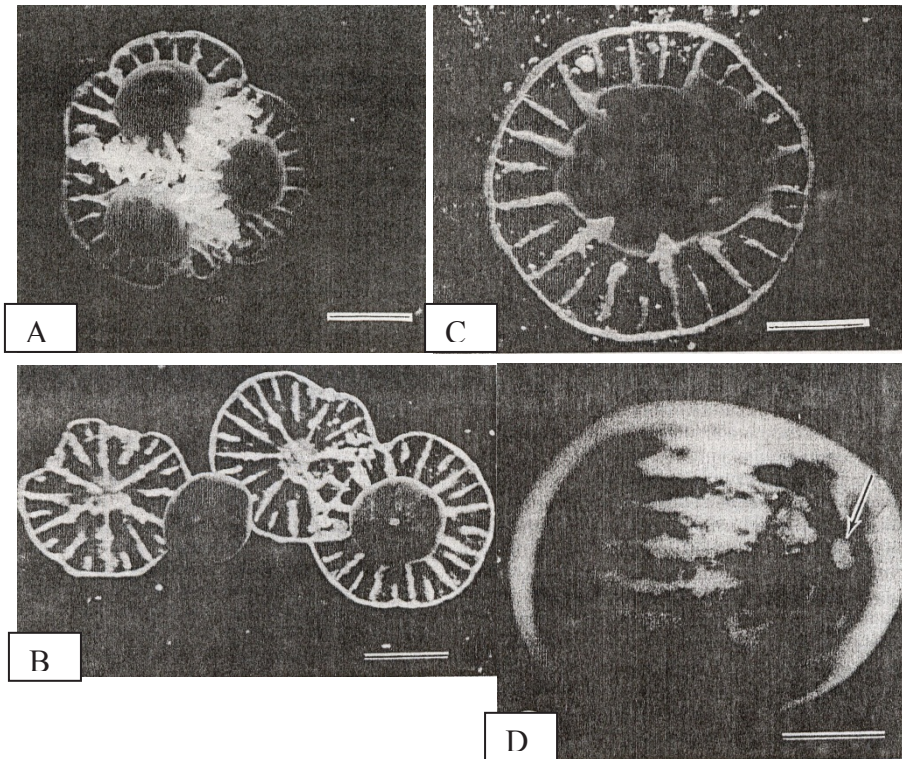
Gambar 70. Perkembangan dari planula menjadi polip-polip muda pada karang *Alveopora japonica*. A) planula baru menempel dan polip-polip muda yang berkembang secara berkelompok; B) Planula yang masih bebas dan polip-polip muda sedang berkembang (Foto oleh Thamrin).

6.2.3. Faktor-faktor yang mempengaruhi penempelan planula

Planula yang diproduksi karang baik yang dihasilkan secara *brooding* maupun yang diproduksi secara *spawning* pada dasarnya memiliki tingkah laku yang sama dalam menempel. Beberapa faktor penting yang mempengaruhi keberhasilan planula untuk menempel yang dilanjutkan metamorfosis meliputi jenis substrat, sedimentasi, kecerahan perairan dan terhindar dari polusi. Untuk berkembang dan kelangsungan hidup lebih jauh juga dipengaruhi berbagai faktor biologi disamping faktor fisik dan faktor kimia.

Pengaruh lingkungan sangat besar sepanjang siklus hidup karang. Perubahan lingkungan ini bisa berpengaruh pada setiap stadium kehidupan karang, mulai dari stadium gametogenesis sampai pada stadium dimana koloni karang berukuran paling besar. Pada umumnya perubahan lingkungan mengakibatkan stres yang diikuti proses *bleaching* pada organisme karang, yang bisa berujung dengan kematian. Beberapa bentuk reaksi yang muncul pada karang disebabkan pengaruh perubahan lingkungan disamping terjadinya proses *bleaching* pada karang dewasa meliputi terjadinya *polyp bail-out* dan *polyp expulsion* (lihat BAB IV). Disamping itu pada karang masih muda (polip muda) justru bisa merubah polip muda menjadi planula kembali. Pada polip muda, yakni setelah planula menempel membentuk polip muda serta menghasilkan skeleton untuk melekat menjadi organisme bentik bisa berubah kembali menjadi planula disebabkan perubahan lingkungan (Gambar 71), seperti yang ditemukan pada planula karang *Pocillopora damicornis* (Richmond, 1985).

Gambar 78 menunjukkan reaksi karang *P. damicornis* pada saat sangat muda (polip masih muda) terhadap perubahan lingkungan. Polip muda ini masih berumur dua belas jam setelah menempel, dan telah memproduksi skeleton untuk melekat pada substrat. Ketika dipelihara pada kondisi laboratorium sub-optimum, sekitar 24 jam setelah menempel atau sekitar 36 jam setelah dipertemukan dengan substrat polyp mengalami perubahan. Tentakel mulai tertarik kedalam polip sekitar tiga hari setelah menempel dan seluruh tisu tertarik menuju pusat calyx membentuk bulatan (Gambar 71A). Sekitar 80 % dari polip yang mengalami perubahan menjadi bulat ini terpisah sama sekali dari skeleton dan berenang dengan bebas atau menjalar di dasar menjelang penghujung hari ke empat. Sementara pada skeleton yang ditinggalkan tidak memiliki sisah tisu sedikitpun (Gambar 71B). Polip muda yang mengalami perubahan menjadi planula sekunder ini kembali berubah menjadi planula terutama yang berasal dari polip yang masih tunggal. Planula ini sebagian besar kembali menempel dan melakukan metamorfosis serta memproduksi skeleton.



Gambar 71. Perubahan dari koloni masih muda menjadi planulae plantonik kembali (Richmond, 1985).

6.2. Rekrutmen

Pada suatu perairan ditemukan berbagai bentuk dan jenis, serta berbagai warna serta ukuran organisme. Terumbu karang terkenal sebagai salah satu ekosistem yang sangat tinggi keanekaragaman dan kelimpahan organisme di dalamnya. Ekosistem ini dibangun oleh hewan dan tumbuhan dimana karang sendiri sebagai organisme pembentuk utamanya. Meski karang sangat berperan dalam pembentukan terumbu karang, namun rekrutmen yang terjadi pada suatu habitat bukan dimulai oleh kelompok hewan karang. Organisme yang pertama kali hadir pada suatu lingkungan selalu dari kelompok mikro-organisme, terutama dari kelompok mikro-algae.

Di alam, organisme yang pertama sekali hadir dalam suatu habitat terdiri dari kelompok mikro-algae dan bakteri, baik di daratan maupun di lingkungan perairan. Larva karang tidak akan pernah berhadapan hanya pada substrat abiotik semata dalam penempelan dan perkembangan tanpa kehadiran dari kelompok biotik lain minimal setingkat *biofilm*. Kelompok planulae sebagian besar membutuhkan organisme lain sebagai pendahulu dalam proses melakukan rekrutmen pada suatu habitat, terutama lapisan tipis kelompok mikro-algae dan bakteri serta diatom yang dikenal dengan *biofilm*. Lapisan biofilm ini sangat penting bukan saja oleh larva karang scleractinia tertentu seperti planulae karang *Pocillopora damicornis* (Harrigan (1972), akan tetapi juga terjadi pada larvae planula karang lunak atau soft coral (Benayahu dan Loya, 1984).

Goren (1979) and Peyrot-Clausade (1977) menemukan bahwa organisme karang bukan yang pertama kali melakukan rekrutmen pada suatu habitat. Organisme yang pertama kali pada suatu substrat baru adalah dari kelompok algae, polychaeta dan moluska. Karang muncul setelah satu tahun terjadi penempelan oleh organisme lain. Dari jenis karang yang menjadi pioner dalam penempelan meliputi *Stylophora pistillata*, *Pocillophora danae*, *Cyphastrea microstoma*, *Favia fava*, *F. laxa*, *Porites* sp., dan *Millepora* spp. Mortalitas yang tinggi dari koloni muda terbukti, setiap penyediaan substrat pada setiap kedalaman untuk peningkatan kelimpahan fauna.

Sementara dari kelompok karang, yang pertama kali menempel pada substrat baru pada kedalaman yang lebih dalam di antaranya adalah *Euphyllia* spp. dan *Acropora* spp di Perairan Chagos. Kelompok yang mengikuti kehadiran spesies ini terdiri dari kelompok Faviidae dan kelompok Missid (Sheppard, 1981a). Sebagai interusi penempelan dilakukan oleh spesies karang *Galaxea astreata* yang mendominasi substrat.

Untuk menentukan keberhasilan dan distribusi rekrutmen bagi karang tipe *spawning* ditentukan mulai dari faktor yang mempengaruhi pembuahan sel kelamin betina oleh sel kelamin jantan. Faktor-faktor ini meliputi faktor biotik dalam mengontrol jumlah dan densitas gamet, serta faktor abiotik dalam mengontrol dan mentransfer gamet. Faktor abiotik termasuk kecepatan arus, arah arus, tingkat turbulen, spasial distribusi koloni, ukuran individu dan klon, kesinkronan spawning dan mortalitas gamet serta periode waktu lama bertahan hidup.

Rekrutmen merupakan peristiwa ekologi organisme benthik yang mengacu pada stadium dimana masuknya anggota baru pada suatu komunitas meninggalkan bukti atau bekas bila dilakukan pengamatan.

Dalam hal ini berbeda dengan peristiwa penempelan atau *settlement* suatu larva. Rekrutmen akan meninggalkan bukti yang nyata pada suatu komunitas. Sementara dalam proses penempelan larva tidak selamanya meninggalkan skeleton yang dijadikan sebagai bukti dalam rekrutmen hewan karang.

Ada dua faktor lingkungan yang mempengaruhi keberhasilan rekrutmen karang, yaitu:

A) Faktor biotik.

Faktor biotik memiliki dua bentuk pengaruh terhadap keberhasilan rekrutmen, pengaruh positif dan pengaruh negatif. Sebagian besar larva planula karang dipengaruhi oleh kehadiran organisme lain yang lebih dahulu hadir pada habitat tersebut, baik dari kelompok organisme yang sama maupun dari kelompok organisme yang berbeda. Termasuk lapisan tipis mikro-algae, diatom, bakteri yang disebut juga dengan lapisan *biofilm* berpengaruh dalam mempercepat penempelan larva planula melalui stimulasi kontak tatile.

Pengaruh kelompok organisme yang sama juga besar dalam meningkatkan penempelan planula. Pengaruh ini dapat berasal dari larva lain yang terlebih dahulu menempel ataupun pengaruh kehadiran koloni dewasa sendiri yang telah ada sebelumnya. Seperti pada planula *Favia fragum* yang dibuktikan melalui eksperimen di laboratorium menyebabkan peningkatan secara nyata penempelan dengan kehadiran larva yang telah menempel terlebih dahulu dibandingkan tanpa kehadiran larva yang telah menempel terlebih dahulu (Lewis, 1974a). Kemudian dia juga membuktikan peningkatan penempelan planula yang dipengaruhi oleh kehadiran koloni karang dewasa terlebih dahulu pada karang yang sama.

Kehadiran organisme lain juga tidak jarang menyebabkan pengaruh negatif pada keberhasilan rekrutmen karang. Akibat yang ditimbulkan bisa berupa pengaruh langsung dan juga bisa dalam bentuk pengaruh tidak langsung. Pengaruh langsung dapat berupa pengaruh negatif dari proses kompetisi interspesifik dan intraspesifik dengan organisme lain serta pengaruh dari predator.

Pertumbuhan alga yang cepat merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi keberhasilan rekrutmen organisme karang, baik secara langsung maupun tidak langsung. Pengaruh langsung berupa pertumbuhan algae yang sangat cepat dapat menutupi karang muda yang memiliki pertumbuhan yang sangat lambat. Pengaruh tidak langsung berasal dari akumulasi sedimen yang diakibatkan pengaruh adanya algae, yang

kemudian menyebabkan koloni karang yang berukuran sangat kecil dengan mudah ditutupi sedimen yang terperangkap diantara algae. Sehingga koloni-koloni karang yang masih muda ini tidak jarang mati ditutupi sedimen.

Pengaruh grazing dalam skala ringan dapat menguntungkan pada rekrutmen karang, akan tetapi bila dalam skala grazing yang intensif dapat memisahkan karang yang masih muda dari tempatnya menempel. Pengaruh seperti ini termasuk pengaruh tidak langsung terhadap rekrutmen karang. Pengaruh grazing kelompok dari berasal dari organisme yang melakukan grazing dan pengaruh sedimentasi.

B) Faktor abiotik.

Faktor abiotik termasuk substrat, temperatur, arus, cahaya, kedalaman, dan sirkulasi air. Konsentrasi total padatan terlarut (organik dan anorganik) di dalam kolom air bergabung dengan penurunan intensitas cahaya adalah dua faktor lingkungan yang berperan secara signifikan dalam rekrutmen pada awal penempelan larva planula. Tomascik dan Sander (1985) mendemonstrasikan secara kuantitatif bahwa perbedaan secara signifikan pada 2 parameter lingkungan terjadi diantara 3 terumbu karang. Konsentrasi yang tinggi total partikel terlarut mempengaruhi tingkah laku rekrutmen planula secara langsung melalui pengaruh faktor fisika langsung (seperti abrasi), yang menyebabkan planulae gagal untuk menempel. Kondisi juga berpengaruh terhadap penurunan intensitas cahaya di dalam kolom, yang menambah komponen fisiologi untuk respon keseluruhan melalui penurunan fotosintesis zooxanthellae di dalam tubuh karang. Penurunan fotosintesis mikro-zooxanthellae planula dibawah kondisi perairan yang keruh menyebabkan fisiologi spesifik penempelan yang menyebabkan planulae membatalkan penempelan.

Rekrutmen yang terjadi lebih besar secara statistik pada posisi vertikal dibandingkan dengan posisi horizontal pada artifisial eksperimen di Barbados (Tomascik, 1991). Secara keseluruhan jumlah juvenil jenis karang yang paling banyak berasal dari spesies *Porites astreoides* berjumlah 42 %, diikuti *Agaricia* spp dan *Porites porites* dengan proporsi berturut-turut 23 % dan 19 %.

Namun pada dasarnya, laju rekrutmen karang pada suatu perairan ditentukan oleh tipe planulae yang diproduksi, apakah diproduksi secara brooding atau dengan cara spawning yang dominan pada suatu perairan dan jenis karang yang dominan pada perairan tersebut.

Rekrutmen yang terjadi di Perairan Taiwan didominasi oleh kelompok *Pocillopora*. Salah satu faktor yang menyebabkan kelompok karang ini mendominasi rekrutmen disebabkan jenis karang ini termasuk kelompok bertipe brooding. Peristiwa ini juga menunjukkan bahwa karang brooding kelompok *Pocillopora* tidak menyebar jauh dari koloni induk dalam penempelan. Pada tahun 1997 diperoleh bahwa *Pocillopora* merupakan kelompok yang dominan melakukan rekrutmen, yaitu sekitar 95%, dan sisanya 5 % dari kelompok *Acropora*. Pada dua tahun berikutnya yakni 1999 dan 2000, karang *Pocillopora* masih merupakan kelompok dominan, dengan proporsinya 90 %, dan pada tahun berikutnya kembali mencapai 95%.

Sementara dari hasil penelitian lain dengan penempatan lempengan (*plate*) baru setiap 2 bulan disebelah selatan Taiwan ditemukan bahwa penempelan baru dari karang yang bertipe *spawning* diperkirakan terjadi beberapa bulan setelah masa *mass spawning*. Peristiwa ini terjadi pada bulan April sampai bulan Mei, akan tetapi densitasnya rendah (Kuo, 2001).

Kecepatan rekrutmen yang tinggi hanya terjadi beberapa bulan setelah *mas spawning* untuk spesies yang melakukan spawning, sebagaimana ditemukan di Terumbu Bowden *Great Barrier Reef* (Babcock 1988). Sebagian besar larva planula diperkirakan melakukan perjalanan (disebabkan arus) mencapai ratusan sampai ribuan kilometer dari terumbu tempatnya diproduksi (William et al, 1984). Jadi penyebaran secara *inter-reef* berkemungkinan merupakan sumber utama rekrutmen untuk spesies ini (Harriott and Fisk 1988).

Terumbu karang pada bagian selatan Taiwan sebagaimana juga pada bagian lain perairan Negara Kepulauan ini adalah dibawah pengaruh baik dari alam maupun dari pengaruh anthropogenic (Dai et al, 1998). Eutropikasi dan sedimentasi yang tinggi diketahui mempengaruhi rekrutmen pada karang (Hogdson 1990, Witterberg and Hunter 1992). Laju rekrutmen dari tahun ke tahun tidak konsisten. Serupa dengan yang dijumpai di Kepulauan Heron *Great Barrier Reef*. Rekrutmen yang terjadi di Kepulauan Heron *Great Barrier Reef* menunjukkan bahwa pola spatial rekrutmen karang tidak konsisten dari tahun ke tahun. Hal ini berbeda dengan yang terjadi di *Great Barrier Reef* bagian lainnya baik dari jenis brooder maupun *spawner* memiliki pola yang sama dari dua tahun pengamatan (Hughes et al., 1999). Sementara di terumbu karang Bowden *Great Barrier Reef*, kecepatan rekrutmen yang tinggi hanya terjadi beberapa bulan setelah *mass spawning* untuk spesies yang melakukan reproduksi dengan *spawning* (Babcock 1988).

Rekrutmen yang terjadi di perairan sebelah selatan Taiwan didominasi oleh karang lokal tipe *brooding*. Seperti pada tahun 1997, rekrutmen didominasi oleh karang tipe *brooding Pocillopora*, dengan total rekrutmen mencapai 95 %. Sementara dari kelompok *spawning* hanya 5 % sisahnya, yang berasal dari kelompok *Acropora*. Rekrutmen yang dilakukan karang tipe *spawning* terjadi setelah *mass spawning* pada bulan April dan bulan Mei, akan tetapi kepadatannya sangat rendah (Kuo, 2001).

Rekrutmen yang terjadi pada suatu perairan tidak harus berasal dari larva organisme/karang yang berada pada daerah yang sama. Seperti yang ditemukan di perairan sebelah Taiwan sebagaimana yang disebutkan di atas. Dari sekian banyak spesies karang yang ditemukan di perairan tersebut ditemukan sekitar 95 % dari kelompok karang tipe *brooding Pocillopora*, dan hanya sekitar 5 % yang berasal dari jenis karang lain (Kuo 2001). William et al. (1984) menyatakan bahwa sebagian besar larva karang diperkirakan melakukan perjalanan (disebabkan arus) ratusan sampai ribuan kilometer dari terumbu tempatnya diproduksi.

Karang tipe *spawning* sangat memungkinkan larva akan terlempar jauh dari habitat tempat induk menempel. Mengingat rentang waktu yang dibutuhkan karang tipe *spawning* dari waktu pelepasan gamet menjelang terbentuknya larva yang matang dan siap untuk melakukan penempelan cukup panjang. Untuk melakukan proses fertilisasi gamet memerlukan waktu antara 15 menit sampai 30 menit setelah dilepaskan, dan kemudian untuk embriogenesis memerlukan waktu antara 60 jam sampai 66 jam. Total waktu minimal yang dibutuhkan karang tipe *spawning* untuk melakukan penempelan dari mulai pelepasan gamet memakan waktu lebih dari dua hari. Kondisi ini memungkinkan sekali rekrutmen yang terjadi pada suatu terumbu karang disuplai dari karang yang berada pada terumbu karang lainnya. Jadi penyebaran secara inter-reef berkemungkinan merupakan sumber utama rekrutmen untuk suatu habitat (Harriott and Fisk 1988).

Perjalanan jauh larva tidak saja dilakukan planula yang diproduksi karang tipe *spawning*, tetapi juga bisa terjadi pada planula karang tipe *brooding*. Planula karang tipe *brooding* pada umumnya telah memiliki zooxanthella di dalam tubuhnya. Disamping itu, seperti planula karang *Pocillopora damicornis* disamping telah mengandung zooxanthellae dan memiliki kemampuan menangkap zooplankton, tubuhnya juga memiliki lemak yang banyak. Sehingga planula *P. damicornis* bisa bertahan hidup dan masih memiliki kemampuan untuk menempel serta melakukan metamorfosis setelah lebih dari seratus hari sebagai plankton. Keadaan ini memungkinkan rekrutmen yang terjadi pada terumbu karang yang berada

di Lautan Pasifik bagian timur yang memiliki hewan karang yang banyak dilaporkan tanpa memproduksi gamet, sumber larva disuplai oleh karang yang berada di Lautan Pasifik bagian barat.

Bab 7

MAKANAN, PERTUMBUHAN & EKSRESI KARANG

Makanan, pertumbuhan dan ekskresi merupakan rangkaian kata-kata yang selalu beriringan dalam kehidupan setiap organisme. Setiap organisme memerlukan makanan untuk mempertahankan hidup, untuk tumbuh serta untuk melanjutkan keturunan. Berbeda organisme memiliki berbeda strategi dalam memperoleh makanan dan jenis makanan yang dibutuhkan. Karang sebagai hewan yang menetap hidup di dasar perairan laut juga memiliki sumber bahan makanan dan strategi sendiri dalam memenuhi kebutuhan hidupnya.

Sumber bahan makanan organisme karang dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu yang berasal dari zooplankton dan yang disuplai oleh simbiotiknya mikro-algae zooxanthellae. Sebagian besar karang tergolong organisme yang sangat manja dalam mencari makanan, dan sangat tergantung dengan simbiotiknya zooxanthellae. Kelompok karang hermatypic tidak dapat melanjutkan kehidupannya tanpa kehadiran zooxanthellae di dalam tubuhnya. Sebagian besar kebutuhan hidup karang sebagai hewan ditopang oleh zooxanthellae dari kelompok micro-algae Dinoplacellata yang hidup di dalam jaringan endodermis karang. Hasil fotosintesis zooxanthellae sebagai organisme yang bersifat autotrof dimanfaatkan oleh karang sebagai inang, dan jumlahnya cukup untuk memenuhi kebutuhan proses respirasi karang tersebut (Muller-Parker dan D'Elia 2001). Hal ini menyebabkan sebagian besar kelompok organisme

karang hanya hidup terbatas di perairan dangkal daerah tropis sampai daerah sub-tropis yang hangat dan jernih, dimana cahaya matahari mencukupi untuk melakukan fotosintesis bagi zooxanthellae sebagai simbion.

7.1. Makanan

Sebagian besar kebutuhan energi dan makanan karang tergantung pada simbiotnya zooxanthellae yang hidup di dalam jaringan endodermis karang. Karang mengkonsumsi plankton pada umumnya pada malam hari, namun kebutuhan terhadap mangsanya tersebut sangat terbatas. Sebagian besar jenis karang membutuhkan makanan hanya sekitar 2% yang berasal dari kelompok plankton. Kebutuhan karang terbesar disuplai oleh simbiotnya zooxanthellae, dan Veron (1993) menyatakan bahwa kebutuhan karang yang berasal dari simbiotnya zooxanthellae mencapai sekitar 98 %, malahan ada yang memperkirakan hampir mencapai 100 % dengan kisaran antara 75-99% (Tucket dan Tucket 2002).

Begitu besarnya ketergantungan karang terhadap simbiotnya zooxanthellae sehingga menyebabkan mikro-algae dari kelompok dinoplageolata ini sangat diperlukan kehadirannya, dan tidak bisa tidak hadir di dalam jaringan tubuh karang dalam menopang keberlanjutan hidupnya. Disisi lain zooplankton yang dikonsumsi karang juga diperlukan untuk menutupi nutrisi yang tidak bisa diperoleh dari zooxanthellae. Bila dirinci maka sumber makanan karang dapat dikelompokkan menjadi dua cara dalam mendapatkan makanan, yaitu:

1. Zooplankton yang melayang dalam air.
2. Menerima hasil fotosintesis zooxanthellae.

Setiap individu karang yang dinamakan polyp menangkap makanan untuk kebutuhan masing-masing dari dalam kolom air. Makanan karang berupa zooplankton yang terbawa arus air ke sekitar polip karang. Mekanisme bagaimana mangsa yang ditangkap karang dapat mencapai mulut dibagi kedalam tiga cara, yaitu:

1. Mangsa ditangkap lalu tentakel membawa mangsa ke mulut
2. Mangsa ditangkap lalu terbawa ke mulut oleh gerakan silia di sepanjang tentakel.
3. Mesentery filamen yang berasal dari rongga perut juga dimanfaatkan untuk menangkap partikel makanan disamping digunakan untuk pencernaan.

7.2. Pertumbuhan koloni

Sebagian besar karang hidup dalam bentuk koloni, dan individunya dikenal dengan nama polip. Begitu juga dalam mempelajari biologi karang, individu organisme ini selalu mengacu pada polip, akan tetapi dalam mempelajari ekologi yang disebut individunya akan selalu mengacu pada koloni. Pertumbuhan (pertambahan ukuran) karang tipe berkoloni dilakukan dengan pertumbuhan dan pertambahan individu polip. Pertumbuhan polip karang hanya sampai beberapa centimeter, dan kemudian berhenti. Namun ukuran karang tertentu bisa memiliki ukuran melebihi 3 meter. Hal ini dilakukan organisme karang dengan cara memperbanyak jumlah polip.

Planulae yang baru saja menetapkan substrat pilihan untuk menempel akan menumpuk kalsium karbonat sebagai skeleton dan sekaligus untuk melekat seiring dengan perkembangan tisu yang berada di permukaan. Selama 8 hari perkembangan setelah menempel, perkembangan skeleton polip muda berdasarkan *scanning electron microscopy* (SEM) dapat dibagi menjadi 4 stadium seperti pada karang *Pocillopora damicornis* (Le Tissier, 1988), yaitu sebagai berikut:

a. Stadium I.

Elemen skeleton pertama basal plate ditumpuk dalam bentuk lingkaran. Di dalam lingkaran berkembang septa primer yang ditandai oleh 6 elemen skeleton terpisah, yaitu berupa septa rudimen.

b. Stadium II

Penumpukkan skeleton lebih jauh memiliki gabungan lingkaran skeleton dan septal rudimen membentuk sebuah *basal plate* kompleks. Di atas basal plate, sebuah rentetan duri-duri dan tonjolan-tonjolan skeleton ditumpuk dalam posisi berhubungan dengan lingkaran septa primer, lingkaran septa sekunder, dan lingkaran septa tertier. Posisi dinding corallite (corallite wall) ditandai oleh anastomosis pertumbuhan lateral di luar dari punggung skeleton. Hanya lingkaran septa primer membentuk tonjolan-tonjolan yang mengarah ke bagian tengah basal disc dimana batas lateral melebur.

c. Stadium III

Pertumbuhan lanjutan, permulaan duri-duri skeleton baru dan anastomose diantara pertumbuhan lateral bagian luar duri-duri skeletonn lateral membentuk dinding corallite. Dinding corallite terbentuk di atas *basal plate*, membentuk lubang-lubang penghubung

antara penyatuan septa bagian dalam dan bagian luar corallite planula. Hanya septa primer mengarah ke dalam calyx, lingkaran septa sekunder dan lingkaran septa tertier nyata sebagai mahkota duri-duri skeleton dinding corallite. Duri-duri skeleton baru terbentuk di belakang mengarah ke tepi basal plate melebar secara lateral. Pertumbuhan di luar duri-duri skeleton dinding corallite perpaduan dasar duri-duri. Peleburan pinggir lateral septa primer membentuk sebuah columella. Semua duri-duri skeleton dan columella pada beberapa stadium pertumbuhan memiliki ujung-ujung duri yang tidak lengkap, yang menunjukkan bahwa keduanya memiliki rongga.

d. Stadium IV

Perkembangan stadium ke empat merupakan perkembangan skeleton maksimum dicapai setelah 8 hari. Diameter skeleton larva lebih kurang 0,9 mm sampai 1,8 mm. Setelah skeleton terbentuk dengan lengkap, dan mulai melebar dengan membentuk duri-duri baru. Kebanyakan duri-duri costa mulai bercabang dan anastomose, jadi terjadi penebalan bagian skeleton.

Kemudian perkembangan stadium bagian tissu planula dan hubungan dengan perkembangan stadium berdasarkan pengamatan melalui SEM adalah sebagai berikut:

a. Pre-Stadium I

Pada saat menempel larva planula memipih pada bagian oral/aboral membentuk seperti piring telungkup, bagian tengahnya terangkat atau lebih tinggi dari bagian tepinya. Bagian pertengahan lingkaran, bagian lapisan epidermis aboral telah berubah bentuk dari columnar menjadi bentuk squamous. Sel lapisan epidermis aboral dari tengah dan pada bagian pinggir planula menjadi bentuk columnar. Posisi lapisan epidermis bagian aboral yang berbentuk squamous berhubungan dengan penumpukkan skeleton oleh planula yang baru menempel, dan menunjukkan bahwa bagian luar lingkaran skeleton telah ditumpuk skeleton menjelang ke skeleton di bawa posisi septa primer.

b. Pre-Stadium II

Seluruh lapisan epidermis aboral telah berubah dari bentuk columnar menjadi bentuk squamous, berhubungan dengan penyempurnaan *basal plate*. Duri-duri skeleton dan tonjolan-tonjolan terbentuk di dalam lapisan epidermis aboral.

1. Pre-Stadium III

Pelebaran lateral *basal plate* berhubungan dengan kedua pertumbuhan melebar ke segala arah dan berhubungan dengan pemipihan tubuh planula tisu planula pada sepanjang sumbu oral-aboral.

2. Stadium IV

Potongan melalui bahan mengandung mineral menunjukkan bahwa tisu dan skeleton larva planulae dapat sepenuhnya dibedakan. Konstruksi rongga dinding corallite, columella, septa dan costae terlihat dengan nyata. Mesentery-mesentery, tentakel dan rongga gastrovascular juga telah muncul.

Mekanisasi pertumbuhan karang tipe berkoloni dilakukan dengan pertumbuhan dan pertambahan polip-polip. Proses pertambahan polip dalam suatu koloni dilakukan dengan sistem *budding* (pertunasan). Pertambahan polip baru dalam suatu koloni karang dapat dibagi ke dalam tiga cara, yaitu:

a. *Intratentakular budding*

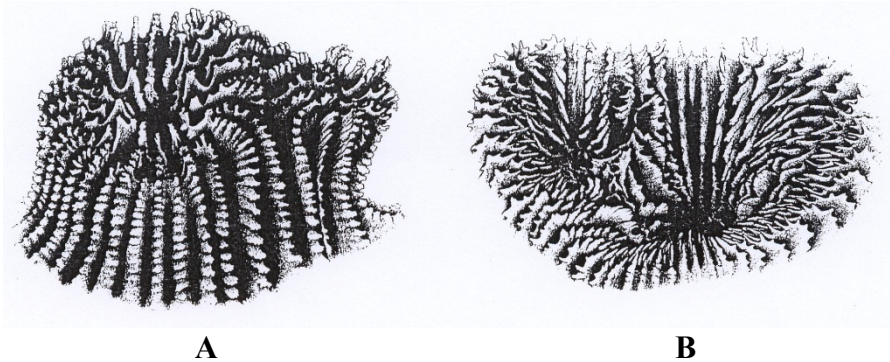
Intratentakular budding adalah bila pertumbuhan polip-polip baru dalam suatu koloni terjadi di dalam polip yang lama atau di dalam polip yang telah matang (Gambar 72).

b. *Extratentakular budding*

Extratentakular budding adalah bila pertumbuhan polip-polip baru pada suatu koloni terjadi di luar polip yang sudah ada/polip lama (Gambar 72).

c. *Intratentakular dan extratentakular budding*

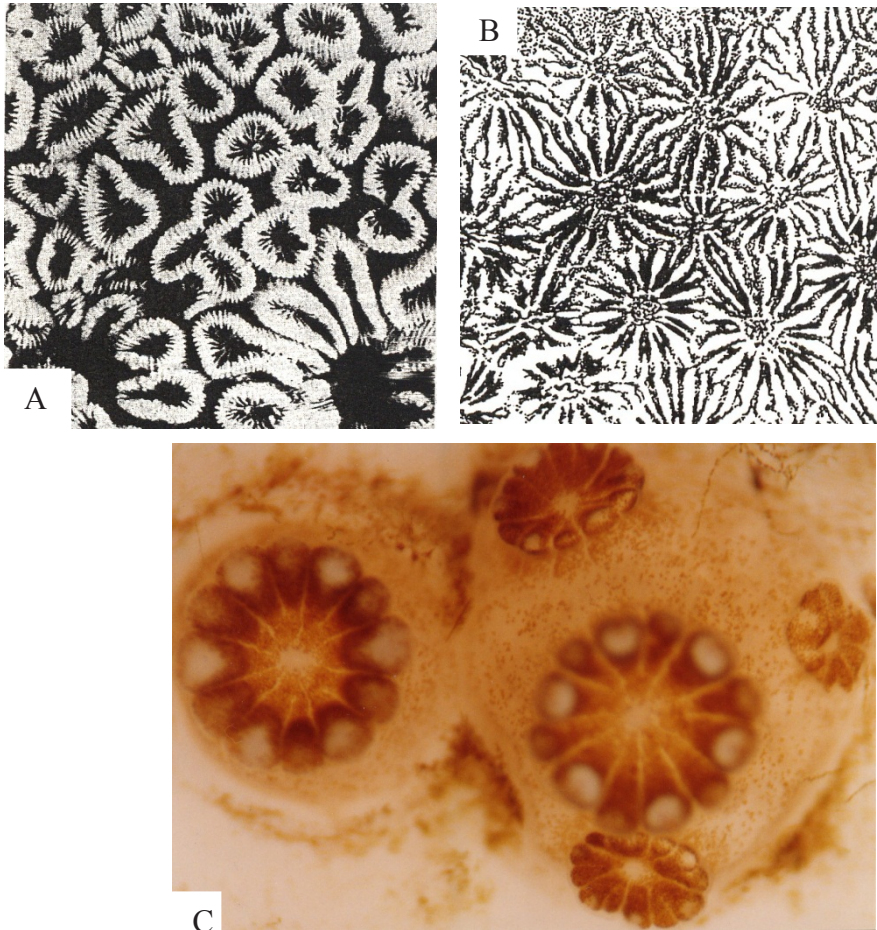
Intratentakular dan *extratentakular budding* adalah bila pertumbuhan polip-polip baru dalam suatu koloni terjadi baik di luar maupun di dalam polip yang sudah ada pada suatu koloni karang. Sebagai contoh bisa ditemukan pada spesies karang *Goniastrea aspera*.



Gambar 72. Pertumbuhan polip baru karang. A) Bentuk pertumbuhan polip baru dengan *intratentacular budding*, dan B) Bentuk pertumbuhan polyp baru dengan *extratentacular budding*.

Bila dilihat peningkatan jumlah individu polip dari skeleton karang yang sudah mati dan dari saat koloni masih muda akan terlihat perbedaan perkembangan kedua tipe ini seperti Gambar 73. Gambar 73A memperlihatkan kemunculan polip baru terjadi di dalam atau dari polip yang sudah matang, sementara pada Gambar 73C merupakan kemunculan polip baru secara *extratentacular budding* pada karang masih muda.

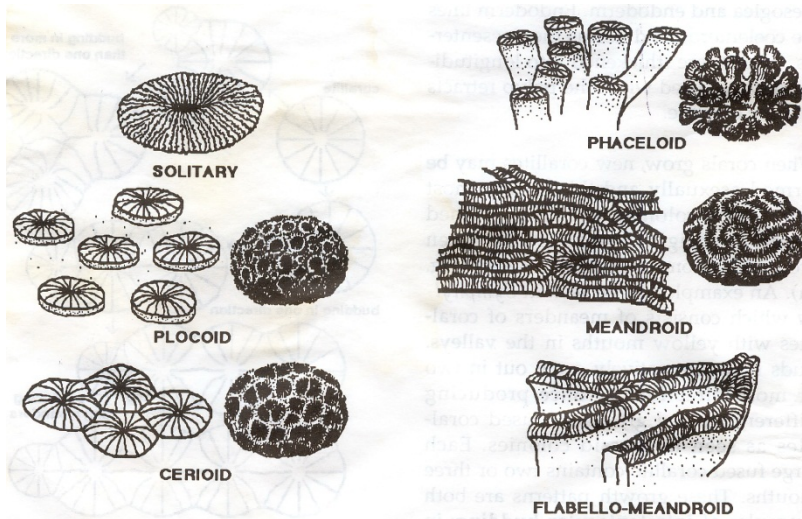
Pola pertumbuhan mempengaruhi pertumbuhan dan bentuk koloni karang. Hal ini juga berguna untuk mengidentifikasi berbagai macam spesies terutama anggota dari famili Faviidae. Bentuk pertumbuhan ini dapat dilihat pada Gambar 73. Tipe paling sederhana bentuk pertumbuhan karang dijumpai pada kelompok karang soliter yang dijumpai pada kelompok corallite karang *Fungia* dan *Cynarina lacrymalis*. Corallite dengan bentuk pertumbuhan plocoid memiliki banyak corallite conical yang terpisah dan setiap corallite memiliki dinding terpisah coenosteum, seperti yang dijumpai pada *Favia*, *Echinopora*, *Diploastrea* dan *Plesiastrea*. Bila corallite berbentuk tubular dan memiliki ukuran tinggi koloni yang sama disebut pacheloid, sebagaimana bisa dijumpai pada karang *Caulastrea* dan *Barabattoia*. Koloni kelompok ini dapat membentuk corallite dalam bentuk *intratentacular budding* dan *extratentacular budding*.



Gambar 73. Pertumbuhan polip baru dilihat dari skeleton karang. A) *Intratentacular budding*, B) *Extratentacular budding*, dan C) *Extratentacular budding* pada koloni karang muda yang masih hidup.

Pembagian corallite karang juga ditemukan dalam bentuk cerioid. Skeleton cerioid adalah bila terjadi peleburan dinding corallite pada corallite yang tumbuh berdampingan. Jenis karang yang memiliki corallite seperti ini ditemukan pada sebagian besar spesies dari genus *Favia* dan genus *Goniastrea*, yang hanya tumbuh dan berkembang dengan cara *intratentacular budding*. Bila pertumbuhan *budding* berbentuk rentetan corallite yang berkelanjutan disebut skeleton meandroid. Bentuk

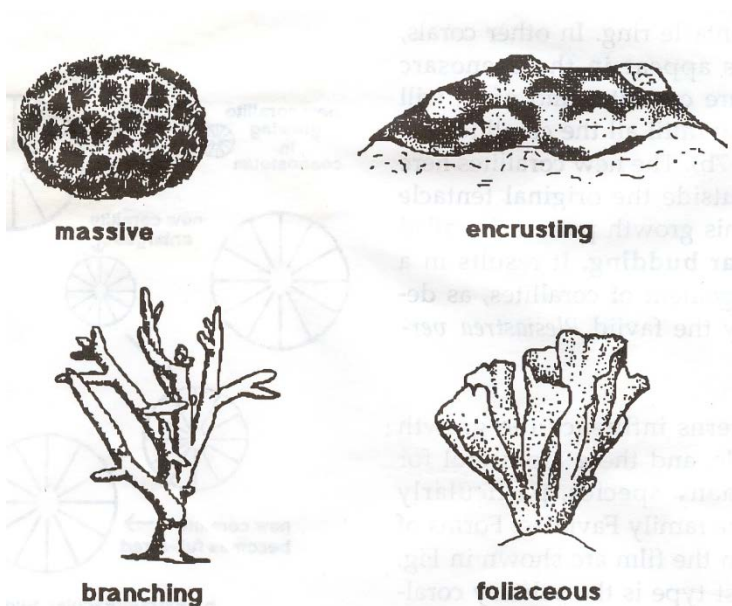
pertumbuhan seperti ini ditemukan pada genus *Platygyra*, *Leptoria* dan *Symphyllia*. Bentuk pertumbuhan yang serupa disebut skeleton flabello-meandroid yang ditemukan pada karang *Euphyllia ancora* dan *Catalaphyllia plicata* (Gambar 74).



Gambar 74. Bentuk pertumbuhan corallite karang (Mapstone, 1990).

Bentuk pertumbuhan koloni juga dipengaruhi berbagai faktor lingkungan, terutama berhubungan dengan kedalaman dan kekeruhan (lihat BAB 1). Bentuk koloni karang sangat beragam, akan tetapi pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi 4, yaitu: bentuk massive, bentuk bercabang (*branching*), bentuk *encrusting* dan bentuk foliaceous (Gambar 75). Sementara bentuk koloni lainnya merupakan kombinasi dari ke-empat kategori di atas. Bentuk koloni massive tumbuh dan berkembang berbentuk bulat atau seperti setengah bola. Bentuk koloni *branching* ditemukan dalam beragam bentuk sampai berbentuk meja yang ditemukan pada karang *Acropora hyacinthus* dan lain-lain. Bentuk pertumbuhan foliaceous biasanya memiliki bentuk pertumbuhan seperti lembaran spiral, seperti ditemukan pada genus *Pachyseris* dan *Montipora*. Sementara bentuk koloni *encrusting* tumbuh dan berkembang seperti lembaran. Akan tetapi berbeda dengan bentuk koloni foliaceous. Bentuk *encrusting* tumbuh dan berkembang mengikuti kontur substrat yang ditempatinya dan koloni ini biasanya

tumbuh secara extensif menutupi suatu daerah. Jenis karang yang termasuk kelompok ini adalah dari genus *Pachyseris*.



Gambar 75. Bentuk perumbuhan koloni karang (Mapstone, 1990).

Kemampuan beberapa karang scleractinia untuk tumbuh cepat dan membentuk struktur terumbu umumnya berhubungan dengan simbiotnya zooxanthellae (Szmant dan Gassman, 1990). Simbion zooxanthellae menyediakan karang inang bahan organik yang merupakan porsi utama kebutuhan karang (Muscantine, 1967; Muscantine dan Porter 1977; Muscantine et al., 1981, 1984). Algae zooxanthella dipercaya menyediakan sebagian besar energi untuk memelihara tisu dan pertumbuhan skeleton dan termasuk untuk energi keperluan reproduksi pada karang.

Kecepatan pertumbuhan karang ditentukan oleh 3 faktor penting, yaitu berdasarkan bentuk pertumbuhan koloni, kedalaman dan temperatur dimana karang tersebut ditemukan. Bentuk pertumbuhan bercabang umumnya memiliki kecepatan lebih besar dibandingkan bentuk pertumbuhan massive. Sementara berdasarkan kedalaman tidak saja menyebabkan perbedaan kecepatan pertumbuhan, akan tetapi juga mempengaruhi bentuk pertumbuhan organisme karang. Termasuk jenis

karang yang sama bisa menyebabkan perbedaan bentuk pertumbuhan bila berada pada kedalaman perairan yang berbeda. Kemudian pada sebagian spesies karang pertumbuhan terhenti pada temperatur antara 20 sampai 21°C. Seperti pada karang *Pocillopora damicornis* di Kepulauan Pear Teluk Panama (Glynn dan Steward, 1973).

Karang bentuk massive *Montatrea annularis* memiliki kecepatan pertumbuhan antara 3,3 sampai 10,7 mm/tahun. Kecepatan pertumbuhan karang ini tidak sama pada perairan yang berbeda. Kecepatan pertumbuhan karang *M. Annularis* di perairan dangkal Key West Florida, Jamaika dan Panama berkisar antara 4,6 sampai 5,0 mm/tahun (Weber dan White, 1977). Sementara jenis karang yang sama yang ditemukan di Belize memiliki kecepatan pertumbuhan antara 3,7 sampai 10,7 mm/tahun pada kedalaman 0 meter dengan rata-rata 4,1 mm/tahun, dan pada kedalaman antara 14 m sampai 18 m memiliki kisaran pertumbuhan antara 3,3 sampai 4,8 mm/tahun. Kecepatan rata-rata pertumbuhan untuk seluruh kedalaman *M. Annularis* adalah 6,55 mm/tahun. Sementara Highsmith et al. (1983) menemukan bahwa karang *M. Annularis* memiliki kecepatan pertumbuhan rata-rata lebih rendah di perairan Carrie Bow, Belize dibandingkan dengan yang ditemukan Weber dan White (1977) pada daerah berdampungan, yaitu dengan rata-rata 6,34 mm/tahun.

Kerabat karang *M. annularis*, yaitu *M. cavernosa* ternyata memiliki kecepatan pertumbuhan lebih lambat dibandingkan *M. annularis*. Kecepatan pertumbuhan hanya 4,36 mm/tahun (Highsmith et al., 1983), akan tetapi lebih tinggi dibandingkan 5 tahun sebelumnya yang ditemukan oleh Weber dan White (1977). Sementara karang tipe massive *Porites astreoides* yang memiliki ukuran koloni cukup besar ternyata memiliki kecepatan pertumbuhan lebih lambat. Kecepatan pertumbuhan *P. astreoides* pada daerah rata-rata terumbu hanya 4,0 mm/tahun, dan di depan terumbu memiliki sedikit lebih tinggi dengan rata-rata pertumbuhan 4,3 mm/tahun. Namun berbeda dengan yang dijumpai di Lautan Karibia dimana spesies *P. astreoides* memiliki kecepatan pertumbuhan yang lebih lambat, dan kecepatan pertumbuhan secara vertikal tidak sama dibandingkan dengan kecepatan pertumbuhan lateral. Kecepatan pertumbuhan secara vertikal ditemukan hanya sekitar 0,31 cm/tahun, dan kecepatan pertumbuhan secara lateral sekitar 0,73 cm/tahun (Chornesky dan Peter, 1987).

Kecepatan pertumbuhan karang sangat beragam diantara spesies berbeda. Kecepatan pertumbuhan karang berkisar antara hitungan dalam milimeter sampai belasan centimeter per-tahun. Bentuk pertumbuhan koloni memiliki andil dalam menentukan kecepatan pertumbuhan karang. Karang bentuk pertumbuhan bercabang lebih condong memiliki kecepatan

pertumbuhan linier lebih cepat dibandingkan kecepatan melebar karang berbentuk massive atau koloni berbentuk foliaceous.

Kecepatan pertumbuhan karang paling cepat berasal dari kelompok karang bercabang *Acropora*. Kecepatan pertumbuhannya mencapai 15 cm/tahun, yang dimiliki spesies *Acropora* spp. Pada umumnya karang tipe massive memiliki kecepatan pertumbuhan yang sangat lambat. Seperti karang *Porites* hanya memiliki kecepatan pertumbuhan rata-rata sekitar 8 mm/tahun. Akan tetapi spesies karang tipe massive ini bisa memiliki tinggi mencapai 9 meter.

Kecepatan pertumbuhan juga tergantung pada sifat dan jenis spesies karang. Pada umumnya kecepatan pertumbuhan karang berhubungan dengan simbiotnya zooxanthellae, akan tetapi ada kelompok karang tertentu yang juga menggantungkan diri cukup besar pada zooplankton dan mengalami kecepatan pertumbuhan maksimal pada saat zooplankton berlimpah di dalam perairan. Seperti kelompok karang *Pavona* justru memiliki kecepatan pertumbuhan yang tertinggi terjadi dalam periode musim dingin. Kecepatan pertumbuhan bukan tergantung pada produktifitas zooxanthellae melainkan tergantung pada produktifitas zooplankton yang meningkat pada musim dingin, sementara pada musim panas alokasi energi diarahkan pada aktifitas reproduksi (Wellington, 1982b; Wellington dan Glynn, 1983).

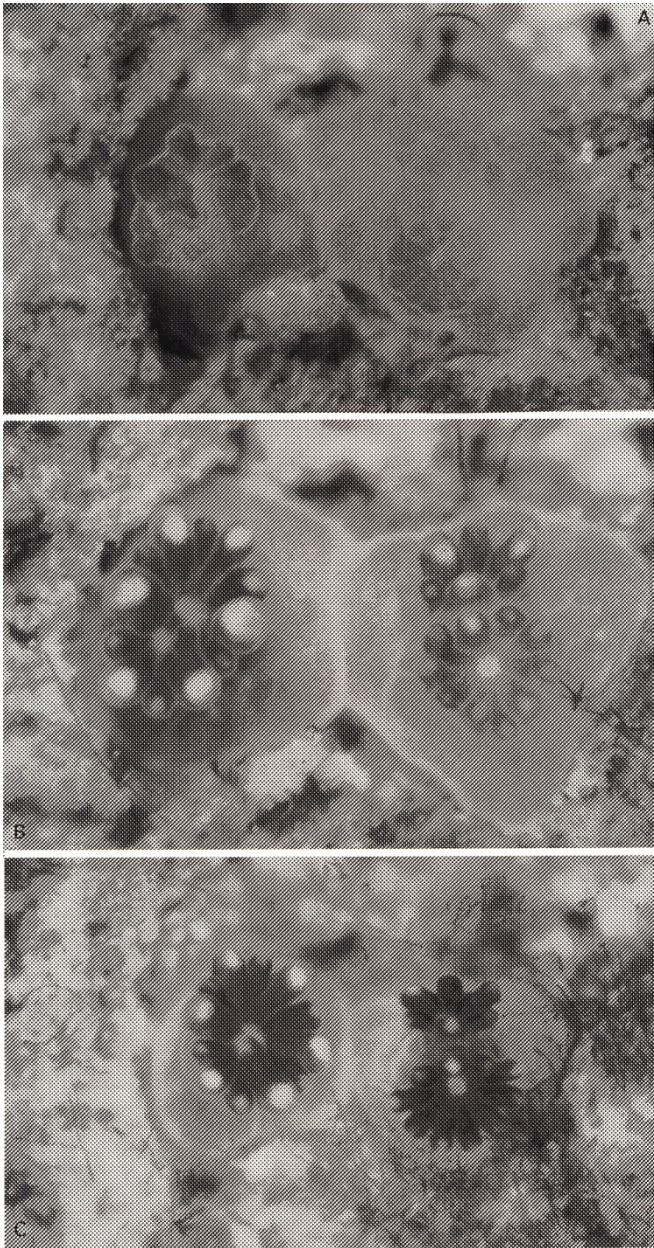
7.3. Pertumbuhan koloni dari planula abnormal

Planula karang bentuk abnormal memiliki kemampuan yang sama dengan planula yang normal untuk menempel dan berkembang. Bentuk pertumbuhan koloni karang (bagi karang berkoloni) yang berasal dari planula abnormal ini juga memiliki bentuk yang sama dengan yang berasal dari planula normal. Perbedaan bentuk tubuh mendasar antara karang yang berasal dari planula normal dan planula abnormal pada dasarnya tidak begitu kelihatan, perbedaan hanya dijumpai pada polip utama (polip pertama muncul). Polip utama umumnya karang yang berasal dari polip abnormal memiliki bentuk pertumbuhan polip utama yang dapat dibagi menjadi dua, yaitu: 1) membentuk polip utama normal, dan 2) membentuk polip utama abnormal, terutama berhubungan dengan jumlah mulut, dan jumlah tentakel yang berbeda dan jumlah kepala polip. Namun polip utama yang terbentuk tetap berjumlah tunggal. Perbedaan yang terjadi hanya pada kepala polip, baik dari segi jumlah maupun dari segi bentuk.

Berubahan perkembangan polip utama yang terbentuk dari planula abnormal tergantung pada ukuran dan jarak diantara oral planula abnormal, dan perubahan bentuk polip utama akan terjadi sejalan dengan semakin besarnya percabangan dan jarak diantara oral. Planula abnormal akan tetap membentuk polip utama yang normal bila percabangan tubuh pada saat planulae hanya berukuran kecil. Sehingga bila percabangan polip abnormal berukuran besar yang menyebabkan jarak diantara oral berjauhan akan menyebabkan polip utama memiliki dua kepala polip terpisah sama sekali (Gambar 75 kanan). Namun kejadian ini baru diamati pada karang tipe berkoloni yang bisa memanjangkan polip-polipnya sampai beberapa centimeter (lihat Thamrin, 2001). Sementara dari karang tipe berkoloni yang memiliki polip tidak bisa memanjangkan polipnya sebagaimana pada umumnya karang termasuk karang dari kelompok soliter belum pernah dilaporkan.

Bentuk polip yang mencolok yang menandakan suatu koloni berasal dari planula karang abnormal pada dasarnya ditemukan terutama pada jumlah tentakel polip utama atau polip yang pertama kali muncul. Dalam perkembangan atau pertumbuhan polip utama yang berasal dari planula abnormal biasanya mengalami bentuk yang tidak sama dibandingkan perubahan, terutama bentuk kepala polip dan jumlah mulut. Planula abnormal yang baru menempel tumbuh membentuk beberapa mulut sesuai dengan jumlah oral pada saat planula. Sementara bila besar percabangan tidak begitu mencolok, kepala polip akan memiliki kepala polip bersatu satu sama lain.

Setiap polip biasanya memiliki satu buah mulut dengan dua belas tentakel atau kelipatan enam sesuai dengan ketentuan karang sebagai organisme termasuk hexacoralia. Pada polip muda yang berasal dari larva abnormal yang memiliki ukuran percabangan larva kecil, akan menyebabkan jarak antara kedua oral tidak mencolok. Larva tipe seperti ini akan membentuk jumlah mulut polip primer satu buah dengan jumlah tentakel lebih dari 12 buah, atau bila polip primer memiliki lebih dari satu buah mulut dengan jumlah tentakel juga lebih dari 12 buah. Bila jumlah mulut polip primer tumbuh dua buah secara berdampingan, secara bertahap kedua mulut bisa berubah menjadi satu polip dengan terjadinya pertumbuhan mengikuti pertambahan usia individu polip yang sedang berkembang (Gambar 76 kiri). Pada Gambar 76A (sebelah kiri) menunjukkan dua mulut pada polip muda yang baru menempel, yang kemudian berubah menjadi lebih jelas pada Gambar 76B kanan. Polip utama semula memiliki dua mulut, kemudian dengan pertambahan waktu tumbuh dan berkembang menjadi satu mulut (Gambar 76C kanan).



Gambar 76. Perkembangan bentuk polip karang yang berasal dari dua planula abnormal yang menempel secara berdampingan. A) dua hari setelah menempel; B) 1 minggu setelah menempel dan C), 3 minggu setelah menempel (Thamrin, 2001).

Berbeda dengan polip muda yang berada di sebelah kanan (Gambar 75) yang memiliki kepala polip terpisah dari pertama kali muncul. Polip ini tumbuh dan berkembang membentuk dua kepala polip yang masing-masing dilengkapi satu buah mulut dengan 12 tentakel. Akan tetapi pada kenyataannya hanya kepala polip yang berjumlah dua buah, namun tetap terbentuk dari satu polip utama. Polip abnormal ini membentuk percabangan menjadi dua pada pertengahan polip yang bisa dipanjangkan. Dari pertengahan polip yang memanjang membentuk dua cabang dengan kepala yang terpisah sama sekali pada ujung percabangan.

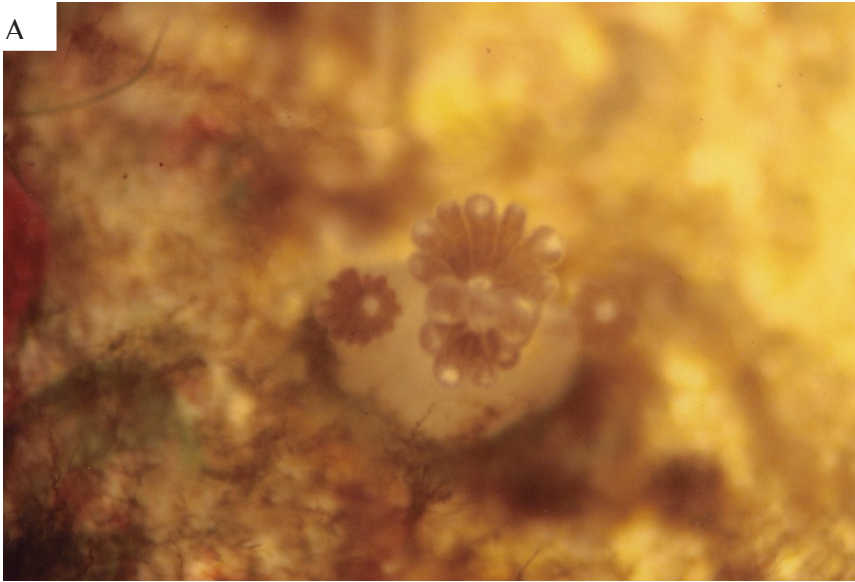
Polip muda pada Gambar 77 juga berasal dari larva planula abnormal, tetapi besar percabangan berada pada posisi pertengahan antara larva yang membentuk polip muda pada Gambar 77 bagian kanan dan bagian kiri.. Pertumbuhan polip dalam keadaan abnormal juga terjadi pada bagian kepala, memiliki dua mulut dan dua buah kepala, akan tetapi tetap terdiri dari satu buah polip dengan tentakel yang berdampingan tumbuh dan berkembang dalam keadaan menyatu. Polip abnormal hanya terjadi pada polip primer, sedangkan polip kedua dan selanjutnya tetap dalam keadaan normal (tanda panah).

Semua jenis planula baik dalam bentuk normal maupun yang abnormal tetap akan membentuk polip dan koloni normal, dengan pengecualian dijumpai pada polip primer. Pertumbuhan individu koloni selanjutnya tetap dalam keadaan normal. Bentuk pertumbuhan polip dalam keadaan abnormal hanya terjadi pada polip primer, sementara bentuk pertumbuhan polip yang kedua dan yang selanjutnya tetap dalam keadaan normal seperti Gambar 76.

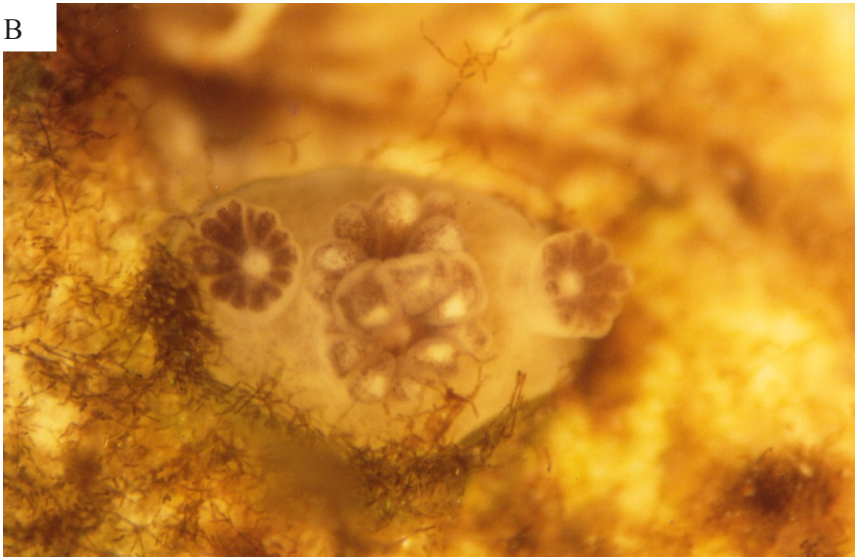
8.3. Kalsifikasi

Kalsifikasi adalah proses karang dalam memproduksi zat kapur atau kalsium karbonat di (CaCO_3) dalam pembentukan skeleton atau rangka. Kapur dihasilkan dalam reaksi yang terjadi di dalam lapisan endodermis karang. Reaksi pembentukan deposit kapur memerlukan ion kalsium dan ion karbonat. Kedua ion kalsium dan ion karbonat tersedia di dalam perairan. Ion kalsium berasal dari pengikisan bebatuan di darat dan ion karbonat berasal dari penguraian asam karbonat. Kalsium karbonat yang terbentuk kemudian membentuk endapan menjadi rangka hewan karang.

A



B

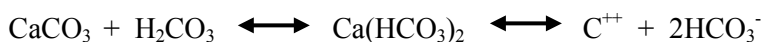


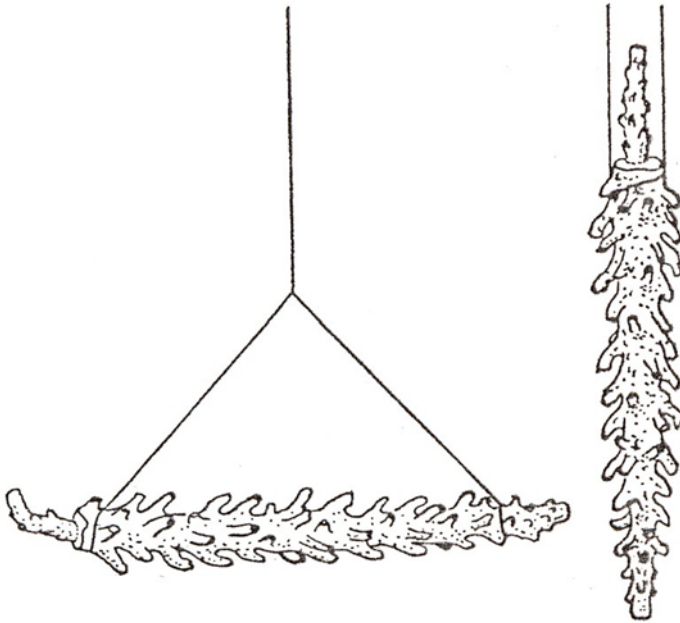
Gambar 77. Bentuk pertumbuhan polip utama dan polyp-polyp baru setelah planula abnormal menempel dan berkembang membentuk koloni muda (Foto oleh Thamrin).

Kalsifikasi karang dipengaruhi oleh fotosintesis mikro-algae zooxanthella yang berada di dalam jaringan tubuh karang. Untuk membuktikan pertumbuhan karang yang bersifat fototaksis positif ini dapat dilakukan dengan mudah pada fragmen karang tipe bercabang dengan meletakkannya dalam berbagai bentuk posisi. Pertumbuhan pada fragmen akan terjadi dari setiap ujung percabangan baik pada ujung percabangan sebagaimana pada awal waktu menyatu dengan koloni induk maupun dari bekas patahan percabangan yang menyebabkan fragmen terpisah dari koloni induk. Arah pertumbuhan karang yang berhubungan dengan cahaya matahari ini telah lama dibuktikan, seperti yang dilakukan Kawaguti (1937) pada regenerasi fragmen karang *Acropora* sp. Kawaguti menguji arah pertumbuhan karang dengan mengantung fragmen karang *Acropora* sp. dalam posisi horizontal dan dengan posisi vertikal secara terbalik (Gambar 78). Pertumbuhan fragmen sangat cepat terjadi pada ujung yang mengalami patah, dan pertumbuhan awal beberapa centimeter dari ujung fragmen memanjang dengan posisi horizontal, kemudian arah pertumbuhan berbelok ke atas. Sementara pada fragmen dalam posisi vertikal dengan kondisi terbalik, tempat terjadinya pertumbuhan dengan cepat juga pada ujung fragmen yang mengalami patah dan arah pertumbuhan secara vertikal lurus ke arah atas berlawanan dengan arah pertumbuhan fragmen pada saat masih menyatu dengan koloni induk.

Pada karang tipe bercabang menunjukkan bahwa hasil fotosintesis terbanyak terjadi pada ujung-ujung percabangan koloni (Wood 1983). Untuk menelusuri hasil fotosintesis ini telah dilakukan oleh Pearse dan Muscatin dengan menggunakan senyawa radioaktif. Hasil fotosintesis menunjang pertumbuhan cabang. Akan tetapi peningkatan posfat dalam suatu perairan justru menurunkan laju kalsifikasi pada karang.

Sebagaimana yang disebutkan di atas bahwa karang sebagian besar adalah dalam bentuk koloni, baik dalam bentuk bercabang, massive maupun dalam bentuk foliaceous. Polip sebagai individu terkecil dalam koloni karang scleractinia didukung oleh skeleton yang dibangun bersama simbiotnya 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:





Gambar 78. Regenerasi fragmen karang bercabang *Acropora* sp. yang digantung dengan posisi horizontal dan dengan posisi vertikal (Kawaguti, 1937)

Diperkirakan asam karbonat (H_2CO_3) terjadi dalam bentuk ion hidrogen (H^+) dan ion karbonat (HCO_3^-) yang memiliki kecenderungan terpisah menjadi H_2O dan CO_2 . Keseluruhan reaksi ini terjadi di dalam jaringan karang, dimana air dan produksi karbon dioksida dipercepat oleh enzim anhidrase (anhydrase). Karang hermatypic hidup bersimbiosis dengan zooxanthellae, yaitu alga berukuran sangat kecil dari kelompok dinoflagellata yang hidup di dalam jaringan endodermis karang. 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.

Peristiwa ini terjadi secara berfluktuasi sepanjang hari, dari pagi sampai sore dan berhenti pada malam hari. Sebagian besar penumpukan

kalsium karbonat terjadi dari pertengahan sampai sore hari ketika asimilasi terjadi secara maksimum. Semula kalsium karbonat dalam bentuk kristal terbentuk chitinous matrix lepas yang diproduksi di dalam lapisan endodermis. Kristal ini kemudian membentuk skeleton, yang terdiri dari paket kalsium karbonat padat di lapisan bawahnya.

7.4. Akresi

Akresi adalah pertumbuhan koloni dan terumbu ke arah vertikal maupun horisontal. Dalam hal ini penulis memisahkan antara reproduksi secara aseksual dengan pembentukan polip-polip dalam suatu koloni. Reproduksi secara aseksual merupakan pembentukan individu/koloni baru yang sama sekali terpisah dari induk individu/koloni, dan mampu melakukan aktifitas sebagaimana yang dialami induknya. Sementara pembentukan polip-polip baru dalam suatu koloni yang juga biasa disebut dengan reproduksi secara aseksual disebut dengan istilah pertambahan dan perkembangan polip baru untuk pertumbuhan koloni untuk memudahkan pemahaman. Reproduksi secara aseksual meliputi dengan cara *brooding*, fragmentasi, *polyp bail-out* dan *polyp-expulsion*. Sedangkan pertambahan polyp-polyp baru dalam suatu koloni dibagi menjadi dua, yaitu secara *extratentacular budding* dan secara *intratentacular budding*.

Karang pada umumnya dalam bentuk koloni, dan individu karang disebut dengan polip. Setiap polip karang memiliki ukuran maksimal dan pertumbuhan akan berhenti bila telah mencapai ukuran diameter maksimal tersebut, namun ukuran koloni akan terus berkembang dengan cara pertambahan kehadiran individu-individu baru. Penghubung diantara individu-individu karang disebut dengan coenosact. Individu polip karang ditopang oleh kerangka kapur sebagai mana yang disebutkan di atas. Kerangka kapur ini berdiri tegak secara radial yang berdiri pada lempengan dasar sebagai pondasi.

Karang-karang tersebut membentuk koloni, yang kemudian tumbuh menjadi bentuk yang khas. Variasi bentuk pertumbuhan koloni tersebut meliputi bentuk bercabang (*branching*), *sub-branching*, massive, sub-massive, digitate. Namun pada dasarnya bisa dikelompokkan menjadi empat kelompok besar, yaitu:

a. Massive

Karang bentuk massive memiliki pertumbuhan koloni seperti helm. Pertumbuhan koloni selalu dalam bentuk multi dimensi, terutama secara mendatar ke segala arah dan sekaligus secara vertikal (ke atas).

Sebagai contoh yang termasuk kelompok massive termasuk *Goniastrea aspera*, *Poritas lutea* dan lain-lain.

b. Bercabang

Koloni ini tumbuh ke arah vertikal maupun horisontal, dengan arah vertikal lebih dominan. Percabangan dapat memanjang atau melebar, sementara bentuk cabang dapat halus atau tebal. Karang bercabang memiliki tingkat pertumbuhan yang paling cepat, yaitu bisa mencapai 20 cm/tahun. Bentuk koloni seperti ini, banyak terdapat di Perairan Indonesia. Jenis karang yang termasuk ke dalam bentuk bercabang sebagian besar dari kelompok *Acropora*, seperti karang *Acropora formosa*, *A. nasuta*, *A. tumida*, dan lain-lain.

c. *Encrusting*

Bentuk pertumbuhan karang encrusting bisa menimbulkan keraguan dengan bentuk karang massive terutama bila tumbuh dan berkembang pada substrat bebatuan atau gundukan. Pada dasarnya karang yang berbentuk encrusting memiliki pertumbuhan tipis mendatar, tumbuh dan berkembang mengikuti kontur substrat yang berada di dasar laut yang selalu tidak beraturan. Yang termasuk kelompok karang berbentuk encrusting diantaranya adalah dari kelompok *Pachyseris*.

d. Foliceous

Kelompok karang yang termasuk bentuk pertumbuhan foliceous memiliki bentuk pertumbuhan lembaran-lembaran. Disamping koloni berbentuk lembaran-lembaran juga selalu disertai arah pertumbuhan lembaran berbentuk melingkar seperti per atau bergelombang tidak beraturan. Diantara jenis karang yang termasuk kelompok foliceous termasuk kelompok *Pachyseris* dan *Montipora* dan lain-lain.

8.5. Regenerasi pada karang

Kerusakan karang bisa terjadi secara menyeluruh atau hanya pada sebagian tisu atau sebagian polip pada suatu koloni yang disebut juga kerusakan secara parsial. Kerusakan secara parsial ini bisa disebabkan aktifitas diving, pembuangan jangkar kapal untuk berlabuh pada daerah terumbu karang, angin topan, dan gempa bumi. Disamping itu juga disebabkan faktor biologis, seperti disebabkan organisme dari kelompok ikan dan organisme lainnya. Pengaruh bahan kimia juga bisa merusak tisu karang, dan merupakan salah satu pengaruh sangat berbahaya bagi hewan karang dibandingkan faktor fisik dan biologi sebelumnya.

Kecepatan regenerasi pada karang *Montastrea annularis* berbanding terbalik dengan ukuran kerusakan (van Veghel dan Bak, 1994). Regenerasi pada berbeda jenis karang memiliki strategi yang berbeda. Beberapa karang menunjukkan bahwa bagian yang rusak akan langsung ditutupi oleh tisu baru yang dilakukan oleh polip yang berdampingan. Keadaan seperti ini biasanya terjadi pada kerusakan yang berukuran kecil atau pada patahan karang bercabang. Namun juga ditemukan regenerasi tidak langsung setelah tisu mengalami kerusakan, akan tetapi setelah mengalami kerusakan justru bertambah dari ukuran awal kerusakan. Pertambahan besar ukuran kerusakan disebabkan tisu berdampingan mati, dan tisu yang mati mencapai 86 % dari tisu yang mengalami kerusakan. Regenerasi baru terjadi setelah dua minggu kemudian.

Pada karang bertipe bercabang kerusakan terutama terjadi dalam bentuk patahan cabang yang menyebabkan beberapa polip akan berdampingan dengan patahan atau polip/tisu yang rusak. Regenerasi tisu untuk menutupi bagian yang patah oleh tisu membutuhkan waktu sekitar dua minggu. Keadaan ini tidak berbeda dengan patahan (fragmen) yang terpisah dari induknya, seperti bagian yang patah pada fragmen *Acropora fruinosa* di laboratorium membutuhkan waktu sekitar dua minggu untuk menutupi bekas patahan oleh tisu baru pada bekas patahan tersebut (Thamrin, 2005). Namun pengaruh secara fisiologi terhadap polyp yang berdampingan bisa lebih dari satu setengah tahun. Seperti pengaruh terhadap fekunditas pada karang *Stylophora pistillata* dimana penurunan fekunditas polip yang berdampingan dengan bagian tisu/polip yang rusak mengalami penurunan fekunditas selama 19 bulan (Rinkevich dan Loya, 1989). Keadaan yang serupa juga terjadi pada karang *Montastrea annularis* (van Veghel dan Bak, 1994)

Bila karang mati, skeleton yang terbentuk dari kalsium karbonat kemudian juga berperan besar dalam menyediakan substrat untuk tempat menempel bagi pertumbuhan karang baru. Namun organisme yang pertama kali hadir pada skeleton karang yang ditinggalkan tisuanya bukan dari kelompok karang, melainkan dari kelompok algae. Kelompok mikro-algae biasanya akan hadir pada skeleton karang yang telah mati sekitar dua hari setelah tisu terpisah dari skeletonnya.

Bab 8

KOMPETISI, PEMANGSA & PERUSAK KARANG

Kehadiran karang pada suatu habitatnya akan dimulai dengan penempelan larva, dilanjutkan dengan metamorfosis, tumbuh dan berkembang sampai mati pada tempat dimana planula menempel pertama kali. Setelah mengalami metamorfosis polip-polip baru terbentuk, dan dilanjutkan dengan penambahan jumlah individu membentuk koloni. Pertumbuhan koloni akan terjadi dalam bentuk dua dimensi, yaitu pertumbuhan secara vertikal ke arah atas dan secara horizontal tumbuh kesegala arah, baik yang ditemukan pada tipe koloni bercabang maupun pada tipe koloni lainnya.

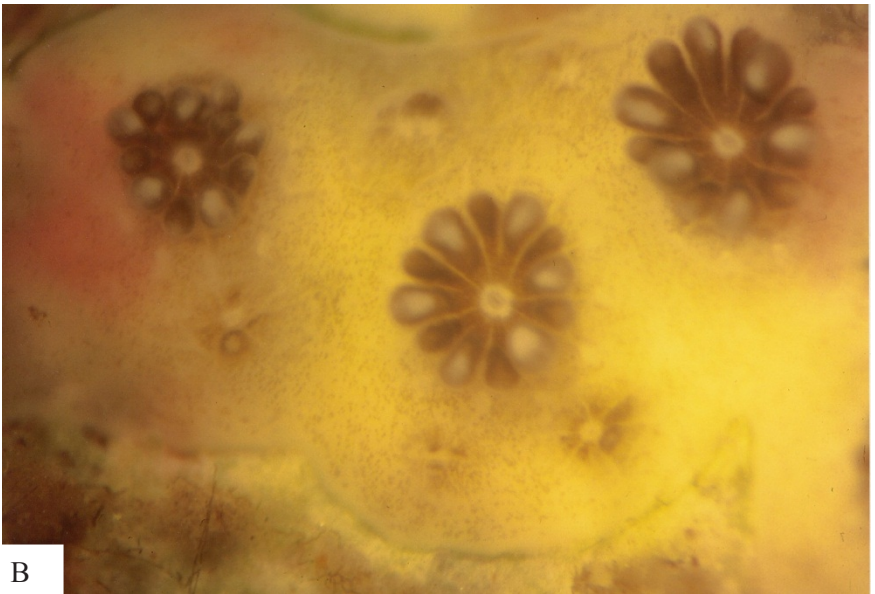
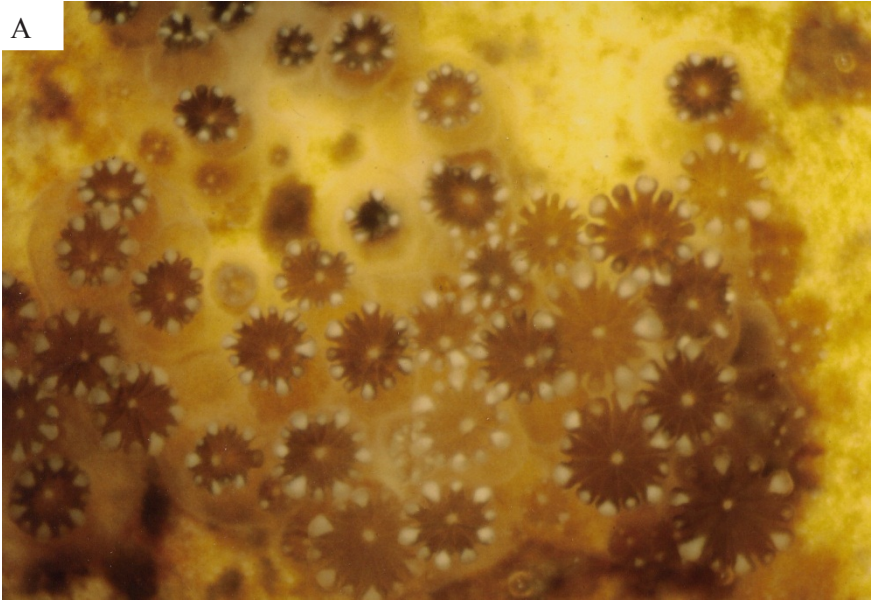
8.1. Kompetisi

Kompetisi pada karang dikelompokkan menjadi dua, 1) *intraspecific copetition*, dan 2) *interspecific competition*. *Intraspecific competition* adalah kompetisi yang terjadi antara spesies yang sama, dan sebaliknya *interspecific competition* adalah kompetisi yang terjadi antara spesies yang berbeda. Dalam buku ini hanya menekankan pada kompetisi antara spesies yang berbeda, karena kompetisi antara spesies yang sama menunjukkan dampak yang tidak begitu signifikan terhadap keberlanjutan karang. Terutama hanya terlihat dari fisiologi dan fisik, seperti antara koloni berbeda pada karang *Stylophora pistillata* (lihat Rinkevich dan Loya, 1985).

Planula memiliki kebiasaan menempel secara mengelompok, dan keadaan ini menyebabkan diantara individu atau koloni terbentuk akan bersentuhan dengan terjadinya pertambahan ukuran (pertumbuhan) koloni (Gambar 74B). Keadaan ini menyebabkan tiga kemungkinan yang dihadapi karang, yaitu: 1) peleburan diantara polip muda akan terjadi pada beberapa waktu, 2) peleburan diantara polyp terjadi dari awal sampai dewasa, dan 3) peleburan tidak terjadi diantara polip berdampingan. Pada awal kehidupan polip-polip muda yang hidup berdampingan umumnya terjadi peleburan (*fusion*) diantara polip-polip muda dengan peningkatan pertumbuhan. Namun sebagian besar polip-polip muda ini tidak bertahan lama bisa hidup saling berdampingan atau mengalami peleburan (*fusion*). Keadaan ini tidak jarang terjadi setelah beberapa saat mengalami peleburan kemudian berubah menjadi bersaing, dan tidak jarang diantara yang bersaing mengalami kematian (Gambar 79). Sebagian kecil polip-polip muda yang melakukan peleburan sampai dewasa. Kemungkinan ke tiga peleburan tidak terjadi dari awal perkembangan polip. Biasanya kejadian kelompok ke tiga ini akan selalu terlihat batas pemisah diantara polip-polip muda yang berdampingan. Namun kompetisi tetap terjadi diantara polyp-polip muda yang hidup berdampingan. Terutama dalam kompetisi sumberdaya berhubungan dengan tempat (*space competition*) dengan terjadinya peningkatan/pertumbuhan polip-polip muda secara horizontal/melebar dalam membentuk koloni.

Pada Gambar 79B terlihat tiga larva planulae menempel dan berkembang berdampingan dan kemudian ketiga polip muda yang baru terbentuk melebur atau menyatu seperti sebuah koloni muda yang berasal dari satu larva planula. Keadaan ini umum terjadi pada polip-polip muda yang selalu menempel dan tumbuh secara berkelompok. Namun sebagian besar polip-polip muda yang telah berkembang menjadi koloni muda ini tidak lama hidup berdampingan dan meleburkan diri satu sama lain. Setelah berumur beberapa saat kemudian terjadi kompetisi dan tidak jarang justru sebagian besar koloni muda ini mengalami kematian. Dari sekian banyak polip-polip muda yang meleburkan diri kemudian hanya beberapa polip yang dapat melanjutkan kehidupan.

A



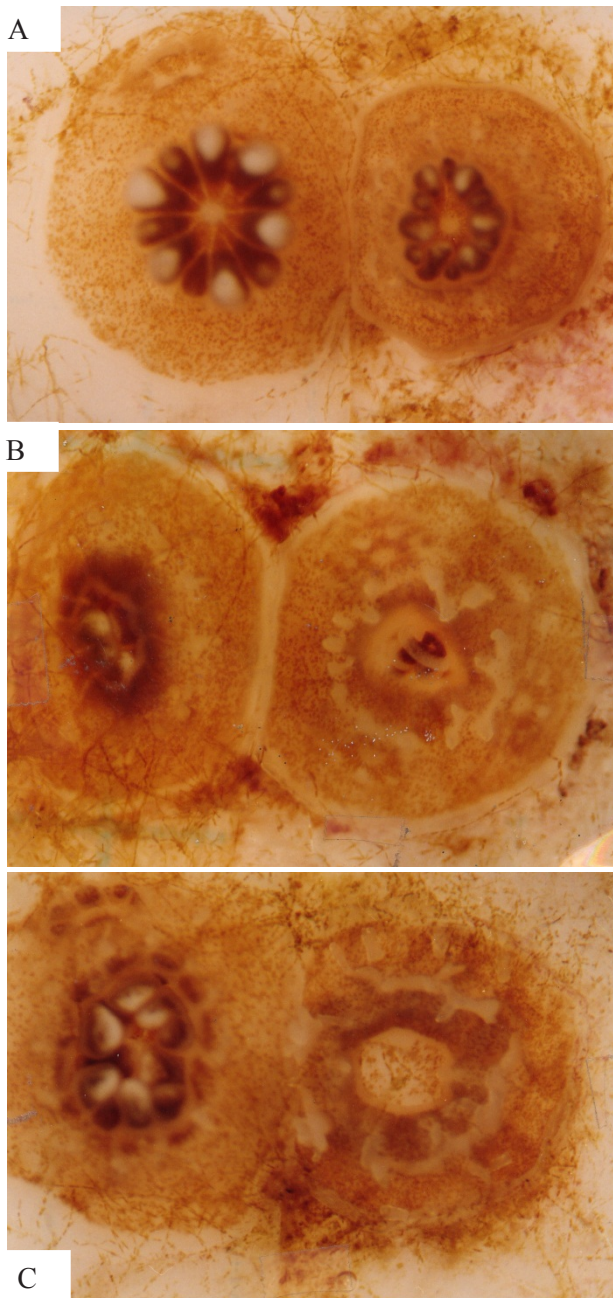
B

Gambar 79. A). Kelompok planula baru saja menempel yang condong menempel secara berkelompok. B). Polip muda mengalami peleburan (*fusion*) 4 minggu setelah menempel (Foto oleh Thamrin).

Gambar 80 merupakan salah satu contoh kompetisi intraspecific pada polip muda pada karang *Alveopora japonica*. Kedua polip muda adalah dua planula yang baru menempel sengaja diletakkan berdampingan ketika berumur baru sekitar tiga hari. Pada awal pertumbuhan terlihat kedua polip muda hidup berdampingan dalam kondisi sehat, dan pada bagian tisu kedua polip muda yang bersentuhan hampir tidak terlihat garis pemisah. Akan tetapi pada waktu memasuki sekitar hari ke lima walaupun bagian tisu yang bersentuhan kedua polyp muda masih terlihat baik, namun salah satu polip (bagian kanan) telah menunjukkan sedikit perubahan (Gambar 80A). Tentakel polip bagian kanan mulai terlihat perubahan dan sedikit kurang terbuka. Sebaliknya polip bagian kiri masih kelihatan segar. Memasuki hari ke sepuluh kedua polip muda yang berdampingan sama-sama mengalami pengaruh hidup berdampingan. Pengaruh hidup berdampingan dan kompetisi telah terjadi dapat dilihat dari perubahan kondisi polip dan tentakel kedua polip muda ini yang telah mengecil (Gambar 80B). Pada polip bagian kanan kelihatan mulai tertarik ke dalam dan ukuran tentakel semakin kecil. Polip karang ini yang biasa memanjang beberapa centimeter keluar tidak bisa dikeluarkan lagi. Sementara polyp bagian kanan juga mengalami perubahan, akan tetapi jauh lebih baik kondisinya dibandingkan polip disebelahnya. Sekitar tiga hari berikutnya, semua polip yang bisa memanjang pada waktu sehat pada polip bagian kanan telah menghilang (Gambar 80C), sehingga polyp muda ini kelihatan kosong pada bagian tengahnya. Beberapa hari kemudian disusul hilangnya bagian tisu lainnya polip bagian kanan ini. Setiap organisme memiliki bermacam cara dalam mempertahankan diri atau untuk menyerang kompetitornya. Kompetisi yang terjadi pada karang dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. kompetisi intraspecific, adalah kompetisi yang terjadi diantara koloni/individu yang berbeda dalam spesies yang sama.
2. kompetisi interspecific, yaitu kompetisi yang terjadi diantara koloni/individu dan spesies yang berbeda.

Usaha dalam mempertahankan diri ini dijumpai hampir pada setiap organisme. Sebagai organisme yang hidup menetap dan tidak bisa berpindah tempat, kompetisi yang paling dominan dihadapi organisme karang adalah dalam berebut tempat hidup, yang disebut juga dengan istilah *space competition*. Bila karang dikelompokkan berdasarkan organ/strategis dalam berkompetisi dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu:



Gambar 80. Kompetisi interspesific pada polip muda karang *Alveopora japonica* (Foto oleh Thamrin).

1. dengan *sweeper tentacle*,
2. dengan *sweeper polyp*,
3. dengan mesenterial filamen, dan
4. *Overgrowth* atau *Overtop* (Pertumbuhan lebih cepat dan menutupi lawan yang menjadi kompetitor).

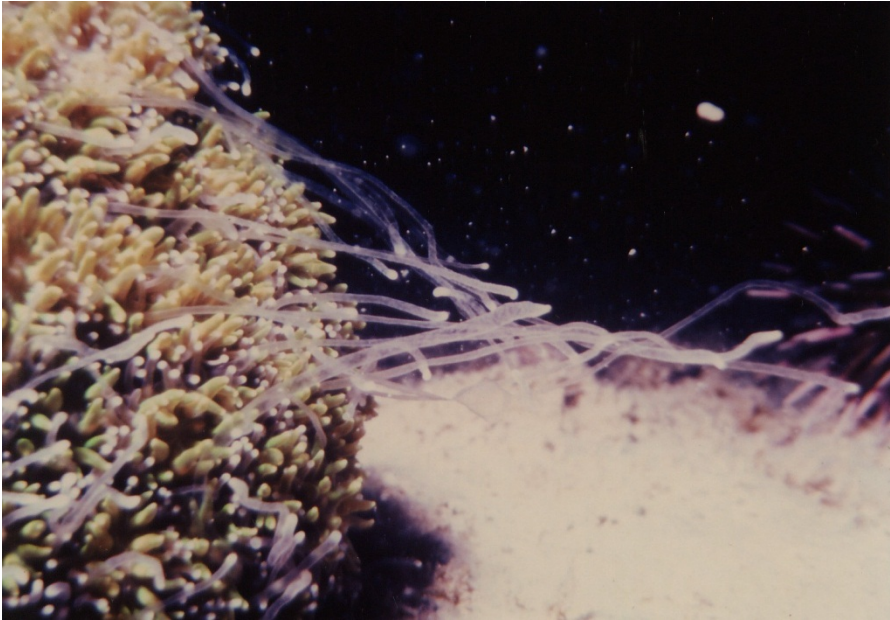
8.1.1. Sweeper Tentakel

Setiap jenis karang memiliki tentakel, dan tentakel ini pada umumnya digunakan untuk menangkap makanan. Pada beberapa jenis karang disamping untuk menangkap makanan, tentakel digunakan juga untuk berkompetisi dengan organisme lain. *Sweeper tentacle* adalah tentakel karang tertentu yang bisa memanjang secara mencolok melebihi panjang ukuran tentakel normal yang dimiliki jenis karang bersangkutan. Diantara jenis karang yang menggunakan tentakel dalam berkompetisi diantaranya adalah *Montastrea cavernosa* Linnaeus, *M. mirabilis* dan *Galaxea fascicularis*. Ketiga jenis karang ini memiliki beberapa kekhususan, termasuk tentakel yang panjang yang dikenal sebagai *sweeper tentacle* (Gambar 80). *Sweeper tentacle* terjadi tidak sepanjang waktu, akan tetapi muncul secara berkala.

Sweeper tentacle memiliki ukuran panjang yang beragam, tergantung pada spesies yang bersangkutan. Bila dibandingkan dengan tentakel normal, *sweeper tentacle* memiliki ukuran antara 3 sampai 20 kali lebih panjang dibandingkan tentakel pada saat normal. Pada karang *M. cavernosa* ditemukan *sweeper tentacle* memiliki panjang lebih kurang 3 (tiga) kali sampai 5 (lima) kali lebih panjang dari tentakel karang bersangkutan pada saat normal, dan mempunyai lebih banyak acrosphere (Den Hartog, 1977). *Sweeper tentacle* terpanjang dijumpai pada karang *G. fascicularis*, yang memiliki panjang lebih dari 20 kali lebih panjang dari tentakel saat normal. Panjang tentakel *G. fascicularis* saat normal hanya antara 3 sampai 5 mm, dan setelah berubah menjadi *sweeper tentacle*, ukuran tentakel memiliki panjang mencapai lebih dari 10 cm (Hidaka dan Yamazato, 1984). *Sweeper tentacle* pada karang *G. fascicularis* tidak bisa muncul sepanjang waktu, akan tetapi hanya terjadi pada malam hari.

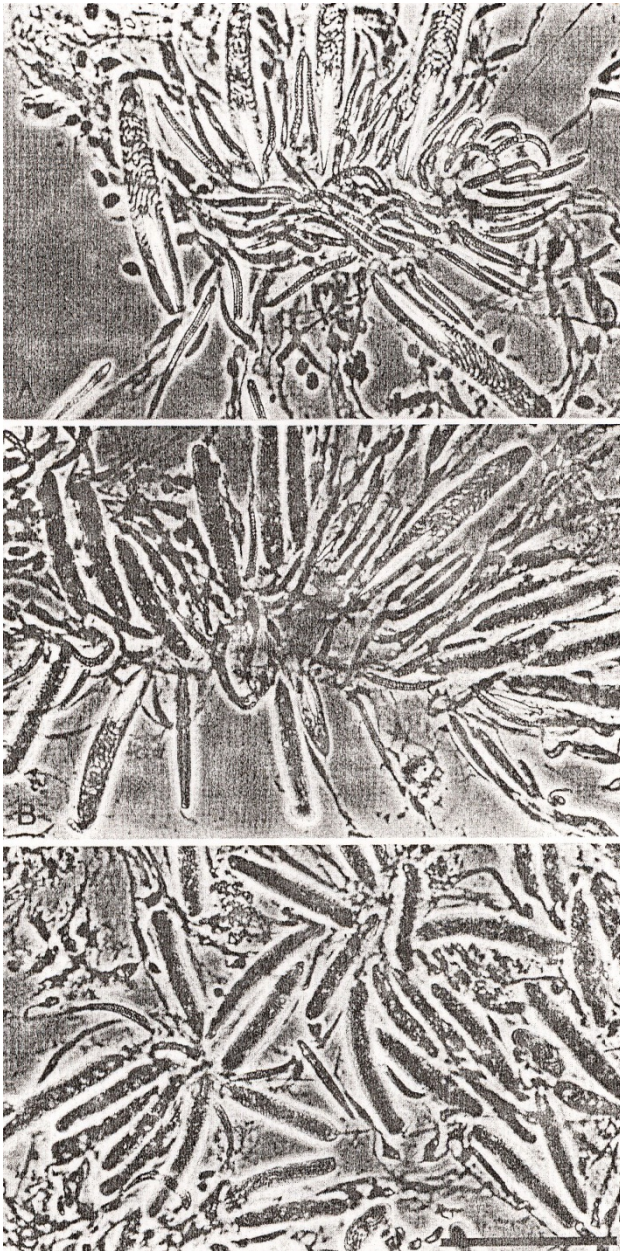
Setiap jenis karang hanya menggunakan salah satu organ dan cara untuk melakukan kompetisi. Seperti *Montastrea cavernosa* Linnaeus, *M. mirabilis* dan *Galaxea fascicularis* hanya menggunakan *sweeper tentakel* dalam berkompetisi, dan belum ditemukan jenis organisme ini sekaligus menggunakan organ/cara lain untuk

berkompetisi. Seperti menggunakan mesenterial filamen atau *sweeper polyp* dan lain-lain. Kecuali bagi karang yang menggunakan *overtopping* yang selalu disertai mesenterial filamen.



Gambar 81. Sweeper tentakel karang *Galaxea fascicularis* (Foto oleh S. Nojima).

Ddsamping *sweeper tentacle* digunakan untuk berkompetisi juga dipakai untuk menangkap makanan sebagaimana yang digunakan jenis karang umumnya yang tidak bisa memanjangkan tentakel. Lewis dan Price (1975) bahkan mengatakan bahwa *M. coervnosa* mampu menangkap udang *brine* pada rentang sepanjang daerah yang terjangkau *sweeper tentacle*. Oleh sebab itu pertambahan panjang tentakel yang disebut *sweeper tentacle* juga termasuk untuk menangkap makanan. Sebagai organ yang digunakan untuk berkompetisi, tentakel juga dilengkapi dengan nematosit. Perbedaan nematosit antara tentakel normal dan *sweeper tentacle* ditemukan hanya pada kepadatan, dimana pada *sweeper tentacle* memiliki nematosit lebih padat dibandingkan tentakel normal (Gambar 81). Terutama pada bagian ujung tentakel. Sementara jenis nematosit yang dihasilkan tentakel normal dan tentakel sedang memanjang (*sweeper tentacle*) memiliki jenis yang sama dan tidak dijumpai perbedaan jenis nematosit.



Gambar 82. Nematosit pada ujung tentakel karang *Galaxea fascicularis*, A) dijumpai saat tentakel normal; B) pada saat tentakel berukuran sedang; dan C) pada ujung sweeper tentakel (Hidaka dan Yamazato, 1983).

8.1.2. *Sweeper polyp*

Polip pada beberapa spesies karang memiliki ukuran jauh lebih panjang dibandingkan polip-polip karang umumnya, seperti dijumpai pada genus *Goniopora* dan genus *Alveopora*. Sweeper polyp adalah polip karang tertentu memanjang ukurannya melebihi ukuran polip normal yang dimiliki karang bersangkutan. Tentakel yang memanjang ini dalam suatu koloni berdistribusi tidak menentu. Dari sekian banyak jenis karang yang memiliki polip berukuran panjang, namun sampai saat ini spesies yang dikenal menggunakan *sweeper polyp* dalam berkompetisi hanya *Goniopora stokesi* (Gambar 83). Berbeda dengan sweeper tentacle, dimana yang mengalami perpanjangan adalah tentakelnya. Sementara polipnya tetap berukuran normal. Sedangkan pada *sweeper polyp* adalah polip karangnya yang memanjang, sedangkan tentakelnya memiliki ukuran yang tetap.



Gambar 83. Perpanjangan *sweeper polyp* (tanda panah) koloni karang *Goniopora stokesi* (sebelah kiri) dengan bagian yang luka koloni *Merulina ampliata* (sebelah kanan) pada kedalaman 10 m di Atoll Peros Banthos di Kepulauan Chagos (Sheppard dalam Lang dan Khornesky, 1990).

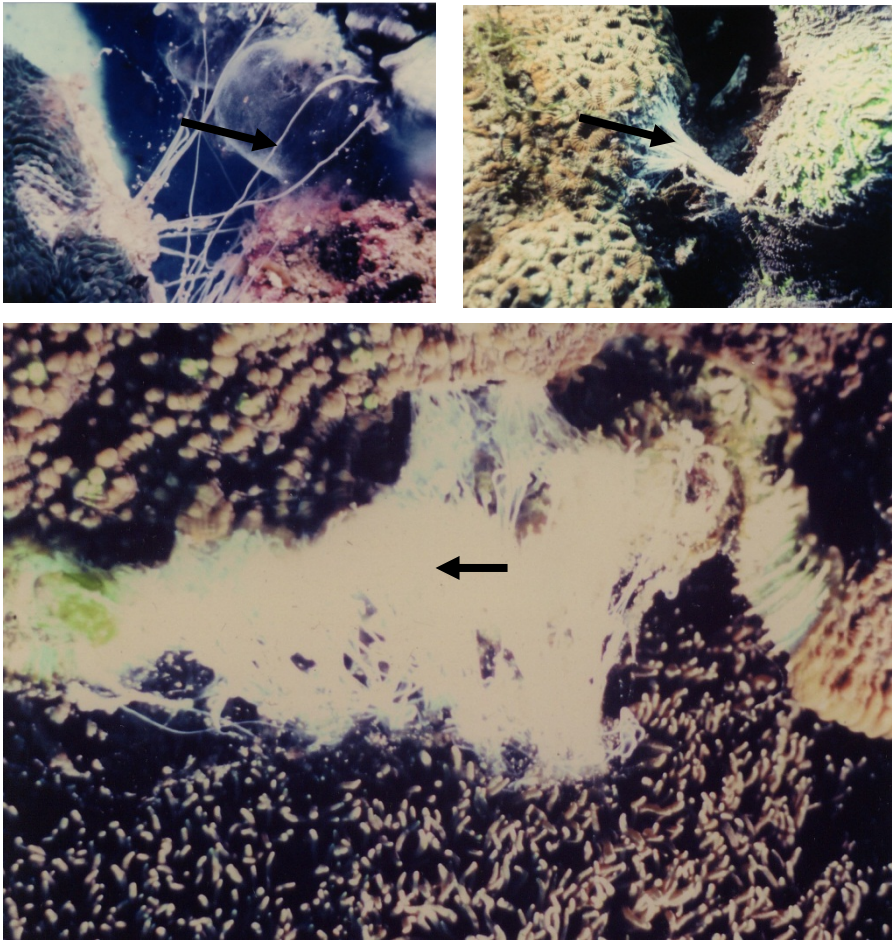
8.1.3. Mesenterial Filamen

Mesentery/mesenterial filamen pada dasarnya adalah organ yang sangat vital untuk mencerna makanan atau sama dengan usus pada karang. Namun pada sebagian besar jenis karang, mesenterial filamen tidak saja digunakan untuk mencerna makanan, tetapi juga dimanfaatkan sebagai organ untuk berkompetisi. Bahkan ditemukan mesenterial filamen juga digunakan untuk menangkap makanan (Muscatin, 1973). Secara keseluruhan manfaat mesenterial filamen bagi karang ada tiga, yaitu: 1) untuk mencerna makanan, 2) untuk menangkap makanan, dan 3) untuk berkompetisi atau mempertahankan diri dari kompetitor. Akan tetapi tidak pada semua jenis karang mampu memanfaatkan organ ini memiliki fungsi ketiga ketentuan tersebut sekaligus.

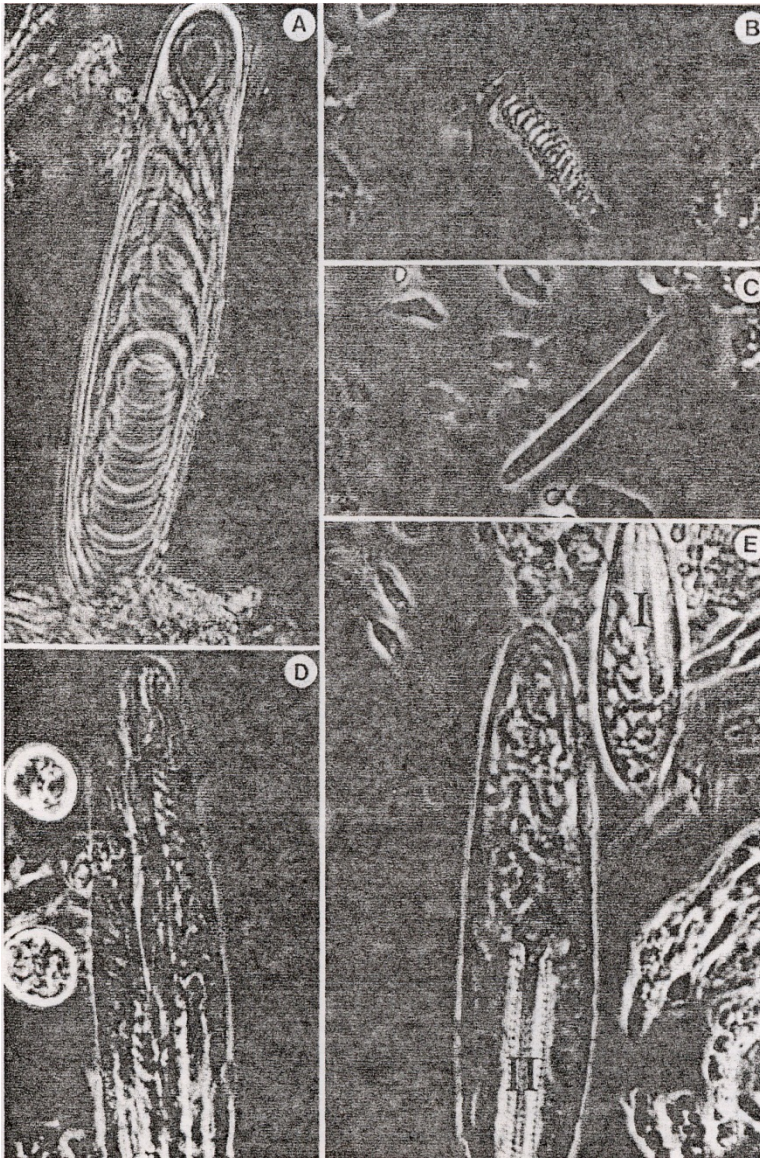
Mesenterial filamen biasanya dikeluarkan melalui mulut polip atau melalui tisu karang yang lembut. Dalam berkompetisi, mesenterial filamen digunakan untuk menghancurkan tisu karang yang berdampingan. Seperti halnya dengan sweeper tentacle (Gambar 83), mesenterial filamen juga dilengkapi dengan nematosit dalam menghancurkan tisu karang yang berdampingan (Gambar 84).

Mesenterial filamen merupakan organ yang paling umum digunakan organisme karang untuk berkompetisi atau dalam mempertahankan diri dari kompetitor. Jenis karang yang menggunakan mesenterial filamen dalam berkompetisi memiliki kemampuan yang beragam, serta memiliki setiap tingkatan kemampuan untuk berkompetisi, mulai dari yang sangat agresif, agresif sedang dan sangat lemah (lihat Tabel 2).

Karang *Montastrea cavernosa* termasuk salah satu jenis karang yang agresif sedang, dan mampu menghancurkan tisu spesies karang yang berada disekitarnya dengan menggunakan mesenterial filamennya (Lang, 1973). Sebaliknya tisu karang *M. cavernosa* dihancurkan oleh keluarganya *M. annularis* Ellis dan Solander yang juga dengan menggunakan mesenterial filamen bila keduanya diletakkan bersentuhan. Akan tetapi bukti seperti ini jarang ditemukan di alam. Di Jamaika, karang *M. cavernosa* dapat selalu ditemukan dikelilingi oleh karang *M. annularis*, akan tetapi reaksi yang terjadi justru sebaliknya dimana spesies *M. cavernosa* mampu mencegah usha *M. annularis* untuk menutupi koloninya (overgrowth).



Gambar 84. Beberapa jenis karang yang hidup berdampingan yang saling menyerang menggunakan mesenterial filamen. Tanda panah menunjukkan mesenterial filamen sedang keluar dan menyerang karang berdampingan (Foto oleh S. Nojima).



Gambar 85. Beberapa contoh nematosit pada karang. A) Holotrich besar pada mesenterial filament *Isophyllia sinuosa*; B) Spirocyst dijumpai pada mesenterial filament karang *Fungia fungites*. C) B-mastigophore pada tentakel *Galaxea fascicularis*; D) Tipe III P-mastigophore dari tentakel *Galaxea fascicularis*; E) Tipe I (I) dan tipe II (II) P-mastigophore pada mesenterial filament *Montastrea annularis* (Thomson dan Brown. 1986).

8.1.4. *Overgrowth/Overtop*

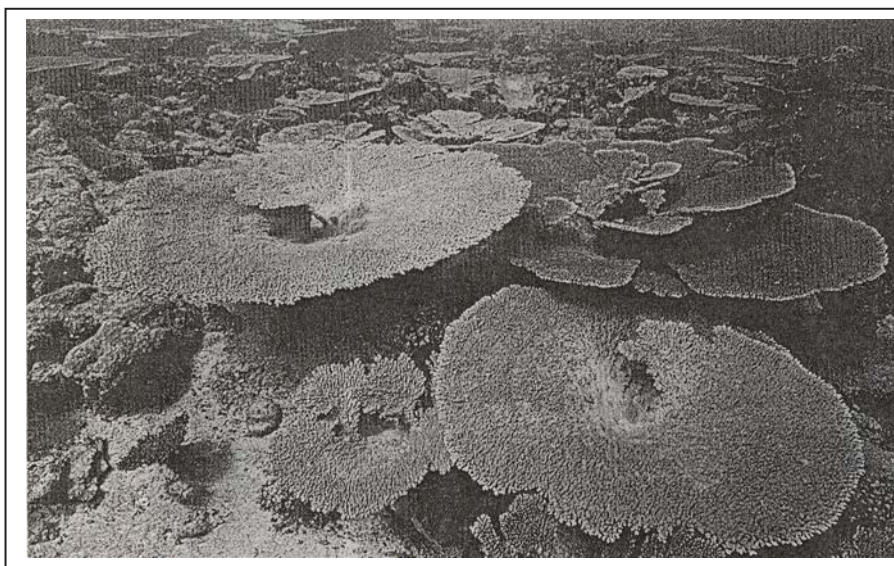
Overgrowth atau *overtop* adalah kompetisi yang dilakukan suatu jenis karang dengan melakukan pertumbuhan lebih cepat pada bagian sisi koloni yang mengalami kompetisi, kemudian menutupi atau melindungi/menutupi koloni karang di bawahnya. Sehingga koloni karang yang berada dibagian bawah tidak memperoleh cahaya yang cukup untuk simbiotennya zooxanthellae dalam melakukan fotosintesis. Kompetisi seperti ini biasanya dilakukan oleh karang dari kelompok karang yang memiliki kecepatan pertumbuhan yang cepat, yaitu: pada karang bercabang, foliaceous dan kelompok karang *encrusting* (Gambar 86 dan 87).

Setiap jenis (spesies) karang memiliki strategis dan organ serta kemampuan yang berbeda dalam berkompetisi. Bila dikelompokkan pembagian karang berdasarkan tingkat keagresipannya dalam berkompetisi dapat dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu:

- 1) kelompok sangat agresif,
- 2) kelompok agresif sedang, dan
- 3) kelompok agresif rendah.



Gambar 86. Karang *branching A. cervicornis* melindungi koloni massive *Montastrea annularis* pada kedalaman 10 m pada perairan Teluk Discovery Jamaica (Foto oleh P. Dustan dalam Lang dan Chornesky, 1990).



Gambar 87. Koloni tubular *Acropora cytherea* (tengah bawah) dan *A. hyacinthus* (tengah kanan) menutupi pada kedalaman 15 m di Kepulauan Jiniani atoll Enewetak (A), B) Koloni foliaceous *Leptoseris* (*Helioseris*) *cuculata* (kanan) menutupi sebagian koloni *Agaricia lamarsky* pada kedalaman sekitar 18 m di sebelah barat Rio Bueno Jamaica (Foto oleh J.C. Lang dalam Lang dan Chornesky, 1990).

Tabel 3. Kedudukan spesies-spesies karang berdasarkan posisi dalam berkompetisi (Sheppard, 1979).

Tingkat Keagresifan		
Sangat Agresif	Sedang	Rendah
Pocilloporidae <i>Pocillopora verrucosa</i>	<i>Stylophora pistillata</i>	<i>Seriatopora hystrix</i>
Acroporidae <i>Acropora palifera</i> <i>A. hyacinthus/</i> <i>reticulata</i>	<i>Acropora humilis</i>	<i>Astreopora</i> sp. <i>Montipora</i> spp.
Agariciidae	<i>Pavona varians</i> <i>Gardineroseris</i> <i>Ponderosa</i>	<i>Pavona clavus</i>
Fungiidae <i>Fungia</i> spp <i>Halomitra philippinensis</i>		
Poritidae <i>Goniopora</i> spp		<i>Porites lutea</i> <i>P. andewsi</i>
Faviidae <i>Favia favius</i>	<i>Cyphastrea</i> <i>microphthalma</i> <i>Favia stelligera</i> <i>Goniastrea pectinata</i> <i>Echinopora lamellosa</i>	<i>Leptastrea</i> <i>Transversa</i>
Oculinidae <i>Galaxea clavus</i>		
Meandrinidae	<i>Ctenella chagius</i>	
Mussidae	<i>Lobophyllia</i> <i>corymbosa</i> <i>Symphyllia radians</i>	

Pengelompokkan spesies karang berdasarkan tingkat keagresifan dalam berkompetisi telah dilakukan oleh Sheppard pada tahun 1979. Untuk mengelompokkan ini dilakukannya pada kelompok karang yang hidup di daerah terumbu karang Chagos, Lautan Hindia. Adapun pengelompokkan spesies karang tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Sementara Shepard (1979) mengelompokkan tingkatan spesies karang dalam berkompetisi lebih rinci yang berada di terumbu karang Chagos Lautan Hindia sebagai berikut:

- A. Pocilloporidae. Pocilloporidae merupakan salah satu kelompok karang yang menyebar secara luas diantara spesies karang yang umum ditemukan. Spesies dari keluarga ini yang dominan melakukan konflik adalah *Pocillopora verrucosa*, yang diikuti oleh spesies *Stylophora pistillata*. Sementara spesies *Seriatopora hystrix* sangat agak lemah dan selalu berada di pihak yang kalah bila berhadapan dengan spesies lain.
- B. Acroporidae. Dari kelompok Acroporidae, hampir sebagian besar spesies ini bersifat sebagai agresor. *Acropora palifera* dan *A. hyacinthus* merusak hampir seluruh spesies yang berhadapan dengan kedua spesies ini. Sementara *A. humilis* berkedudukan sebagai subordinate terhadap hampir semua spesies lainnya. Sebaliknya karang *Astreopora* spp dan *Montipora* spp sangat berbeda dengan keluarganya yang lain, dimana kedua spesies ini selalu pada pihak yang kalah dan bahkan sampai mati oleh spesies lain. Spesies karang *Montipora* yang bersentuhan dengan spesies lain tidak memiliki respon dengan spesies lain.
- C. Agariciidae. Agariciidae ditemukan memiliki 3 spesies. Kedua spesies *Pavona varians* dan *Gardineroseris ponderosa* memiliki jumlah yang mati (terbunuh) dan membunuh spesies lain selalu dalam jumlah yang sama. Sangat berbeda sekali dengan keluarga kelompok karang ini dari spesies *Pavona clavus* yang selalu berada dalam pihak yang kalah bila bersaing dengan karang berdampingan.
- D. Fungidae. Kelompok ini sangat agresif walaupun dilakukan kontak langsung dengan karang. Akan tetapi spesies ini sebagai karang yang hidup bebas termasuk kelompok *Danafungia*, *Fungia*, *Pleuractis* dan *Verillofungia*. Senuah jenis ini sangat jarang ditemukan di lereng lagoon. Bila ditemukan selalu berkedudukan sebagai agresor, akan tetapi jarak antara *Fungia* dengan karang lain selalu berjauhan. Mobilitas spesies ini berkemungkinan untuk menghindari kontak langsung dengan spesies lainnya. *Halomitra philippinensis* tidak melekat di substrat dasar, tetapi tidak bergerak, dan selalu dijumpai melakukan kontak langsung dengan spesies lain, tetapi selalu berada dalam pihak yang kalah. Keistimewaan kelompok karang ini adalah tidak pernah ditemukan melakukan kontak langsung, dan walaupun dilakukan di laboratorium tidak terjadi reaksi menyerang diantara.
- E. Poritidae. Famili ini memiliki kedua ekstrim hirarki dalam agresi. *Goniastrea* spp (sebagian *G. Stokesi*) adalah spesies yang agresif,

membunuh banyak karang lain yang berada cukup dekat dengannya. Yang mencolok disini adalah spesies ini memiliki polip yang cukup panjang, dan panjangnya adakalanya mencapai 10 cm pada saat siang hari, dan kecil kemungkinan organisme lain hidup di daerah jangkauannya. Sebaliknya *Porites* merupakan genus yang sangat lemah. Spesies ini pada umumnya ditemukan di perairan dangkal dan termasuk kelompok yang lemah dalam bersaing dengan spesies yang lain. Spesies *branching P. andrewsi* memiliki kemampuan hampir sangat lemah, dan selalu berada dalam pihak yang kalah hampir berhadapan dengan semua jenis karang, kecuali dengan spesies *Porites lutea* dan *Seriatopora hystrix*.

- F. Faviidae. Kelompok karang ini termasuk yang agresif. *Cyphastrea microphthalma*, *Favia stelligera*, *Goniastrea pectinata* dan *Echinopora lamellosa*, semua spesies ini diperoleh jumlah yang mati dan yang hidup dalam bersaing hampir sama. Sebaliknya spesies *Leptastrea transversa* merupakan salah satu spesies yang sangat lemah dalam bersaing, dan mati dalam bersaing dengan 13 spesies yang lain. *L. transversa* memiliki kekuatan sama dengan kelompok *Porites lutea*, dimana spesies yang bisa diatasinya dalam bersaing hanya spesies *P. andrewsi* dan *Seriatopora hystrix* yang menempati posisi terbawah dalam hirarki dalam kompetisi organisme karang.
- G. Oculinidae. Satu-satunya spesies dalam famili ini adalah *Galaxea clavus*. Spesies ini sangat agresif dan paling dominan melekat pada berbagai jenis karang, bahkan membunuh *Goniopora* spp., dan *Acropora palifera*. *G. clavus* hanya bisa dikalahkan oleh kelompok Fungidae. Sementara 24 spesies lainnya kalah bersaing dan mati oleh spesies ini.
- H. Meandrinidae. Yang termasuk famili ini hanya satu spesies, yaitu *Ctenella changius*, yang memiliki distribusi sangat terbatas, ditemukan hanya di Lautan Hindia. Spesies ini bereaksi dengan 12 spesies yang lain. Koloni *C. changius* termasuk kelompok yang lemah dalam berkompetisi, dan umumnya mati dalam berkompetisi dengan umumnya karang yang agresif dalam berkompetisi, termasuk *Acropora palifera* dan *A. hyacinthus*. Namun adakalanya juga memiliki respon yang berbeda terhadap karang yang termasuk agresif seperti dari beberapa spesies berbentuk tabular *Acropora* yang melakukan kompetisi dengan cara pertumbuhan lebih cepat.
- I. Musidae. Spesies karang yang termasuk kelompok Mussidae adalah *Lobophyllia corymbosa* dan *Symphyllia radians*. Kedua spesies ini dapat dimasukkan ke dalam kelompok yang lemah dalam berkompetisi,

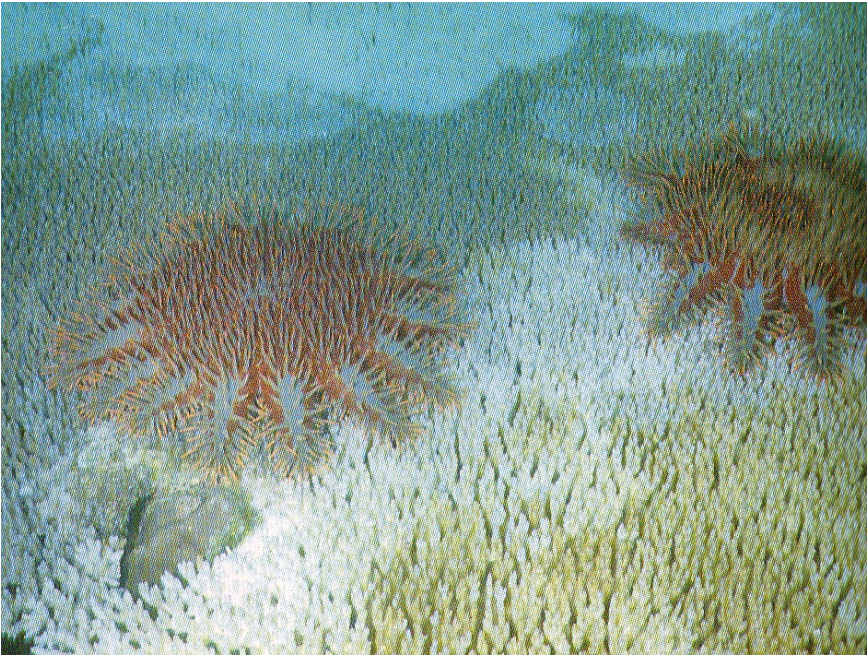
dan jumlah yang mati dan jumlah yang tetap bertahan hidup hampir sama dalam berkompetisi dengan spesies lain. Akan tetapi Lautan Karibia kelompok ini termasuk yang paling agresif dalam berkompetisi diantara karang (Lang, 1973).

8.2. Pemangsa

Karang sebagai organisme yang hidup menetap di dasar perairan sangat rentan terhadap pengaruh faktor biologi, fisik dan kimia. Faktor biologi yang mempengaruhi karang mulai dari predator yang hidup bebas sampai pada organisme yang hidup meliang di dalam koloni karang. Karena karang sebagai organisme utama pembentuk ekosistem terumbu karang juga berperanan sebagai habitat berbagai organisme lainnya, baik yang hidup bersimbiosis secara mutualisme atau sebaliknya bersifat sebagai parasit dan patogen. Karang sebagai habitat ditempati oleh berbagai jenis avertebrata dan sebagian kecil dari kelompok tumbuhan. Organisme yang hidup meliang dan membor skeleton karang paling kurang berjumlah 13 filum, dan organisme yang berhubungan dengan karang mulai dari yang bersifat sebagai predator pada karang sampai kelompok bakteri dan fungi serta kelompok alga.

Organisme yang termasuk kelompok pemangsa karang ditemukan mulai dari kelompok ikan, kelompok ekinodermata, crustacea dan gastropoda. Kelompok organisme ini umumnya melakukan aktifitas termasuk dalam memangsa karang terjadi pada malam hari. Sebagai contoh yang melakukan pemangsaan pada karang meliputi Mahkota berduri (*Achantaster plancii*), ikan kepe-kepe (*Chaetodontidae*), ikan kakatua (*Scaridae*); ketam kelapa (*hermit crab*); limpet (*Acmaea*); dan *Chiton*. Disamping itu juga ditemukan bulu babi seperti dari kelompok *Diadema*. Sebenarnya bulu babi tidak mengkonsumsi karang, namun bila makanan lain tidak tersedia organisme ini bisa memanfaatkan langsung karang sebagai makanan.

Salah satu predator yang sangat berbahaya bagi karang berasal dari kelompok bintang laut, yang dikenal juga sebagai mahkota berduri. Bintang laut yang memiliki nama ilmiah *Achantaster plancii* ini merupakan salah satu hewan pemangsa bersifat karnipora, yang mengkonsumsi langsung tisu karang. Pada dasarnya terumbu karang merupakan habitat bintang laut *A. plancii*, dan pada setiap terumbu karang selalu dijumpai hewan pemangsa karang ini. Namun dalam jumlah yang sangat terbatas. Jumlah *A. plancii* maksimal yang bisa ditolelir ekosistem terumbu karang berkisar antara 2 sampai 3 individu dalam beberapa ratus meter terumbu karang (Gambar 88).



Gambar 88. Mahkota berduri *Achantaster plancii* (Nishihira, 1992)

Beberapa peristiwa ledakan bintang laut *A. plancii* pernah terjadi di berbagai daerah terumbu karang dunia, seperti di Guam, Indonesia, *Great Barrier Reef*, Okinawa Jepang dan lain-lain. Serangan hewan ini di daerah terumbu karang Guam menyebabkan 90 % terumbu karang sepanjang 38 km rusak dalam waktu 2,5 tahun, dan terumbu karang *Great Barrier Reef* seluas 8 km² rusak hanya dalam 12 bulan. Ledakan populasi *A. plancii* di Kepulauan Iriomote, Jepang membawa dampak kematian karang massal pada tahun 1982, 1984 dan 1986. Ledakan populasi *A. plancii* membunuh karang pada area terumbu karang yang sangat luas.

Peristiwa ledakan hewan *A. plancii* disusul erosi dan arus patahan karang terutama dari kelompok *Acropora* yang hancur. Erosi berlanjut hingga semua karang membentuk fragmen dan berubah menjadi rata-rata potongan karang. Faktor yang menyebabkan terjadinya ledakan *A. plancii* pada dasarnya tidak diketahui karena dalam periode tertentu muncul dalam jumlah mencolok. Namun demikian disimpulkan dua faktor penting yang menyebabkan terjadinya ledakan hewan ini, yaitu peningkatan nutrisi dan perburuan *Charonia tritonis* sebagai pemangsa mahkota berduri untuk

dijadikan sebagai hiasan. Peningkatan nutrisi dapat disebabkan berbagai faktor, diantaranya berasal dari *run-off* dan buangan limbah ke perairan.

Mahkota berduri *A. plancii* bahkan menjadi perhatian khusus dan malahan menjadi perhatian negara untuk menjaga kelestarian terumbu karang disepanjang *Great Barrier Reef* Australia. Hal ini disebabkan pengaruh yang sangat besar terhadap karang bila terjadi ledakan bintang laut yang dikenal juga dengan nama mahkota berduri ini. Disamping mahkota berduri yang mengkonsumsi karang langsung juga ditemukan *coralliophyla* (*coral devouring snails*) dan *fire worms*. Kedua jenis organisme ini banyak ditemukan mengkonsumsi karang di Karibia.

Bakteri merupakan salah satu organisme yang mengkonsumsi jaringan karang. Dampak yang ditimbulkan memiliki kemiripan dengan faktor lain, yaitu menyebabkan terjadinya *bleaching* yang tidak jarang berujung pada kematian koloni karang. Jenis bakteri tersebut berasal dari *Vibrio* AK-1. Dampak fisiologi terhadap karang terutama merusak hubungan antara simbiosis karang zooxanthellae dan karang inang, yang menyebabkan penurunan zooxanthellae di dalam jaringan tubuh karang berkisar antara 70 sampai 90 %. Karakteristik kerusakan disebabkan bakteri ini dimulai dari tepi koloni (Kushmaro et al., 1996). Berbeda dengan pengaruh yang disebabkan temperatur yang lebih tinggi/rendah dari lingkungan temperatur yang dimulai dari bagian atas koloni karang.

Dari kelompok algae yang sangat terkenal merusak karang dikenal dengan nama *black band disease* (BBD) yang pertama kali dilaporkan Antonius di daerah terumbu karang Belize pada tahun 1973. Patogen *Black Band Disease* diketahui berasal dari kelompok cyanophyta dengan nama spesies *Phormidium coralliticum*. Beberapa spesies karang yang diserang patogen ini di Karibia seperti *Montastrea annularis*, *M. cavernosa*, *Diploria strigosa*, *D. labyrinthiformis*, *Siderastrea siderea* dan *Colpophyllia natans* (Edmunds, 1991). Penyebaran patogen ini terjadi bila bersentuhan dengan koloni yang terserang *Black Band Disease*. Kecepatan *Black Band Disease* merusak jaringan dalam menyerang karang mencapai 10 mm per hari. Dampak yang ditimbulkan *Black Band Disease* seperti pada spesies karang *D. strigosa* di *Great Lameshur Bay* (GLB), St. John, spesies karang ini mati sekitar 3,9 % setiap tahunnya.

Disamping itu juga ditemukan kelompok ikan pemakan karang, terutama dari kelompok ikan kepe-kepe (Chaetodontidae), Balistidae (*triggerfish*) dan ikan Tetraodontidae (*puffer* = ikan buntal). Sebagian besar kelompok ikan dari famili Chaetodontidae memakan polip karang, sehingga famili ini dijadikan juga sebagai spesies indikator terhadap terumbu karang. Pengecualian pada beberapa spesies, seperti *Chaetodon*

semilarvatus, *C. paucifasciatus* yang memiliki makanan utama dari kelompok algaedan *C. auriga* lebih menyukai polychaeta.

8.3. Grazer

Grazer adalah organisme yang merumput di dasar perairan dan bagi organisme di laut yaitu kelompok organisme mengkonsumsi algae/mikro-alga. Dampak grazer terhadap karang berupa pengaruh tidak langsung, terutama dalam mencari makanan karena karang juga menjadi habitat bagi organisme lain termasuk alga.

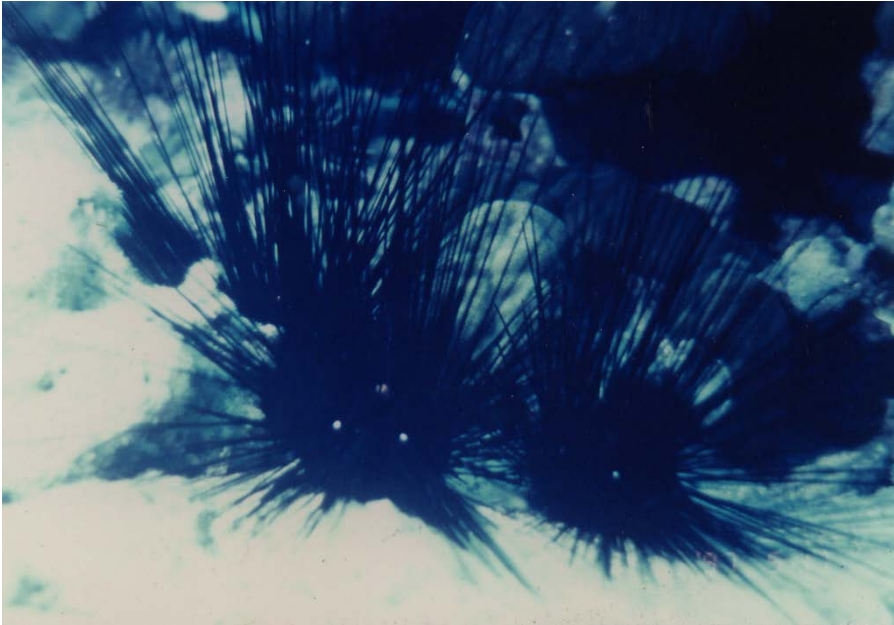
Semua permukaan karang mati dengan cepat ditutupi oleh lapisan tipis yang dikenal dengan alga hijau (*green algae*). Mikro-alga ini merupakan jenis makanan yang sangat disukai berbagai jenis ikan dan bulu babi (*sea urchin*)(Gambar 89). Beberapa algae yang hidup meliang pada lubang berukuran kecil pada permukaan koloni karang disebut endolithic algae. Alga ini bisa membuat koloni karang menjadi lebih rapuh, serta menyebabkan lebih mudah terpengaruh/rusak oleh grazers. Segera setelah organisme ini mati, lubang yang terbentuk akan diisi sedimen dan lumpur (*micrite*). Kehadiran alga yang berulang kali, pengisian *micrite* dan membentuk sebuah lapisan dan biasanya berwarna kehitaman disekitar tepi karang yang berupa butiran karbonat. Pembentukan lapisan ini kembali disebut *micrite envelope*.

Beberapa grazer dari kelompok ikan, diantaranya termasuk kelompok *damselfish*. Jenis ikan ini memetik algae turft secara selektif dari substrat, dan termasuk dari daerah teritorial yang ditumbuhi subur algae turft. Beberapa diantara jenis organisme berkembang membentuk system tersendiri yang menyebabkan konsumsi makanan besar-besaran algae turf sepanjang daerah yang didukung alga ini.

8.4. Bencana Alam

Pengaruh yang sangat besar pada daerah terumbu karang termasuk menyebabkan terumbu karang dan hewan karang tidak stabil. Salah satu faktor yang sangat berpengaruh buruk termasuk pengaruh bencana alam, seperti pengaruh angin topan, gempa di bawa laut, banjir bandang, pemanasan permukaan air laut secara menyeluruh (*global warming*) dan lain-lain. Seperti angin topan Gerta yang terjadi di terumbu karang Belize pada tanggal 18/9-1978 dengan kecepatan mencapai 150 km/jam. Pengaruh yang disebabkan angin topan ini pada terumbu karang tersebut terjadi mulai dari daerah intertidal sampai kedalaman sekitar 25 m. Namun sekitar 29 % fragmen dan koloni yang terlepas dari koloni induk melekat kembali

pada substrat tempatnya terdampar dan melanjutkan kehidupannya (Highsmith et al., 1980).



Gambar 89. Kelompok bulu babi *Diadema antillarum* (Foto oleh S. Nojima)

Perairan Hawaii merupakan salah satu daerah kategori sedang yang dilewati angin topan. Pengaruh angin topan yang terjadi pada tahun 1974 di daerah tersebut menyebabkan penurunan tutupan karang hidup menurun dari 52 % menjadi 46 %. Enam tahun kemudian angin topan Kona melanda perairan yang sama dengan kekuatan yang sangat dahsyat yang menyebabkan kerusakan terumbu karang hampir pada semua lapisan. Pengaruh yang ditimbulkan menyebabkan penurunan tutupan karang hidup dari 40 % berubah menjadi 10 % (Dollar dan Tribble, 1993).

Kejadian serupa bisa ditemukan pada perairan Polinesia selama tahun 1982 sampai 1983. Pada bagian lereng terumbu yang menghadap ke arah laut mengalami kerusakan beragam, mulai dari 50 % sampai 100 % (Harmelin-Vivien dan Labaute, 1986). Akan tetapi kerusakan karang/terumbu karang yang disebabkan pengaruh fisik ini tidak sepenuhnya merusak karang/terumbu karang. Thamrin (2005) menyatakan bahwa pengaruh bencana alam seperti angin topan juga berperan dalam

proses regenerasi karang. Fragmen yang terbentuk dari koloni karang tidak jarang yang tetap hidup dan berkembang membentuk organisme baru bila terdampar pada habitat yang sesuai bagi karang.

Sementara pengaruh bencana alam lainnya seperti banjir bandang yang menyebabkan penurunan salinitas dan pengaruh fluktuasi temperatur yang melebihi ambang batas serta pengaruh sedimentasi dapat dilihat pada BAB 3.

8.5. Bioerosi

Secara sederhana bioerosi dapat diartikan sebagai erosi (pada terumbu) yang berhubungan dengan aktifitas organisme (hewan dan tumbuhan) yang masih hidup. Bioerosi pada karang berhubungan dengan semua faktor yang merusak karang baik secara langsung maupun tidak. Seperti pengaruh predator *A. planci* yang mengkonsumsi tisu karang juga memiliki andil besar pada peristiwa bioerosi karang. Karena setelah tisu karang dikonsumsi pemangsa, kemudian skeleton karang yang ditinggalkan tisu akan segera ditutupi kelompok algae yang merupakan jenis makanan yang sangat disukai bulu babi dan organisme herbivora (*grazer*) lainnya. Algae yang menempati skeleton karang yang sudah mati menyebabkan skeleton karang yang sudah mati semakin rapuh, dan aktifitas kelompok hewan bersifat *grazer* pada skeleton karang yang ditumbuhi algae akan menyebabkan terjadinya bioerosi pada karang.

Kelompok hewan atau tumbuhan yang hidup meliang di dalam skeleton karang tidak jarang merusak dan hal ini menyebabkan terjadinya erosi skeleton karang. Aktifitas organisme yang menyebabkan rangka kapur karang-karang pembentuk terumbu mengalami erosi dan melemah disebut *bioeroder*. Organisme yang menyebabkan terjadinya bioerosi meliputi kelompok ikan, ekinodermata, krustacea dan lain-lain. Peranan organisme dapat terjadi dalam bentuk langsung maupun tidak langsung.

Berdasar tempat melakukan aktifitas, organisme yang berhubungan dengan peristiwa bioerosi yang berhubungan dengan substrat kapur, maka kelompok *bioeroder* dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu: 1) epilit adalah organisme yang hidup di permukaan karang; 2) kasmolit adalah organisme yang hidup di dalam lubang dan celah karang; dan 3) endolit adalah organisme yang hidup di dalam rangka skeleton karang. Kelompok *bioeroder* tersebut mencakup *Microborer*: alga, jamur dan bakteri jamur, spon, gastropoda, barnakel, polychaeta dll. Kelompok ini berperan sebagai pionir proses bioerosi, yang kemudian diikuti oleh *macroborer*. Pengaruh organisme terhadap karang menyebabkan terjadinya erosi pada permukaan

maupun sampai ke bagian dalam karang sebagai pembentuk rangka terumbu.

Berbagai jenis organisme menyebabkan degradasi struktur terumbu bertujuan untuk membangun tempat tinggal (rumah). Tidak jauh berbeda dengan kelompok cacing, bivalve dan sponge membuat lobang ke dalam terumbu untuk tempat melekat (*shelter*). Semua organisme ini menimbulkan degradasi pada koloni karang, baik yang sudah mati maupun yang masih hidup, baik dengan bantuan zat kimia organisme bersangkutan maupun tidak.

Organisme yang termasuk mencerna organik kapur dan menyebabkan bioerosi kerangka karang dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu kelompok mikro dan kelompok makro. Organisme yang termasuk ke dalam kelompok mikro meliputi jamur, bakteri dan kelompok mikro-algae. Jamur merusak permukaan karang dengan senyawa kimia yang dihasilkan dan dapat menggores permukaan karang, melunakkan, dan merusak skeleton. Kelompok organisme ini merusak permukaan karang dengan senyawa kimia yang dihasilkan dan dapat juga merusak permukaan karang, melunakkan dan merusak skeleton. Organisme yang termasuk kelompok makro-organisme adalah spon seperti Clionidae dan Spirastrellidae; dari kelompok gastropoda seperti *Lithophaga*; dari kelompok barnakel seperti *Lithotrya*; Sipunkulus; dan dari kelompok Polychaeta seperti Eunicidae. Spon Clionid adalah pembor yang paling umum sekaligus endolit paling merusak terumbu karang di dunia (Glynn 2001). Seperti kejadian di Atlantik Barat, *Cliona carribaea* yang sangat melimpah membentuk panjang area berwarna coklat beberapa meter yang menyebabkan kematian karang. Di Perairan Indonesia Clionidae ditemukan dua genus, *Cliona* dan *Cliothisa*. Disamping itu kelompok Spirastrellidae juga ditemukan dua genus, yaitu *Spirestrella* dan *Diplastrea*.

Kelompok organisme yang juga umum hidup di dalam koloni karang termasuk dari genus *Aka*, merupakan kelompok pembor yang umum ditemukan yang menghasilkan senyawa siphonodictine serta menghambat pertumbuhan polip karang. Organisme ini membentuk terowongan di dalam koloni karang sampai keluar koloni karang. Bila terowongan ini melewati koloni akan terlihat seperti cerobong. Tomascik *et al.* (2001) menyatakan bahwa *Aka* bahkan membentuk banyak cerobong hingga di atas permukaan koloni karang *Porites lobata* di Sulawesi Utara.

Salah satu kelompok gastropoda *Lithopaga* yang hidup di dalam skeleton hewan karang dapat memproduksi zat asam. Zat asam yang diproduksi berperan besar dalam proses pembuatan lubang dan terowongan, terutama untuk melunakkan skeleton karang. Kelompok

karang yang menjadi target *Lithopaga* umumnya dari kelompok karang massive seperti *Porites*, *Favia*, *Favites*, dan *Goniastrea*. *Lithopaga* masuk ke dalam skeleton karang dengan membor karang yang masih hidup maupun yang telah mati. Hewan ini melubangi karang dengan kedalaman 1-10 cm. Scoot (dalam Glynn, 2001) menemukan bahwa di Pasifik Timur kepadatannya antara 500-10.000 individu/m². Genus ini ditemukan di Indonesia, dan di Lautan Pasifik bagian timur, dengan kepadatan berkisar antara 500 sampai 10.000 individu/m² (Tomascik *et al.* 2001).

Berbagai spesies karang dan coralline alga mampu membentuk struktur berbentuk massive sepanjang waktu, dan sebagian organisme lain hidup di dalam dan pada terumbu yang di dalam prosesnya bertujuan untuk perburuan makanan (*grazer*), tempat menempel atau borer. Proses ini disebut dengan bioerosion (Neumann, 1966), dan kemudian diakui sebagai faktor umum baik dalam perkembangan secara biologi maupun secara geologi terumbu (Hutchings, 1986).

Bioerosi yang disebabkan oleh jenis ikan memiliki jumlah rata-rata mencapai 0,49 kg/m²/tahun untuk terumbu karang berukuran kecil. Hasil ini diperoleh dari rata-rata ikan dari berbagai macam ikan yang berada di daerah terumbu karang (Ogden, 1977). Sementara kelompok bulu babi lebih besar pengaruhnya dibandingkan jenis ikan. Pada sebagian besar perairan bulu babi menyebabkan sedimentasi dengan rata-rata 2 kg/m²/tahun, dan jumlah maksimal sampai 5 kg/m²/tahun.

Ikan Parrot (*Parrotfish*) melakukan memungutan makanan dengan cara menggigit potongan substrat, kemudian setelah melalui proses pencernaan di dalam tubuh ikan ini memproduksi campuran alga dan sedimen. Algae dicerna dan sisanya umumnya dikeluarkan dalam bentuk pasir. Memiliki kemiripan dengan bulu babi yang menghancurkan dan menyebarkan substrat disepanjang substrat yang memiliki alga. Sedimen yang dihasilkan secara kasar dalam perbandingan hampir sama antara pasir dan Lumpur (Ogden, 1977; Frydl dan Steam, 1978).

Dampak bioerosi yang ditimbulkan pemangsa karang termasuk sedang, dan dari erosi atau perubahan yang diakibatkan tidak terlalu mempengaruhi keseluruhan rangka. Namun besar erosi yang ditimbulkan menyebabkan kematian karang dalam luasan yang besar. Di Lautan Pasifik bagian barat setelah kematian karang akibat pemangsaan *A. planci*, karang mengalami bioerosi dan menyebabkan struktur *Acropora* menjadi rusak. Dampak turunan yang terjadi menyebabkan mikrohabitat ikan juga hilang. Perubahan kondisi lingkungan yang mengarah pada bioerosi terumbu karang dan perubahan struktur terumbu karang.

Dampak secara tidak langsung juga terjadi di Lautan Pasifik bagian timur (Kepulauan Galapagos) tahun 1982- 1983 setelah terjadi bencana El-Nino yang mengakibatkan kematian karang secara massal. Peristiwa ini disusul penempelan karang baru juga menjadi rendah. Bioerosi dilakukan oleh echinoid menyebabkan karang berubah menjadi fragmen, menjadi potongan-potongan kecil (*rubble*) lalu berubah menjadi sedimen. Kematian karang mencapai 50-99 % dan recruitmentnya juga menurun secara drastis menjadi sangat rendah.

Pada banyak daerah didominasi *Cliona* dimana liang yang dibuatnya cocok bagi bivalve yang meliang. Sebagian besar diantaranya adalah genus *Lithophaga* dan beberapa chiton tipe meliang. *Lithophaga* dapat mencapai ukuran panjang 30 cm, dan dalam jarak terisolasi, lebih dari 50 individu per meter kubik dapat ditemukan dalam terumbu karang bentuk patch (patch reef). Sebagai tambahan untuk menghancurkan substrat, hasil organisme meliang secara signifikan menurunkan ketahanan seluruh struktur terhadap bentuk lain secara biologi menghancurkan dan kerusakan secara fisik terumbu.

Grazer adakalanya meninggalkan bekas yang dapat diidentifikasi dalam catatan geologi. Hal ini tidak mungkin untuk menentukan volume material yang dipindahkan. Sebaliknya, kehadiran infaunal *bioeroder* infauna meninggalkan sebuah catatan menarik. Setiap *borer* memproduksi sebuah ruang yang khusus baik berdasarkan ukuran maupun dari segi bentuk. Lebih jauh, kelimpahan dan keanekaragaman tipe ruang dapat langsung dikomversikan ke dalam volume perpindahan karbonat.

DAFTAR ISTILAH

A

Abiotik = berhubungan dengan yang tidak hidup.

Abnormal = berhubungan dengan sifat, keadaan luar biasa atau ganjil.

Aboral = permukaan atau sisi atas atau sisi depan ekonodermata.

Aborsi = lihat abotus.

Abortus = lahirnya keturunan menjelang waktu kelahiran (disebut juga keguguran).

Akresi = pertumbuhan koloni dan terumbu ke arah vertikal maupun horisontal.

Ahermatypic = karang tanpa simbiotik algae di dalam jaringan tubuhnya, tidak membentuk terumbu.

Algae = kelompok organisme yang hidup di air, memiliki berbagai bentuk, seperti unisel, berbentuk filamen atau talus dan bentuk lebih kompleks termasuk rumput-rumput laut serta memiliki klorofil.

Anastomosis = hubungan antara dua sel.

Anastomose = persatuan cabang.

Anthozoa = suatu kelas yang termasuk filum coelenterata.

Anthropogenic = kerusakan yang ditimbulkan berhubungan dengan aktifitas manusia.

Apoptoasis = sel mati

Apprised corallite = koralit yang tenggelam dalam konesteum.

Arborescent = bentuk percabangan seperti pohon.

Atoll = kelompok terumbu karang atau pulau yang mengelilingi gubah yang dalam.

Avertebrata = hewan tanpa tulang belakang.

Axial corallite = koralit yang terletak di ujung (cabang) koloni.

B

Barnakel = istilah umum untuk krustasea laut dari ordo Cirripedia.

Barrier reef = terumbu penghalang.

Basal = bagian dasar.

Basal plate = bagian mendatar sebagai dasar tempat menempel corallite pada kerangka polyp karang.

Benthos = biota (tumbuhan dan hewan) yang hidup di atas atau di dalam dasar air, termasuk biota menempel, merayap dan meliang.

Bifacial = koralit terdapat dikedua sisi muka dan belakang.

Biota = tumbuh-tumbuhan, hewan dan micro organisme hidup.

Bioerosi = erosi yang disebabkan organisme hidup.

Blastocoel = rongga yang muncul pada perkembangan embrio hewan, yaitu pada peringkat terakhir pembelahan oosit. Rongga ini terdapat dalam sel yang membentuk blastula, dan berisi caira. (sama dengan blastocell).

Blastula = struktur berbentuk sphere disebabkan pembelahan oosit yang bersenyawa. Struktur ini terbentuk dari satu sel (blastoderm) yang mengelilingi rongga yang mengandung cairan, yaitu blastocoel.

Bottle brush = bentuk pertumbuhan bercabang seperti sikat pembersih botol.

Boulder = bongkahan besar.

Breeding = perkembangbiakan.

Budding = pertunasan, pertumbuhan koralit baru.

Branching = bentuk pertumbuhan karang bercabang

C

Caespitose = bentuk percabangan pada *Acropora*.

Calicoblast = lapisan yang terdapat di bawah edge zone atau di bawah coenosact.

Calicoblast layer = lapisan epidermis yang berhadapan langsung dengan skeleton.

Calyx (kalik) = permukaan atas dari koralit.

Carnivore = lihat karnipora.

Centers = posisi dari mulut atau kolumella berada di tengah.

Ceriod = bentuk formasi koralit dimana dinding dari koralit yang berdekatan menjadi satu.

Class = lihat kelas.

Cleavage = satu seri pembagian mitosis yang mengubah zigot menjadi embrio memiliki banyak sel.

Cnidaria = lihat coelenterata.

Coenosteum = skeleton diantara kolaralit.

Coelenterata = hewan berongga, atau filum hewan diploblas termasuk hidar, medusoid dan anemone laut. Memiliki ciri-ciri: memiliki satu coelenteron, simetri berjari-jari, jaringan syaraf ringkas, tidak mempunyai sistem darah dan tidak mempunyai sistem ekskresi. Lapisan tubuh terdiri dari epidermis, endodermis yang dibatasi mesoglea. Semua hidup di laut.

Coelenteron = rongga tubuh coelenterata.

Colony = lihat koloni.

Columella (kolumela) = struktur skeleton yang berada ditengah-tengah koralit.

Columnar = bentuk koloni yang berupa kolom, atau pilar yang berbentuk gada.

Complete mesentery = mesentery yang menghubungkan colum wall sampai pada kolumela.

Coral = karang.

Coral reef = terumbu karang.

Corallite (koralit) = struktur skeleton dari satu individu polip.

Corallum (koralum) = struktur skeleton secara keseluruhan dari koloni karang.

Corymbosa = bentuk percabangan pada *Acropora* yang menyerupai meja.

Costae = struktur skeleton yang terletak di luar koralit yang berjalan secara radial.

Cyst = struktur abnormal yang menyerupai kantung atau rongga tertutup yang mengandung cairan atau zat lain.

D

Dactylopores = lubang-lubang kecil yang terdapat di sekeleton *Millepora*.

Dendroid = bentuk koloni dimana koralit yang berbentuk tabung terbentuk berselang seling sepanjang percabangan.

Denticles = bentuk seperti pali yang berupa granula terdapat pada septa *Porites*.

Diameter = garis tengah.

Diatom = kelas alga yang anggotanya terdiri dari tumbuhan akuatik unisel yang halus yang memiliki kloroplas mengandung fukoxantin, dinding sel dari pektin bersilika.

Digitate (digitata) = bentuk pertumbuhan yang terdiri percabangan pendek seperti jari.

Dioecius = berhubungan dengan hewan yang memiliki salah satu organ pembiakan jantan atau betina (lawan hermaprodit).

Disk = koralum yang berbentuk bulat dan hidup bebas.

Diurnal = berburungan dengan organisme yang aktif pada siang hari (lawan nokturnal).

Dorsal = permukaan punggung atau atas organisme.

E

Echinodermata = lihat Ekinodermata.

Ecology = lihat ekologi.

Ecosystem = lihat ekosistem.

Edge zone = bagian polip yang berada di luar dinding karang tipe soliter.

Ekinodermata = hewan filum invertebrata yang memiliki ciri-ciri: jari-jari simetris, kaki berbentuk tabung, rangka berkapur, tidak memiliki kepala dan otak.

Ekologi = salah satu cabang biologi yang mempelajari organisme hidup dan hubungannya dengan unsur hidup lainnya dan lingkungannya.

Ekosistem = kesatuan dari komunitas, atau sistem ekologi yang mempelajari hubungan organisme dengan jaringan makanannya dan siklus nutrisi secara biokimia.

Ektoderm = lihat ektodermis.

Ektodermis (ektodermal): jaringan terluar dari polyp karang.

Embrio = secara sederhana merupakan bakal makhluk hidup baru yang tumbuh dan berkembang di dalam uterus atau di luar tubuh induk bagi sebagian organisme air, baik secara seksual maupun aseksual.

Embriogenesis = perkembangan embrio.

Embryo = lihat embrio.

Encrusting = bentuk koloni dengan bentuk lembaran yang merayap dan mengikuti bentuk dasar dimana dia tumbuh atau melekat.

Endoderem (endodermis) = lihat endodermis.

Endodermis = jaringan bagian dalam dari polyp karang.

Endolit = organisme yang hidup di dalam rangka skeleton karang.

Entocoele = daerah diantara dua mesentery yang berpasangan.

Exocoele = daerah diantara dua pasangan mesentery.

Exocytosis = pelepasan zooxanthellae secara terpisah

Epilit = organisme yang hidup di permukaan karang.

Epitheca (epiteka) = lapisan tipis dari skeleton yang melapisi koralit.

Extratentacular budding (ekstratentakular) = bentuk pertunasan dimana anakan koralit terbentuk di luar koralit induknya.

F

Fatch reefs = terumbu karang yang muncul pada dasar suatu lagoon dan merupakan terumbu karang yang dikelilingi oleh pasir atau substrat selain substrat dari karang.

Fecundity (fekunditas) = kemampuan spesies untuk berkembang biak.

Filament (filamen) = struktur seperti benang, misalnya mesenterial filamen pada karang.

Filum (phylum) = kategori utama dalam pengkelasan hewan. Kategori ini terdiri dari kelas-kelas hewan yang mempunyai beberapa ciri yang sama.

Fisiologi = bagian dari ilmu hayat yang mempelajari proses dan fungsi tubuh.

Flabellate = bentuk koloni yang terbentuk alur-alur dengan dinding yang terpisah.

Flabellomeandroid = bentuk koloni dengan alur yang memanjang dan berkelok dengan dinding terpisah.

Flagellata = kelas hewan dari filum protozoa yang memiliki ciri-ciri: motil pada saat matang, bergerak menggunakan flagellum dan membiak dengan pembelahan secara memanjang.

Foliaceous = bentuk koloni yang tipis dan berbentuk daun.

Fotosintesis = peristiwa pembuatan makanan oleh tumbuhan yang memiliki zat hijau daun, atau pembentukan karbohidrat sederhana dari karbon yang berasal dari karbondioksida, dan air dari hidrogen dengan menggunakan tenaga surya yang diserap oleh klorofil.

Free living = tidak melekat pada suatu substrat.

Fringing reef = terumbu tepi.

G

Gamete (gamet) = sel pembiakan yang khusus dan haploid bertaut dengan gamet haploid yang lain membentuk zigot.

Gastrula = perkembangan awal embrio.

Genus = sekelompok organisme yang berkaitan yang membentuk tingkatan pengelompokkan diantara spesies dan famili.

Gonad = kelenjar atau organ pembiakan yang menghasilkan gamet, yang jantan disebut testis dan yang betina disebut ovari.

Gonophores = alat reproduksi pada marga *Millepora stylasteridae*.

Grazer = organisme yang makan algae/micro-algae di dasar erairan.

Grove = pematang yang tegak lurus pantai.

H

Habitat = tempat tinggal makhluk hidup.

Hermaprodit = organisme yang memproduksi sel kelamin jantan dan sel kelamin betina selama hidup.

Hermatypic (hermatipik) = karang yang mempunyai algae (zooxanthella) di dalam jaringan tubuhnya dan membentuk terumbu.

Histologi = salah satu cabang biologi yang mempelajari struktur, ciri, dan komposisi kimia jaringan organisme sehubungan dengan fungsi masing-masing.

Hydnophores = struktur seperti mangkuk terbalik yang terdapat di Hydnopora struktur ini berkembang diantara mulut-mulut koralit.

I

Identifikasi = pengenalan suatu jenis makhluk hidup.

Immersed corallite = koralit yang tenggelam di dalam konesteum.

Intratentacular budding (intratentakular) = bentuk pertunasan dimana anakan koralit yang terbentuk terletak di dalam koralit induknya.

Interspecific competition = kompetisi yang terjadi antara spesies yang berbeda.

Intertidal : daerah pantai dipengaruhi pasang surut.

Intraspecific competition = kompetisi yang terjadi antara spesies yang sama.

Invagination = pergerakan ke dalam sebagian dinding blastula dalam formasi gastrula.

K

Kalsifikasi = proses pengapuran atau proses pengerasan menjadi kapur.

Karnipora = hewan pemakan daging sebagai makanan utamanya.

Kasmolit = organisme yang hidup di dalam lubang dan celah Karang.

Kelas = unit taksonomi dalam mengelaskan organisme hidup, yang terdiri dari beberapa atau satu ordo.

Klorofil = pigmen hijau dalam tumbuhan yang terdiri dari zat organik dan magnesium dan mengandung kloroplas daun yang penting untuk fotosintesis.

Koloni = kelompokan dari polip yang terbentuk dari pembelahan induk yang sama.

Kompetisi = persaingan diantara organisme.

Kontraksi = mengkerutkan otot.

L

Laminar (lembaran) = bentuk koloni yang tipis dan datar.

Larva = embrio hewan baik dari kelompok vertebrata maupun avertebrata.

Locus = tempat tertentu dalam kromosom yang ditempati gen.

Lumen = tempat terbuka atau rongga tengah duktus untuk cahaya masuk ke dalamnya.

M

Massive (masiv) = bentuk koloni yang padat dan pejal.

Meandroid = bentuk koloni yang membentuk alur-alur memanjang dan berkelok-kelok.

Mesentery = salah satu membran tegak berotot yang membagi rongga tubuh coelenterata.

Mesenterial filament = usus dari polyp karang.

Mesoglea = lapisan seperti jeli yang terletak antara jaringan ectoderm dan endoderm.

Metamorfosis = pergantian bentuk dan struktur sebagian hewan dalam siklus hidupnya, dari bentuk larva menjelang dewasa.

Moat = kelenan, parit yang sejajar garis pantai mengelilingi pulau.

Mollusca (moluska) = filum yang biasanya mengacu pada hewan yang tidak bersegmen.

Motile = berhubungan dengan sifat organisme yang bergerak secara spontan.

Mutualism (mutualisme) = hidup bersma diantara dua jenis organisme dimana kedua belah pihak mendapat keuntungan.

N

Necrosis = zooxanthellae keluar bersama-sama sel inang.

Nematocysts = sel penyengat pada coelenterata.

Nokturnal = berhubungan dengan sifat organisme yang aktif pada malam hari.

Nukleulus = jasad kecil yang terdapat di dalam nukleulus eukariot yang kaya RNA, tetapi miskin protein.

Nukleus = organelle yang mengandung kromosom, pada eukariot yang terlibat dalam pengendalian seluruh aktifitas sel dan faktor keturunan melalui aktifitas DNA.

Nutrien = bahan makanan yang dapat mendorong dan memberikan pertumbuhan atau memberikan tenaga bagi proses fisiologi organisme.

O

Oocyte (oosit) = sel telur belum matang yang sedang menjalani proses meiosis untuk membentuk ovum di dalam ovary hewan.

Oral = Mulut (daerah bagian mulu).

Oral disc = daerah mendatar disekitar mulut polyp karang.

Oral edge = oral disc bagian tepi mulut.

Oral tube = kerongkongan hewan karang.

Oviparity (ovipar) = hewan yang bertelur dan telur yang dikeluarkan akan berkembang dan menetas di luar tubuh induk.

Ovoviviparity (ovovivipar) = hewan yang memproduksi keturunan (anak) dengan cara perkembangan dan penetasan telur pada saat telur tersebut masih berada di dalam tubuh induk.

P

Patch = bongkah kecil.

Pali = struktur skeleton yang merupakan kelanjutan dari septa dekat dengan pusat atau mulut. Struktur ini biasanya berbentuk tonjolan dan membesar pada ujungnya dan secara keseluruhan membentuk struktur seperti mahkota.

Paliform crown = septa yang membentuk lingkaran rapi disekitar columella.

Paliform lobes = pali yang besar dan menonjol.

Patch reef = terumbu karang yang belum muncul kepermukaan.

Peristome = membran yang mengelilingi mulut hewan laut.

Petaloid = septo-kosta yang berbentuk seperti kelopak bunga yang agak tenggelam dalam konesteum dari marga *Psammocora* dan *Polyphyllia*.

Phaceloid = bentuk koloni dimana coralit sangat menonjol dan membentuk percabangan yang akhirnya berbentuk kubah.

Pinching off = pelepasan zooxanthellae dikelilingi oleh vacuola dan membran tipis.

Pigmen = unsur berwarna di dalam jaringan organisme.

Planulae (planula, tunggal) = larva karang.

Polusi = pencemaran lingkungan.

Polycentric = lebih dari satu pusat/mulut dalam satu koralit.

Polyp (polip) = individu suatu koloni, pada karang memiliki tubuh seperti tabung dengan mulut dan tentakel di bagian atas.

Populasi = kelompok individu suatu spesies yang terdapat pada suatu kawasan geografi atau biom.

Primary septa = septa utama biasanya besar yang terdiri dari order pertama.

Propagule = cabang bayi/keturunan organisme

R

Radial corallite = koralit yang mengelilingi axial koralit.

Radial polyp = polip yang berada di ujung cabang genus *Acropora*.

Radii = struktur skeleton yang menghubungkan kolumela ke septa *Porites*.

Ramose = bentuk koloni yang mempunyai percabangan.

Rampart = gudus, pecahan karang yang tertumpuk di atas tuir.

Reef = terumbu.

Reef flat = rataan terumbu.

Reef slope = lereng terumbu.

Respirasi = proses biokimia yang terjadi pada membran mitokondria atau membran plasma sel hidup, baik dalam keadaan aerob maupun anaerob. Proses ini menghasilkan energi dalam bentuk ATP.

Reticulum = struktur yang berbentuk tonjolan-tonjolan yang muncul pada koenosteum *Montipora*.

S

Salinitas = secara sederhana merupakan kadar garam dari larutan yang dinyatakan dalam banyaknya kadar garam dalam seribu garam larutan.

Sand cay = gosong/bungin.

Scleractinia = karang batu.

Secondary septa (septa sekunder) = septa kedua yang biasanya terdiri dari septa-septa yang lebih kecil atau septa tingkat kedua.

Septa (septum = tunggal) = struktur skeleton yang berbentuk lempengan tersusun tegak secara radial terletak didalam koralit.

Septal teeth = duri-duri atau gigi-gigi yang terdapat disepanjang permukaan septa.

Septo-costa (septo-kosta) = lempengan-lempengan yang menempel di koralit.

Sessil = organisme yang hidup menetap di dasar perairan.

Simbion (symbiont) = organisme yang hidup secara simbiosis.

Simbiosis = hidup bersama dua makhluk hidup berbeda jenis (spesies).

Skeleton = rangka tubuh organisme yang kuat dan kenyal, yang biasanya terdiri dari bahan non-organik.

Soliter = karang yang tidak membentuk koloni, karang yang terdiri dari satu polip dan satu mulut.

Sperma = gamet jantan yang matang pada hewan.

Spermatit =

Spermatogenesis = proses perkembangan sel kelamin jantan hewan.

Spesies = unit taksonomi setelah genus, yang memiliki ciri-ciri yang sama, serta memiliki kemampuan untuk saling membiak. tetapi tidak bisa membiak dengan kelompok lain.

Spuur = lorong yang tegak lurus pantai.

Stadium = tingkat dalam pertumbuhan organisme.

Sterome = lempengan padu yang membentuk lapisan bagian dalam dari dinding corallite.

Stomadeum = kerongkongan atau pharynx.

Suhu (temperatur) = derajat panas.

Sweeper polyp = polyp karang tertentu memanjang melebihi ukuran polip normal yang dimiliki karang bersangkutan.

Sweeper tentacle = Tentakel karang yang memanjang melebihi panjang tentakel normal. Tentakel ini dimiliki jenis karang tertentu untuk berkompetisi dan menangkap makanan.

T

Table reef = terumbu karang berukuran kecil yang tumbuh dan berkembang di lautan luas yang tidak memiliki pusat atau lagoon.

Tentakel = organ panjang dan mudah lentur, mempunyai reseptor indra untuk mendapatkan makanan dan sinyal dari lingkungan sekitarnya.

Theca = bagian dari dinding koralit.

Tissue (tisu) = jaringan atau sekelompok sel khusus yang mempunyai bentuk dan struktur tertentu tersusun untuk melaksanakan suatu fungsi.

Tubular corallite = koralit yang berbentuk tabung.

U

Unicellular (uniselular) = berhubungan dengan organisme yang terdiri dari satu sel.

Unifacial = koralit hanya terdapat pada satu sisi permukaan.

Upper reef slope = tubir.

V

Valleys = alur-alur yang terdapat pada koloni yang meandroid.

Vegetatif = berhubungan perkembangbiakan tumbuhan yang dilakukan secara aseksual.

Verrucae = tonjolan-tonjolan kecil atau nodul-nodul yang terdapat di permukaan *Pocillopora*.

Vitellogenesis = proses dimana kuning telur terbentuk dan terakumulasi di dalam ovum.

W

Wall = dinding dari corallit.

Z

Zooplankton = binatang kecil yang berenang bebas di dalam air laut.

Zoospora = spora yang dihasilkan dengan cara aseksual oleh algae atau fungi yang bergerak dengan silia atau flagella.

Zoosporangium = spora yang di dalamnya zoospora diproduksi.

Zooxanthella = algae bersel tunggal yang terdapat di dalam jaringan endoderm karang atau biota lain. Algae ini termasuk dalam Dinoflagellata, marga *Symbiodinium*.

Zygote = sel telur yang telah dibuahi

DAFTAR PUSTAKA

- Abe N. 1937. Post-larval development of the coral *Fungia actiniformis* var. *palawensis* Doderlain. Palao Trop. Biol. Stat. Stud., 1: 73-93.
- Acevedo R dan C. Goenaga 1986. Note on the coral bleaching after chronic flooding in southwestern Puerto Rico. Carib. J Sci. 22: 225.
- Acosta A dan S. Zea. 1997. Sexual reproduccion on the reef coral *Montastrea cavernosa* (Scleractinia: Faviidae) in the Santa Marta area, Caribian coast of Colombia. Mar. Biol. 128: 141-148.
- Antonius A. 1973. New observations on coral destruction in reefs. 10th Meeting Assoc Isl Mar Lab Carib. 10(3) (Abstract).
- Atoda K. 1947. The larva and postlarval development of some reef-building corals. I. *Pocillopora damicornis cespitosa* (Dana). Sci. Rep. Tohoku. Univ. Ser. 4, 18: 24-47.
- Ayre D.J., T.P. Hughes, 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. 1988. Fine-scalespatian and temporal pattern in coral settlement. Proc. 6th Int. Coral Reef Symp. 2: 635-639.
- Babcock R.C., G.D. Bull, P.L. Harrison, A.J. Heyward, J.K. Oliver, C.C. Wallace dan B.L. Willis, 1986. Synchronous spawning of 105 scleractinian coral species on the Great Barrier Reef. Mar. Biol. 90: 379-394.

- Babcock R.C., B.L. Wills and C.J. Simpson 1994. Mass spawning of corals on a high latitude coral reef. *Coral Reefs*. 13: 161-169.
- Barnes R.S.K. dan R.N. Hughes. 1995. An introduction to marine ecology. 2nd edition. Blackwell Science Australia. 351 p.
- Benayahu Y. 1997. Developmental episodes in reef soft corals ecological and cellular determinants. *Proc. 8th Int. Coral Reef Symp.* 2: 1213-1218.
- Benayahu Y. dan Schleyer 1998. Reproduction in *Anthelia glauca* (Octocorallia: Xeniidae). II. Transmission of algal symbionts during planulae brooding. *Mar Biol.* 131: 433-442.
- Bothwell, A.M. 1981. Fragmentation as a means of asexual reproduction and dispersal in coral genus *Acropora* (Scleractinia: Astrocoeniida: Acroporidae)- A preliminary report. *Proc. 4th Int. Coral Reef Symp.* 2, 137-144.
- 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.
- Brewer R.H. 1976. Some microenvironmental influence on attachment behavior of planula of *Cyanea capillata* (Cnidaria: Scyphozoa). In: G.O. Mackie (ed.), *coelenterate Ecology and behavior*. Plenum Press. New York, pp. 347-364.
- Brown B. E. and Suharsono 1990. Damage and recovery of coral reefs affected by El Nino related seawater warming in the Thousand Islands, Indonesia. *Coral Reefs*. 8: 163-170.
- Bull G. 1986. Distribution and abundance of coral plankton. *Coral Reefs*. 4: 1285-1296.
- Burke L., E. Selig, M. Spalding. 2002. Terumbu karang yang terancam di Asia Tenggara. World Resources Institute. Washington, DC. 40 p.
- Carleton J.H. dan P.W. Sammarco 1982. Effect of substratum irregularity on succes of coral settlement: quantification by comparative geomorphological techniques. *Bull. Mar. Sci.*, 40: 85-98.
- Carpenter, R.C. Invertebrate Predators and Grazers. 2001. *Dalam: Birkeland, C. (ed.) 2001. Life and Death of Coral Reefs*. Chapman & Hall, New York: 198-229.
- Chia F. S. dan L.R. Bickell, 1978. Mechanisms of larval attachment and the induction of settlement and metamorphosis in coelenterates: a review. In: F.S. Chia and M.E. Rice (eds.), *Settlement and metamorphosis of marine inverbrate larvae*. Elsevier, New York. Pp. 1-12.
- 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.
- Chornesky E.A. dan E.C. Peters. 1987. Sexual reproduction and colony growth in the scleractinian coral *Porites astreoides*. Biol. Bull., 172: 161-177.
- Cole S.L. dan P.L. Jokiel. 1992. Effect of salinity on coral reefs. In: D.W. Connell and D.W. Hawker (Eds.) Pollution in tropical aquatic system. CRC Press Inc, London. P. 147-166.
- 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.
- Cook R. E. 1979. Asexual reproduction: a farther consideration. Am. Nat. 113: 769-772.
- Dai et al, 1998.
- Dai C.F., K. Soong and T.Y. Fan. 1992. Sexual reproduction of corals in Northern and Southern Taiwan. Proc. 7th Int. Coral Reef Symp. Guam. 1 : 448-455
- Den Hartog J.C. 1977. The marginal tentacles of *Rhodactis sanctithomas* (Corallimorpharia) and the sweeper tentacles of *Montastrea cavernosa* (Scleractinia): their cnidom and possible function. Proc. 3rd Int. Symp. Coral Reefs. Miami. 1: 463-469.
- 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.
- Drew E. A. 1972. The biology and physiology of algae-invertebrate symbiosis. II. The density of symbiotic algal cells in a number of hermatypic corals and Alcyonarians from various depths. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 9: 71-75.
- Edmunds P.J. 1991. Extent and effect of Black Band Disease on a Caribbean Reef. Coral Reefs. 10: 161-165.
- 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. 1983. Population dynamic and life history of a solitary coral, *Balanophyllia elegans*, from Central California. Ecologia 58: 200-2007.
- Fadlallah Y.H dan J.S. Pearse 1982a. Sexual reproduction in solitary corals: overlapping oogenic and brooding cycles, and benthic 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. 1982. Reproductive ecology of coral *Astrangia lajollaensis*: sexual and asexual patterns in a kelp forest habitat. Oecologia, 55: 379-388.
- Fadlallah, Y.H. 1983. Sexual reproduction, development and larval biology in scleractinian corals. A review. Coral Reefs. 2: 129-150.
- Fadlallah Y.H. 1985. Reproduction in the coral *Pocillopora verrucosa* on the reef adjacent to the industrial city of Yanbu (Red Sea, Saudi Arabia). Proc. 5th Int. Coral Reef Congress, Tahiti, 1985. 4: 313-318.
- Fadlallah, Y.H. and Pearse J.S. 1982a. Sexual reproduction in solitary corals: overlapping and brooding cycle, and benthic planulae in *Balanophyllia elegans*. Mar. Biol. 71: 223-231.
- Fadlallah, Y.H. and Pearse J.S. 1982b. Sexual; reproduction in solitary corals: synchronous gametogenesis and broadcast spawning in *Paracyathus stearnsii*. Mar. Biol., 71: 233-239.
- Fan. 2003. Spatial and temporal variation of coral recruitment in Taiwan (Note). Coral Reefs. 22: 224-228.
- Fitt W.K., F.K. McFarland, M.E. Warner dan G.C. Chilcoat. 2000. Seasonal patterns of tissue biomass and densities of symbiotic dinoflagellates in reef corals and relation to coral bleaching. Limnol. Oceanogr. 45: 677-685.
- Frydl P. and G.W. Steam. 1978. Rate of bioerosion by parrotfish in Barbados Reef environments. J. Sediment Petrol. 48: 1149-1157.
- 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.
- Gates R.D. 1990. Seawater temperature and sublethal coral bleaching in Jamaica. Coral reefs. 8: 193-197.
- Gate R.D., G. Baghdasarian dan L. Muscatine. 1992. Temperature stress causes host cell detachment in symbiotic cnidarian: Implications for coral bleaching. Biol. Bull. 182: 324-332.
- 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.
- Gittings S.R., G.S. Boland, K.J.P. Deslarzes, C.L. Combs, B.S. Holland dan T.J. Bright. 1992. Mass spawning and reproductive viability of reef corals at the east Flower Garden Bank, northwest Gulf of Mexico. Bull. Mar. Sci., 51: 420-428.

- Glider W.V. 1983. The biology of association of symbiodinium microadriaticum with Aiptasia pallida: an anemone-alga symbiosis. Ph.D. Thesis, University of Nebraska. 102 pp.
- Glynn P.W. 1983. Extensive "bleaching" and death of reef corals on the Pacific coast of Panama. Environ. Conserv. 10: 149-154.
- Glynn P.W. 1984. Widespread coral mortality and the 1982-83 El Nino warming event. Environ. Conserv. 11: 133-146.
- Glynn P. W. 1990. Coral mortality and disturbance in coral reefs in the tropical eastern Pacific. Pp. 55-126 in Global Ecological Consequences of the 1982-83 El-Nino Southern Oscillation. P. W. Glynn ed. Elsevier, Amsterdam.
- Glynn, P.W. 2001. Bioerosion and coral-Reef Growth: A Dynamic Balance. Dalam: Birkeland, C. (ed.) 2001. Life and Death of Coral Reefs. Chapman & Hall, New York: 68-95.
- Glynn P.W. dan R.H. Steward, 1973. Distribution of coral reefs in the Pearl Islands (Gulf of Panama) in relation to thermal conditions. Lim. Ocean. 18: 367-385.
- Glynn, P.W., Gassman N.J., Eakin C.M., Cortes J., Smith D.B., Gusman H.M. 1991. Reef coral reproduction in the eastern Pacific: Costa Rica, Panama, and Galapagos Islands (Equador). 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.
- Goren M. 1979. Succession of benthic community of artificial substratum at Eilat (Red Sea). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 18: 19-40.
- Grigg R.W. 1994. Science management of the world's fragile coral reefs (Editorial). Coral Reefs (1994) 13:1.
- Harii, S. 1995. Reproduction and life history of temperate scleractinian coral *Alveopora japonica* Eguchi 1968. Thesis, Tokyo Fisheries University, 27 pp. (in Japanese).
- Harrigan J.F. 1972. The planula larva of *Pocillopora damicornis*: Lunar periodicity of swarming and substratum selection behaviour. Thesis, University of Hawaii. 319 pp.
- Harmelin-Vivien M. dan P. Labaute 1986. Catastrophic impact of hurricanes on atoll outer reef slope in the Tuamotu (French-Polynesia). Coral reefs 5: 55-62.
- Harriott, V.J. 1983a. Reproductive ecology of four scleractinian species at Lizard Island, 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.
- Harrison P.L. 1988a. Pseudo-gynodioecy: an unusual breeding system in the scleractinian coral *Galaxea fascicularis*. *Proc. 6th Int. Coral Reef Symp.*, Townsville, 1988. 2: 699-705.
- Harrison, P.L., Babcock R.C., Bull G.D., Oliver J.K., Wallace C.C., Willis B.L. 1984. Mass spawning in tropical corals. *Science Wash. D.C.* 223: 1186-1189.
- Harrison, P.L. and Wallace C.C. 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.
- Hartog J.C. den. 1977. The marginal tentacles of *Rhodactis sanctithomae* (Corallimorpharia) and the sweeper tentacles on *Montastrea cavernosa* (Scleractinia); their enidom and possible function. *Proc. 3rd Int. Coral Reef Symp.* 1: 463-469.
- Heyward A.J. 1986. Sexual reproduction in five species of the coral *Montipora*. *In: P.L. Jokiel, R.H. Richmond dan R.A. Rogers (Eds.), Coral Reef Population Biology, Hawaii. Int. Mar. Biol. Tech. Rep. No. 37: 170-178.*
- Heyward A.J. dan J.D. Collins, 1985a. Growth and sexual reproduction in the scleractinian coral *Montipora digitata* (Dana) *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 36: 441-446.
- Heyward, A.J., Yamazato K., Yemin T., Minei M. 1987. Sexual reproduction of corals in Okinawa. *Galaxea*. 6: 331-343.
- Hidaka M. dan K. Yamazato. 1984. Intraspecific interactions in a scleractinian coral *Galaxea fascicularis*: induce formation of sweeper tentacles. *Coral reefs*. 3: 77-85.
- Highsmith R.C. 1982. Reproduction by fragmentation in corals (Review). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 7: 207-226.
- Highsmith R.C., A.C. Riggs, C.M. Dantonio 1980. Survival of hurricane-generated coral fragments and a disturbance model of reef calcification/growth rates. *Oecologia* 46: 322-329.
- Highsmith R.C., R.L. Rebekka dan S.C. Schonberg. 1983. Growth and bioerosion of three massive corals on the Belize barrier reef. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 13: 261-271.
- Hirrose, M., Kinzie R.A., Hidaka M. 2000. Early development of zooxanthellae-containing Eggs of the corals *Pocillopora verrucosa* and *P. eydouxi* with special reference to the distribution of zooxanthellae. *Biol. Bull.*, 198: 68-75.

- Hirose M., R.A. Kinzie, M. Hidaka 2000. Early development of zooxanthellae-containing eggs of the corals *Pocillopora verrucosa* and *P. eydouxi* with special reference to the distribution of zooxanthellae. Biol. Bull. 199: 68-75.
- Hogdson G. 1990. Sediment and settlement of larvae of the reef coral *Pocillopora damicornis*. Coral Reefs. 9: 41-44.
- Hoegh-Guldberg O., L.R. McCloskey, L. Muscatine 1987. Expulsion of zooxanthellae by symbiotic cnidarians from the Red Sea. Coral Reefs. 5: 201-204.
- Hoegh-Guldberg O. dan Smith G.J. 1989. Light, Salinity, and temperature and the population density, metabolism and export of zooxanthellae from *Stylopora pistillata* and *Seriatopora hystrix*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 129: 279-303.
- Hughes T.P., A.H. Baird, E. Dinssdale, M. Molchanoweskyj, M. Pratchett, J.E. Tanner and B. Willis. 1999. Pattern of recruitment and abundance of corals along the Great Barrier Reef. Nature. 397: 59-63.
- Hutchings P.A. 1986. Biological destruction of coral reefs. A review. Coral Reefs. 4: 239-252.
- Hutchings P.A., W.E. Kione, R.B. Cunningham dan C. Donnelly. 1992. Spatial and temporal pattern of non-colonial boring organisms (polychaeta, sipunculus dan bivalve mollusc) in *Porites* at Lizar Island, Great Barrier Reef. Coral Reef 11: 23-31.
- Jaap WC. 1985. An epidemic zooxanthellae expulsion during 1993 in the Lower Florida Keys coral reefs: Hyperthermic etiology. Proc. 5th Int. Coral Reef Congr. 6: 143-148.
- Jokiel P.L. 1984. Long distance dispersal of reef corals by rafting. Coral Reefs. 3: 113-116.
- Kawaguti S. 1937. Regeneration and phototropism in reef corals. Palao Tro. Biol. Stu. 1. pp 209-216.
- Kawaguti S. 1941a. On the physiology of reef coral. V. Tropisms of coral planulae, considered as a factor of distribution of the reefs. Palao Trop. Biol. Stat. Stud., 2: 319-328.
- Kinzie R.A. 1993. Spawning in the reef corals *Pocillopora verrucosa* and *P. eydouxi* at Sesoko Island, Okinawa. Galaxea. 11: 93-105.
- Knowlton, N.J., J.C. Lang, M.C. Booney and C. Clifford. 1981. Evidence for delayed mortality in hurricane-damaged Jamaican staghorn corals. Nature 294: 251-252.
- 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 dan 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 dan 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 dan 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 dan N.J. Quinn. 1982b. Reproductive ecology of two Faviid corals (Coelenterata: Scleractinia). Mar. Ecol. Prog. Ser., 8: 251-255.
- 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.
- Kusmaro A., Y. Loya, M. Fine dan E. Rosenberg. 1996. Bacterial infection and coral bleaching. Nature. 380: 396.
- Lang J. 1973. Interspecific aggression by scleractinian corals. 2. Why the race is not only to the swift. Bull. Mar. Sci. 23: 260-279.
- Lang J.C. dan E.A. Chornesky. 1990. Competition between scleractinian reef corals-A review of mechanisms and effects. In: Dubinsky Z (Ed.) Ecosystems of the world, Vol 25, Coral Reefs, Elsevier, Amsterdam, p 209-252.
- Larcombe P., P.V. Ridd, A. Prytz dan B. Wilson. 1995. Factors controlling suspended sediment on inner-shelf coral reefs, Townsville, Australia. Coral Reefs. 14: 163-171.
- Le Tissier M. 1988. Pattern and formation and ultrastructure of the larval skeleton of *Pocillopora damicornis*. Mar. Biol. 98: 493-501.
- Le Tissier M.D'A.A. 1988. Pattern of formation and the ultrastructure of the larval skeleton of *Pocillopora damicornis*. Mar. Biol. 98: 493-501.
- Lewis J.B. 1975. Preliminary description of the coral reefs of the Tobago Cays, Grenadines, West Indies. Atoll. Res. Bull., 178: 1-14.

- Lewis J.B. dan W.S. Price. 1975. Feeding mechanisms and feeding strategies of Atlantic reef corals. *J. Zoo.* 176: 527-545.
- Mapstone G.M. 1990. Reef corals and sponge of Indonesia. – Video-based learning module. Unesco's Workshops. 65 p.
- Martin-Chaves E. 1986. Gametogenesis and origin of planulae in the hermatypic coral *Pocillopora damicornis*. In: P.L. Jokiel, R.H. Richmond and R.A. Rogers (Eds.), *Coral reef population Biology*. Hawaii Inst. Mar. Biol. Tech. Rep. No. 37: 193-205.
- Menasveta P., M. Navanarasest, dan S. Rungsupa. 1986. Environmental setting of the Gulf of Thailand with special reference to the Sichang Islands. *Galaxea* 5: 7-13.
- Miller K. dan C. Mundy. 2003. Rapid settlement in broadcast spawning corals: implications for larval dispersal. *Coral Reefs*. 22: 99-106.
- Moberg F., M. Nystrom, N. Kautsky, M. Tedengren, dan P. Jarayabhand. 1997. Effect of reduced salinity on the rates of photosynthesis and respiration in the hermatypic corals *Porites lutea* and *Pocillopora damicornis*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 157: 53-59.
- Mojetta, A. 1995. The Barrier Reefs. *A Guide to The World of Corals*. A.A. Gaddis & Sons, Egypt: 168 hlm.
- Montgomery M.K. dan P.M. Kremer 1995. Transmission of symbiotic dinoflagellate through the sexual cycle of the host scyphozoan *Linuche unguiculata*. *Mar. Biol.* 124: 147-155.
- 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. dan C.F. D'Elia. 2001. Interaction Between Corals and Their Symbiotic Algae. *Dalam: Birkeland, C. (ed.) 2001. Life and Death of Coral Reefs*. Chapman & Hall, New York: 96-113.
- Muscatine L. 1967. Glycerol excretion by symbiotic algae from corals and *Tridacna* and its control by the host. *Science*. 156: 516-519.
- Muscatine L. 1973. Nutrition of corals. In: Q.A. Jones and R. Endean (Eds.). *Biology and geology coral reefs*. Vol. II. Academic Press, London, New York. Pp 77-115.
- Muscatine L. dan J.W. Porter. 1977. Reef corals: mutualistic symbioses adapted to nutrient poor environments. *BioScience*. 27: 454-460.
- Muscatine L., L.R. McCloskey, R. Marian 1981. Estimating the daily contribution of carbon from zooxanthellae to coral animal respiration. *Limnol. Oceanogr.*, 26: 601-611.
- Muscatine L., P.G. Falkowski, J.W. Porter, dan Z. Dubinsky. 1984. Fate of photosynthetic fixed carbon in light and shade-adapted colonies of symbiotic coral *Stylophora pistillata*. *Proc. R. Soc. London B*. 222: 181-202.

- Neumann A.C. 1966. Observation on coral erosion in Bermuda and measurements of the boring rate of the sponge *Cliona lampa*. *Limnol. Oceanogr.* 11: 92-108.
- Nishihira, M., and Veron J.E.N. 1995. *Hermatypic coral of Japan*. Kaiyusha Publishers, Tokyo (in Japanese).
- Oliver J.K. 1985. An evaluation of the biological and economic aspects of commercial coral collecting in the Great Barrier Reef Region. Final Rep. Great Barrier Reef Marine Park Authority. October: 106 pp.
- 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.
- Paruntu C., K. Hidaka and M. Hidaka. 2000. Developmental changes in cnida composition of the coral *Pocillopora damicornis*. *Galaxea, JCRS.* 2: 23-28.
- Permata, W.D., R.A., Kinzie M. Hidaka 2000. Histological studies on the origin of planulae of the coral *Pocillopora damicornis*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 200: 191-200.
- Peyrot-Clausade M. 1977. Settlement of an artificial biota by coral cryptofauna. *Proc. 3rd Int. Symp. Coral Reefs, Miami* 1: 101-104.
- Pires D.O., C.B. Castro dan C.C. Ratto. 1999. Reef coral reproduction in the Abrohol Reef Complex, Brazil: the endemic genus *Mussimilia*. *Mar. Biol.*, 135: 463-471.
- Reed S.A. 1971. Techniques for raising the planula larvae and newly settled polyps of *Pocillopora damicornis*. In: W.M. Lenhoff, L. Muscatine and L.V. Davis (Eds.). *Experimental Coelenterate Biology*. University of Hawaii Press. Honolulu.
- Rice S.A. and C.L.Hunter, 1992. Effect of suspended sediment and burial on scleractinian corals from west Central Florida Patch Reefs. *Bull. Mar. Sci.*, 51: 429-442.
- Richardson C.A., P. Dustan and J.C. Lang 1979. Maintenance of living space by sweeper tentacles on *Montastrea cavernosa*, a Caribbean Reef Coral. *Mar. Biol.* 55: 181-186.
- Richmond R.H. 1985. Reversible metamorphosis in coral planula larvae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 22: 181-185.
- Richmond R.H. 1987. Energetics, competency, and long distance dispersal of planula larvae of coral *Pocillopora damicornis*. *Mar. Biol.*, 93: 527-533.
- Richmond, R.H. 2001. Reproduction and Recruitment in Corals: Critical Links in the Persistence of Reefs. *Dalam: Birkeland, C. (ed.) 2001. Life and Death of Coral Reefs*. Chapman & Hall, New York: 175-197.

- 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 Hunter C.L. 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. dan 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. dan Y. Loya, 1979^a. The reproduction of the Red Sea coral *Stylophora pistillata* II. Synchronization in breeding and seasonally of planulae shedding. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 1: 145-152.
- Rinkevich B. dan Y. Loya. 1979^b. The reproduction of the Red Sea coral *Stylophora pistillata* I. Gonad and planulae. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 1: 133-144.
- Rinkevich B. dan Y. Loya. 1985. Intraspecific competition in a reef coral: effects on growth and reproduction. *Oecologia*. 66: 100-105.
- Rinkevich B. dan 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.
- Robin, B., C. Petron, & C. Rives. 1981. *Living Corals*. Les Edition Du Pacifique, (?): 144 hlm.
- Rogers C.S. 1990. Response of coral reef organisms to sedimentation. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 62: 185-202.
- Rowan R., N. Knowlton, A.C. Baker, and J. Jara. 1997. Landscape ecology of algal symbionts creates variation in episodes of coral bleaching. *Nature*. 388: 265-269.
- Sakai K. 1997. Gametogenesis, spawning, and planula brooding by the reef coral *Goniastrea aspera* (Scleractinia) in Okinawa, Japan. *Mar. Ecol. Progr. 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. Progr. Ser.*, 10: 57-65.
- Searle J., J.F.R. Kerr dan C.J. Bishop. 1982. Necrosis dan apoptosis: distinct modes of cell death with fundamentally different significance. *Pathol. Annu.* 17: 229-259.
- Sebens K.P. 1983. Settlement and metamorphosis of a temperate soft-coral larva (*Alcyonium siderium* Verrill): induction by crustose algae. *Biol. Bull.*, 165: 286-304.
- Sheppard R.C. 1979. Interspecific aggression between reef corals with reference to their distribution. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 1: 237-247.

- Sheppard R.C. 1982. Coral populasion on reef slope and their major controls. Mar. Ecol. Prog. Ser. 7: 83-115.
- Shlesinger Y. dan Y. Loya, 1985. Coral community and reproductive pattern. Red Sea versus the Great Barrier Reef. Science, Wash., D.C. 239: 1333-1335.
- Smith L.D. and T.P. Hughes 1999. An experimental assesment of survival, re-attachment and fecundity of coral fragments. Jour. Exp. Mar. Biol. Ecol., 235: 147-164.
- Song, J.I. 1982. A study on the classification of the Korean Anthozoa 7. Scleractinia (Hexacorallia). Natural history Museum, Ewha Wowont University, 25: 131-140.
- Soong K. 1991. Sexual reproductive patterns of shallow-water reef corals in Panama. Bull. Mar. Sci. 49: 832-846.
- 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.
- Sprung M. dan B.L. Bayne. 1984. Some practical aspects of fertilizing the eggs of mussel *Mytilus edulis*. J. Cons. Int. Explor. Mer. 41: 125-128.
- Steen R.G. dan L. Muscatin. 1987. Low temperature evokes rapid exocytosis of symbiotic algae by a sea anemone. Biol. Bull. 172: 246-263.
- 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.
- 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. Prog. Ser. 6: 53-59.
- Szmant A.M. and Gassman N.J. 1990. The effect of prolonged bleaching on the tissue biomass and reproduction of the reef coral *Montastrea annularis*. Coral reefs 8:217-224.
- Szmant-Froelich A.M., M. Reutter dan L. Riggs. 1985. Sexual reproduction of *Favia fragum* (Esper): lunar patterns of gametogenesis, embriogenesis and planulation in Puerto Rico. Bull. Mar. Sci., 37: 880-892.

- Tackett, D.N. dan L. Tackett. 2002. *Reef Life: Natural History and Behaviors of Marine Fishes and Invertebrates*. T.F.H. Publications, Inc., New Jersey: 224 hlm.
- Thamrin 1994. Comparative study on the effect of high temperature on *Goniastrea aspera* Verrill, *Psammocora contigua* (Esper) and *Stylophora pistillata* (Esper). Master Thesis. University of Ryukyus. Okinawa, Japan. 78 p.
- Thamrin 2001a. Reproductive biology of a scleractinian coral *Alveopora japonica* Eguchi in Amakusa, South-Western Japan. DSc. Thesis, Kyushu University. Fukuoka Japan 89 p.
- Thamrin 2001b. Effect of coral-inhabiting barnacle (*Cantellius pallidus*) on planula production in a scleractinian coral *Alveopora japonica*. *Ophelia*. 55: 93-100.
- Thamrin. 2001c. Embriogenesis karang scleractinia bertipe brooding *Alveopora japonica* Eguchi di Amakusa Jepang. BIPP. 7 (2): 101-111.
- Thamrin 2001d. Reproductive biology of a scleractinian coral *Alveopora japonica* Eguchi in Amakusa, South-Western Japan. DSc. Thesis, Kyushu University. Fukuoka Japan 89 p.
- Thamrin. 2002. Kehadiran zooxanthellae dalam awal kehidupan karang scleractini *Alveopora japonica* Eguchi di Amakusa Jepang. Jurnal Perikanan dan Kelautan. 7(2): 80-87.
- Thamrin, M. Hafiz dan A. Mulyadi. 2004. Pengaruh kekeruhan terhadap densitas zooxanthellae pada karang scleractinia *Acropora aspera* di Perairan Pulau Mursala dan Pulau Poncan Sibolga, Sumatera Utara. Jurnal Ilmu Kelautan. 9: 82-85.
- Thamrin. 2005. Analisa Experimen kemampuan menempel kembali pragmen karang scleractinia. Jurnal Dinamika Pertanian. 20: 109-118.
- Thomason J.C. dan B.E. Brown. 1986. The cnidom: an index of aggressive proficiency in scleractinian corals. *Coral Reefs*. 5: 93-101.
- 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, J. Tsukahara, R. van Woesik dan K. Yamazato. 1996. Degradation and regulation of zooxanthellae density in hermatypic corals. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 139: 167-178.
- Titlyanov E.A., T.V. Titlyanova, Y. Loya dan K. Yamazato. 1998. Degradation and proliferation of zooxanthellae in planulae of the hermatypic coral *Stylophora pistillata*. *Mar. Biol.*, 130: 471-477.

- Tomascik T. dan F. Sander. 1987. Effect of eutrophication on reef-building corals III. Reproduction of the reef-building coral *Porites porites*. Mar. Biol. 94: 77-94.
- Tomascik, T., A.J. Mah, A. Nontji, & M.K. Moosa. 1997. The Ecology of the Indonesian Seas, Part One. Periplus Edition, (?): xiv + 642 hlm.
- Tranter P.R.G., D.N. Nicholson dan 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.
- Tunnicliffe V. 1983. Caribbean staghorn coral populations: Pre Hurricane Allen conditions in Discovery Bays Jamaica. Bull, Mar. Sci., 33: 132-151.
- Van Moorsel G.W. M.N. 1983. Reproductive strategies in two closely related stony corals (*Agaricia*, Scleractinia). Mar. Ecol. Prog. Ser. 13: 273-283.
- Van Veghel M.L.J. 1993. Multiple species spawning on Curacao rees. Bull. Mar. Sci., 52: 1017-1021.
- 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. dan 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. dan 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. 1992. Hermatypic corals of Japan. Ser. Austr. Inst. Mar. Sci. Mon., 9, 234pp.
- Veron J.E.N. 1993. Corals of Australia and the Indo-Pacific. University of Hawaii Press. 643 pp.
- Veron J.E.N. 2000. Corals of the world. Australian Institute of Marine Science. Townsville, Australia. Vol. 1. 463 pp.
- Wallace C.C. 1985. Reproduction, recruitmen and fragmentation in nine sympatric species of the coral genus *Acropora*. Mar. Biol. 88 : 217-233.
- Wallace C. 1999. Staghorn corals of the world. A revision of the genus *Acropora*. National Library of Australia. 421 pp.
- Ward, S. 1992. Evidence for broadcast spawning as well as brooding in the scleractinian coral *Pocillopora damicornis*. Mar. Biol., 112: 641-646.

- Weber J.N. dan E.W. White 1977. Caribbean reef corals *Montastrea annularis* dan *Montastrea cavernosa* – long term growth data as determined by skeletal x-radiography. In: Frost M.P., S.H. Weiss, J.B.Saunders, (eds.) Reef and related carbonates-ecology and sedimentology. Am. Ass. Petrol. Geol., Tulsa, Oklahoma (Stud. Geol. Petrol. Geol. No. 4: 171-179.
- William G.C. 1993. Coral reef octocoral-an illustrated guide to the soft corals, sea fans and sea pens inhabiting the coral reefs of northern Natal. Durban Natural Science Museum.
- William D.McB., E. Wolanski dan J.C. Andrews. 1984. Transport mechanisms and potential movements of planktonic larvae in the central region of the Great Barrier Reef. *Coral Reefs*. 3: 229-236.
- Wellington G.M. 1982. An experimental analysis of the effects of light and zooplankton on coral zonation. *Oecologia*. 52: 311-320.
- Wellington G.M. dan P.W. Glynn. 1983. Environmental influences on skeletal banding in eastern Pacific (Panama) corals. *Coral Reefs*. 1: 215-222.
- Willis, B.L. 1987. Morphological variation in the reef corals *Turbinaria mesenterina* and *Pavona cactus*: synthesis of transplant, histocompatibility, electrophoresis, growth, and reproduction studies. Ph.D. Thesis, James Cook University of North Queensland, 202pp.
- Willis B.L., R.C. Babcock, P.L. Harrison, J.K. Oliver, C.C. Wallace. 1985. Pattern in the mass spawning of corals on the Great Barrier Reef from 1981 to 1984. *Proc. 5th Int. Coral Reef Congress. Tahiti*. 4: 343-348.
- Willis B.L. dan 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.
- Witterberg M. and W. Hunte 1992. Effect of eutrophication and sedimentation on juvenile corals. *Mar. biol.* 112: 131-138.
- Wood, E.M. 1983. *Reefs of the World. Biology and Field Guide*. T.T.H. Publications, Inc., LTD, Hongkong:
- Wright, N. 1986. Aspects of reproduction and planulae development in the reef coral *Cyphastrea ocellina*. In: P.L. Jokiel, R.H. Richmond and R.A. Rogers (Eds.), *Coral Reef Population Biology*. Hawaii. Int. Mar. Biol. Tech Rep., 36: pp. 179-192.
- Yamazato K., M. Oshiro dan 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.

DAFTAR INDEKS

A

Abiotik 166, 168.

Abnormal 41, 155, 160, 182.

Aboral 38, 45, 115, 155, 156, 175, 176, 183.

Absorpsi 23.

Abortus 83, 108.

Abrasi 168.

Acanthaster planci 209, 210, 211, 214, 216.

Acmaea 209.

Acropora 2, 3, 7, 8, 31, 33, 34, 36, 37, 51, 52, 55, 89, 96, 104, 109, 141, 146, 170, 190, 208, 216.

Acropora sp. 91, 93, 106, 129, 166, 187, 188.

A. abrolhosensis 33.

A. aspera 55, 148, 149, 150, 151,

A. cervicornis 106, 107, 110, 124, 125, 204.

A. cuneata 72, 77, 79, 83, 114.

A. cytherea 55, 205.

A. digitifera 13, 152.

A. echinata 33.

A. florida 106.

A. formosa 53, 190.

A. fruinosa 122, 123, 125, 126, 128, 129, 190.

A. granulosa 105, 106.

A. humilis 55, 126, 206, 207.

A. hyacinthus 55, 106, 124, 126, 129, 179, 205, 206, 207.

A. intermedia 129.

A. (Isopora) cuneata 68.

A. (Isopora) palifera 68.

A. longicyathus 106.

A. loripes 106.

A. millepora 55, 124, 126, 129.

A. nasuta 190.

A. nobilis 105, 106.

A. palifera 69, 77, 83, 114, 107, 206, 207, 208.

A. palmata 95, 110, 138.

A. pulchra 55.

A. sarmentosa 106.

A. secale 55.

A. selago 55.

A. solitaryensis 37, 146.

A. tenuis 55, 92.

A. tumida 90.

A. valida 105, 106.

Acrosphere 21, 25, 197.

Acroporidae 56, 65, 206, 207.

Actinia 50.

Agaricia agaricites 66.
A. humilis 66.
A. lamarsky 205.
Agaricia spp. 168.
 Agariciidae 29, 56, 60, 62, 206, 207.
 Agresif 201, 204, 207, 208.
 Agresor 207.
Ahermatypic 2, 5, 9.
 Aka 215.
 Akresi 189.
 Algae (alga) 132, 133, 160, 166, 167, 180, 191, 209, 211, 212, 214, 216.
 Algae turft 212.
Alveopora 10, 200.
Alveopora japonica 10, 21, 37-44, 46, 61, 63, 68-76, 77, 78, 79, 81, 83, 87, 111, 112, 140, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 196.
Alcyonacean 130.
 Ambang 143, 145, 214.
 Amonia 138.
 Anastomosis 174.
 Anastomose 174, 175.
 Anemon 132.
 Anhydrase 188.
 Anorganik 138, 168.
 Anterior zone 54.
 Anthozoa 2.
 Anthropogenic 169.
 Aplanospore 136, 137.
 Apoptosis 143, 144.
 Appressed tubular 37.
Arca ibricata 95.
Artificial experiment 168.
 Asam karbonat 186, 188.
Asam amino 138.
 Ascidian 102, 103.
 Ascroporidae 30, 65,

Aseksual 10, 48, 70, 112, 114, 120, 121, 130, 154, 189.
 Asimilasi 133.
 Astracoeniidae 30.
Astrangia danae 38, 66, 102.
Astrangia lajollaensis 89.
Astreopora spp. 206, 207.
 Aulophyllia 152.
 Autospora 136, 137.
 Atoll 14, 15, 16, 205.
 Atolu 14.
 Avertebrata 1, 2, 209.
 Axial corallite 31, 33, 35.
 Axial polyp 34, 109.

B

Bail-out 115, 116.
 Basal disc 25, 174.
 Basal plate 174, 175, 176.
Balanophyllia elegans 37, 38, 69, 69, 77, 87.
 Balistidae 211.
 Bakteri 159, 160, 166, 167, 209, 211, 214, 215.
 Barabattoia 177.
 Barnakel 109, 111, 214, 215.
 Barrier reef 14, 16.
 Bantik 37, 166.
 Bioeroder 214.
 Bioerosi 129, 215, 216.
 Bioerosion 216.
 Biofilm 159, 160, 166, 167.
 Biologi 174, 190, 209, 216, 217.
 Biomas 133.
 Biotik 166, 167.
 Bivalve 102, 103, 215, 217.
 Black Band Disease 211.
 Blastomere 104.
 Blastula 81, 84, 104.
 Bleaching 136, 143, 144, 147, 152, 164.

B-mastigophore 203.
 Bom 124.
 Borer 216, 217.
 Branching 2, 179, 180, 189.
 Breeding 67, 86, 108.
 Brooder 39, 63, 68, 101, 114, 169,
 Brooding 10, 41, 44, 48, 49, 50,
 55, 63, 64, 67, 68, 72, 81, 82,
 83, 84, 86, 87, 88, 96, 98, 101,
 105, 112, 113, 114, 139, 140,
 141, 152, 154, 164, 168, 169,
 170, 189.
 Budding 129, 176, 178.
 Bumpy 84, 109.

C

Calcareous 117.
 Calic (calyx) 115, 117, 164, 175.
 Calicoblast 21, 26.
Calpophyllia natans 211.
Cantellius pallidus 111.
Caryophyllia ambrosi 66.
Caryophyllia smithi 97.
Catalaphyllia plicata 179.
 Caulastrea 177.
 Cerioid 178.
 Chaetodontidae 209, 211.
Chaetodon auriga 212.
C. semilarvatus 211.
C. paucifasciatus 212.
Charonia tritonis 210.
Chiton 209, 217.
 Chloroplas (kloroplas) 133, 134.
 Chitinous matrix 189.
 Cleavage 104.
 Clionidae 215.
 Clionid 215.
Cliona 215, 217.
Cliona carribaea 215.
Cliothesa. 215.
 Clone (klon) 130, 166.

Cnidaria 2, 25, 144, 160.
 Coelenterata 1, 2.
 Coelenteron 21, 24, 74, 81, 83,
 154.
 Coenosact 19, 21, 115, 189.
 Coenosteum 24, 28, 29, 31, 32,
 177.
 Cochleariform 37.
 Colum wall 23.
 Columella 30, 32, 155, 175, 176.
 Columnar 85, 107, 109, 175.
 Conical 37, 177.
 Coral 1, 2.
 Coral devoring snail 211.
 Coral reef 1.
 Coralin algae 125, 216.
 Coralliophyla 211.
 Corallite 21, 28, 29, 30, 31, 32, 33,
 34, 116, 120, 174, 175, 176,
 177, 178, 179.
 Corallite wall 32, 174.
Corallium rubrum 2.
 Corallum 187.
 Costa 21, 31, 175, 176.
 Costae 21.
 Cortical granular 58.
 Cross fertilization 81, 102.
 Crustacea 147, 209.
Ctenella chagius 206, 208.
Cynarina lacrymalis 177.
Cyphastrea microphthalma 166,
 206, 208.
Cyphastrea ocellina 74.
 Cyst 58, 59, 136, 137.
 Cytoplasm 61.
 Cytoplasmic collar 52, 54.

D

Danafungia 207.
 Degradasi 133, 215.
 Dendrophylliidae 31.

Densitas 143, 145, 148, 149, 151, 160, 166, 169.
 Diaceous 64.
Diadema 209.
Diadema antillarum 95.
A. antinularis 213.
 Diatom 159, 160, 166, 167.
 Digitate 2, 189.
 Digonic sensu 65.
 Dimidiate 37.
 Dinoflagellata 5, 26, 188, 132, 134, 172, 173.
Diplastre 215.
Diploastrea 177.
A. clivosa 95, 107.
Diploria clivosa 110.
D. labyrinthiformis 211.
D. rugosa 92, 210.
D. strigosa 110, 211.
 Dissepiments 31.
 distal centriole 52, 54.

E

Echinodermata (ekinodermata) 95, 214.
 echinoid 103, 102, 103, 217.
 echinophyllia aspera 99.
Echinopora 177.
E. lamellosa 206, 208.
 Edge zone 19, 21.
 Ekinodermata 147, 209.
 Ekologi 174.
 Ekosistem 1, 6, 7, 14, 17, 165, 209.
 Eksresi 23, 138, 172.
 Elektroporesis isozyme 114.
 El-Nino 124, 143, 145, 216.
 Embrio 81, 83, 84, 85, 103, 114.
 Embriogenesis 50, 63, 64, 67, 68, 70, 81, 82, 83, 84, 100, 102,

104, 112, 114, 139, 140, 141, 170.
 Encrusting 2, 179, 180, 190, 204.
 Endemik 63, 87, 157.
 Endodermis 22, 23, 24, 25, 44, 45, 51, 52, 57, 58, 62, 85, 133, 140, 141, 143, 144, 151, 172, 173, 186, 188, 189.
 Endolit 214, 215.
 Endolithic 212.
 Endoskeleton 28.
 Entocoele 23, 24.
 Enzim anhidrase 188.
 Epidermis 21, 22, 24, 25, 44, 85, 140, 141, 142, 149, 175.
 Epilit 214.
 Epitecha 28, 29, 31, 32, 33.
 Epithelial wall 33.
 Erosi 210, 214, 216.
 Eunicidae 215.
Euphyllia 21.
Euphyllia spp. 166.
 Euphyllidae 31.
Euphyllia ancora 179.
E. glabrescens 141.
 Euphyllidae
Eurythoe complanata 95.
Eutropikasi 169.
Exocytosis 143, 144.
 Exocoele 23, 24.
 External fertilisasi
 Extratentacular budding 176, 177 178, 189.
 Extrinsic 129.

F

Famili 56, 94.
 Fatch reef 15, 217.
Favia 101, 103, 177, 178, 215.
Favia fava 90, 91, 117, 206.
F. laxa 166.

F. prugum 10, 83, 84, 87, 106,
 107, 109, 110, 119, 120, 159,
 167.
F. stelligera 206, 208.
Faviidae 56, 65, 166, 177, 206,
 208.
Favites 215.
Favites pentagona 101, 103,
Fekunditas 105, 107, 108, 109,
 111, 152, 191.
 Fertilisasi 13, 49, 50, 63, 64, 67,
 68, 81, 83, 88, 89, 100, 101,
 102, 103, 114, 142, 148, 152,
 153, 161, 170.
 Filum 1.
 Filamen 115.
 Fire worm 211.
 Fisiologi 117, 130, 148, 150, 168,
 191, 192, 211.
 Flabello-meandroid 179.
Flabellum rubrum 56.
 Flagella 52, 77, 133.
 Flagellum 54.
 Foliceous 2, 5, 179, 187, 190, 204,
 205.
 Fotosintesis 2, 12, 138, 149, 151,
 168, 172, 173, 187, 204.
 Fototaksis 129, 155, 187.
 Fototaksis positif 9.
 Fragmen 120, 121, 123, 124, 125,
 126, 127, 128, 129, 131, 187,
 188, 190, 210, 212, 213, 217.
 Fragmentasi 10, 120, 121, 130,
 189.
 Fringing reef 15, 14, 15, 16.
 Fulkano 15.
 Fungi 209.
Fungia 11, 18, 47, 177, 207.
Fungia cyathus 21.
F. (Verrillofungia) concinna 3.
F. fungites 95, 203.
F. (Verrillofungia) concinna 3, 97.

F. scutaria 142.
Fungia spp. 206.
Fungidae 29, 56, 206, 207, 208.
Fusion 103, 129, 193, 194.

G

Galaxea 64.
Galaxea astreata 166.
G. clavus 206, 208.
G. fascicularis 27, 66, 89, 94, 97,
 197, 198, 199, 203.
 Gamet 23, 49, 52, 55, 64, 65, 66,
 68, 72, 74, 86, 88, 89, 90, 91,
 92, 93, 98, 99, 102, 107, 108,
 109, 114, 161, 166, 170, 171.
 Gametogenesis 63, 64, 67, 77, 79,
 81, 89, 108, 114, 148, 164.
Gardineroseris ponderosa 206,
 207.
G. planulata 59, 60, 62.
 Gastrodermis 133.
 Gastropoda 209, 214, 215.
 Gastrovascular 115.
 Gastrula 104.
 Gastrulasi 104.
 Gempa 190.
 Genetik 114, 130.
 Genus 29, 94, 208, 215, 216.
 Geologi 216, 217.
 Giant clams 132.
 Global warming 124, 143, 145,
 212.
 Gonat 66, 91.
Goniastrea 178, 215.
G. aspera 28, 67, 88, 89, 90, 92,
 105, 139, 157, 176, 190.
G. australensis 65,
G. favulus 65, 96, 97, 101, 102,
 203.
G. pectinata 206, 208.
Goniastrea spp. 207.

Goniopora 10, 200, 206.
Goniopora quinslandioe decima 69.
Goniopora spp. 208.
G. stokesi 200, 207.
 Gonokorik 50, 64, 65, 66, 68, 77, 81, 89, 98.
 Gorgonia 95, 130.
 Grafitasi 130.
 Granular 58.
 Granular 60, 62.
 Granule 133, 134.
 Granulasi 57.
 Grazer 214, 216, 217.
 Grazing 168.
 Green algae 212.
Gymnodinium adriaticum 133.
G. microadriaticum 133.
Gymnodinium sp. 134.
 Gymnodinioid 136, 137.
Gypsina plana

H

Habitat 130, 138, 166, 170, 209, 212, 214.
 Halomitra
Halomitra philippinensis 206, 207.
 Herbiopora 214.
 Hermaprodit 50, 64, 65, 66, 67, 68, 72, 78, 81, 91, 102, 103.
 Hermaprodit sekuensial 65.
 Hermaprodit simultan 65.
 Hematoxylin 25.
 Hermatypic 2, 5, 6, 7, 9, 12, 38, 133, 161, 172, 188.
 Hermit crab 209.
Hermodice carunculata 95.
Heteropsammia cochlea 66.
 Hexacoralia 21, 183.
 Histologi 25, 58, 59, 78, 91.

Holothuria mexicana 95.
 Holotrich 203.
Holotrichous isorhiza 27.
 Horizontal 168, 187, 189, 190, 192, 193.
 Host cell detachment 143, 144.
 Hydrozoa 2, 130, 134.

I

Immersed 37.
 Inang 26, 133, 138, 143, 144, 172, 180, 211.
 Infauna 217.
 Inhibitor 138.
 Intensitas cahaya 108, 149, 151, 168.
 Internal fertilisasi 81.
 Intertidal 5, 8, 9, 152, 212.
 Inter-reef 169, 170.
 Interspecific competition 192.
 Intraspecific competition 192.
 Intratentacular budding 176, 177, 178, 189.
 Ion hidrogen 108, 188.
 Ion kalsium 186.
 Ion karbonat 108, 186, 188.
Ircinia campana 95.
Isophyllia sinuosa 203.
 Isogamete 136, 137.

J

Jamur 214, 215.
 Jelly 25.
 Jellyfish 132.

K

Kalsifikasi 138, 186, 187.
 Kalsium 126.

Kalsium karbonat 123, 126, 155, 174, 186, 187, 189.
 Karbohidrat 138.
 Karbonat 217.
 Karbondioksida 102, 103, 138, 188.
 Karnipora 209.
 Kapur 186, 187, 189, 215.
 Kasmolit 214.
 Klorofil 11.
 Koloni 4, 18, 31, 46, 47, 52, 63, 64, 65, 81, 82, 88, 89, 90, 102, 105-111, 115, 117, 120, 121, 125, 129, 130, 131, 133, 143, 146, 152, 161, 162, 165, 166, 167, 168, 174, 176-182, 187, 188, 189, 190, 192, 193, 200, 201, 204, 205, 209, 211, 212, 213, 215.
 Kolonisasi 130.
 Kompetisi 192, 193, 195, 197, 198, 201, 204, 207, 208, 209.
 Kompetisi interspesifik 167, 195, 196.
 Kompetisi intraspesifik 167, 195.
 Kompetitor 195, 197, 201.
 Komunitas 166, 167.
 Korallion 2.
 Krustasea 214.
 Kurosiwo 157.

L

Labellate 37,
 Lagoon 207,
 Lamella 52,
 Lamella body 54,
 Larva 10, 11, 13, 18, 37, 37, 46, 47, 63, 67, 83, 85, 86, 87, 96, 104, 109, 112, 114, 130, 131, 133, 140, 142, 152, 153, 154,

155, 161, 162, 166, 167, 168, 170, 175, 183, 185, 193,
 Lateral 174, 175, 181,
Leptastrea transversa 206, 208,
Leptoria 179,
Leptoseria (=Helioseria) cucullata 205,
Lithophaga 215, 217.
Lithophyllon 18,
Lithotrya 215,
Lobophyllia corymbosa 88, 90, 91, 206, 208,
 Locus 52,
 Lumen 59, 61,

M

Macro-borer 214,
 Macro-organisme 215,
 Maksimum 138.
 Masroom 2.
 Massive 19, 106, 109, 120, 150, 179, 180, 182, 189, 190, 216,
 Mass spawning 49, 89, 94, 95, 98, 99, 169,
 Meandrinidae 206, 208,
 Meandroid 178,
Membrane plasma 143.
Merulina ampliata 200.
 Meruliniidae 64.
 Mesentery 23, 24, 25, 46, 51, 60, 62, 65, 68, 70, 74, 77, 79, 84, 85, 106, 107, 141, 155, 176, 201.
 Mesenterial filamen 21, 115, 173, 197, 198, 201, 202, 203,
 Mesoglea 24, 25, 44, 52, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 68, 77, 83, 140,
 Metabolisme 133, 138,
 Metamorfosis 43, 155, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 164, 192,
 Micrite 212,

Micrite envelope 212,
 Micro-algae 2, 5, 132, 133, 141,
 151, 159, 165, 166, 167, 173,
 187, 191, 212, 215,
 Microbasic b-mastigophore 27,
 Microbasic p-mastigophore 27,
 Micro-borer 214,
 Micro-habitat 216,
 Mikro-organisme 159, 160, 165,
 Midpiece 52, 54,
 Midplace 77,
 Migrasi
Millephora spp. 166,
 Missid 166,
 Mitochondria 52, 54,
 Molusca 95, 132, 166,
Montastrea annularis 5, 6, 7, 19,
 89, 92, 95, 96, 101, 107, 108,
 109, 134, 181, 191, 201, 203,
 204, 211.
M. cavernosa 89, 91, 95, 107,
 110, 181, 197, 198, 201, 211.
M. faveolata 134.
M. mirabilis 197.
M. valenciennesi 3, 91, 93.
Montipora 31, 189, 140, 141,
 179, 190, 207.
Montipora spp. 63, 206, 207.
M. digitata 92, 101, 103, 140,
 141.
 Morphotype 107.
 Mortalitas 13, 125, 152, 153, 166.
 Motile 133.
 Mucus vacuoles 25.
 Muroami 124.
 Mussidae 56, 65, 208.
Mussimilia 57.
 Mutualisme 5, 26, 109, 209.
Mycedium elephantotus 99.
Mytilus edulis 102, 103.

N

Nariform 37.
 Nebulae 57.
 Necrosis 143, 144.
 Nematoblast 22, 25, 26, 45.
 Nematosit 21, 22, 25, 26, 27, 198,
 201.
Neofibularia nolitangere 95.
 Nitrogen 138.
 Normal 130, 133, 145, 147, 160,
 161, 182, 186, 197, 198.
 Nudibranchs 132.
 Nukleus 52, 71, 135, 141, 144.
 Nuklei 25, 58, 59, 60, 62.
 Nucleuli 58.
 Nukleulus 54, 57, 59, 61, 62.
 Nutrien 10, 138, 210.

O

Oksigen 102, 103, 138.
 Octocorallia 2.
Oculina patagonica 117.
 Oculinidae 31, 206, 208.
 Oksigen 10.
 Oogenesis 57, 59, 61, 62, 63, 68,
 69, 70, 72, 114, 141.
 Ooplasma 141.
 Oosit 51, 52, 53, 57, 58, 59, 60,
 62, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 72,
 73, 74, 81, 83, 84, 88, 89, 90,
 91, 92, 100, 102, 103, 104, 105,
 106, 107, 109, 114, 139, 140,
 141.
Ophiocoma echinata 95.
 Optimal 147.
O. flaccita 95.
 Optimum 138.
 Oral 19, 45, 46, 47, 104, 115, 142,
 155, 156, 161, 176, 183.
 Oral pore 39, 46, 84, 85, 104, 142.
 Oral disc 19, 23, 132.

Oral tube 81.
 Ordo 2.
 Organik 168, 180, 215.
 Oogenesis 59, 61, 62, 77, 79, 88,
 89, 90, 91, 139.
 Ordo 2, 133.
 Outotrof 172.
 Ovary 52, 64, 65, 108.
 Overgrowth 197, 201, 204.
 Overtop 197, 204.
 Overtopping 198.
 Oviparity (ovipar) 48.
 Ovoviparity (ovovipar) 48, 49.

P

Pachyseris 179, 180, 190.
 Padatan tersuspensi 12, 13, 102,
 107, 143, 148, 149, 150, 151,
 152, 152, 153.
 Pali 30.
 Paliform crown 30.
 Paliform lobes 30.
 Parasit 109, 111, 209.
 Parrotfish 216.
 Parsial 190.
 Partenogenesis 129.
Pavona 182.
P. cactus 97,
P. varians 206, 207.
P. clavus 206, 207,
P. gigantea 59, 60, 61, 62, 66, 97.
Pachyseris 189.
Paracyathus stearnsii 89, 98.
 Pacht 217.
 Patch reef 217.
 Patogen 209, 211.
 Patogen Black Band Disease 211.
 Parynk 81.
 Pectiniidae 64.
 Pelagik 159.
 Pemangsa 192, 209.

Perusak 191.
 Phaceloid
 Pigmen 55, 143, 145.
 Pinching off 143, 144,
 Plantonik 26, 37, 101, 155, 165.
 Plankton 41, 82, 159, 173.
 Planulae (planula = tunggal) 11, 13,
 18 37-41, 43, 44, 45, 46, 49, 70,
 72, 79, 81, 83, 85, 86, 87, 96,
 98, 101, 103, 106, 107, 109,
 112, 114, 117, 133, 140, 141,
 152-155, 157-164, 166, 167,
 168, 170, 175, 182, 183, 193,
 194.
 Planula abnormal 161, 183, 185.
 Planulasi 17, 79, 85, 140.
 Plasma 143.
Platygyra 179.
Platygyra daedalea 159.
P. sinensis 3, 89, 101, 103.
Plesiastrea 177.
Pleuractis 207.
Plexaura spp 95.
 Plocoid 177.
 P-mastigophore 203.
Pocillopora 85, 169, 170.
Pocillopora damicornis 10, 19, 41,
 43, 51, 66, 69, 70, 72, 79, 83,
 86, 87, 105, 114, 133, 139, 148,
 154, 159, 160, 162, 164, 166,
 170, 174, 181.
Pocillopora damicornis cespitosa
 45, 47.
P. danae 166.
P. eydouxi 96, 140, 141, 142.
P. verrucosa 51, 96, 97, 140, 141,
 142, 206, 207.
 Pocilloporidae 30, 56, 65, 206, 207.
Podabacia 18.
 Policeous 2, 5, 179, 180.
 Polusi 107, 108, 164,

Polychaeta 95, 215, 166, 212, 214, 215.
 Polyp (polip) 2, 4, 10, 11, 18, 19, 21-24, 26, 28-34, 47, 52, 65, 81, 105-109, 111, 114, 115, 117, 118, 120-123, 126, 132, 154-164, 174, 176-178, 182-187, 189-196, 194, 195, 196, 198, 200, 108, 109.
 Polyp abnormal 186,
 Polyp bail-out 114, 115, 117, 164, 189.
 Polyp expulsion 11, 112, 117, 118, 119, 164.
 Polyp primer 183, 185.
 Populasi 66, 91, 108, 132, 136, 210.
Porites 7, 8, 19, 31, 64, 97, 140, 141, 208, 215.
Porites andrewsi 206, 208.
P. astreoides 56, 65, 66, 107, 110, 168, 181.
P. australiensis 64, 90, 91.
P. cylindrica 64, 66.
P. furcata 110.
P. lobata 4, 64, 215.
P. lutea 3, 4, 64, 90, 91, 148, 190, 206, 208.
P. porites 66, 168.
Porites sp. 63, 166.
 Poritidae 206, 207.
 Posfor 138.
 Predasi 129.
 Predator 126, 167, 209, 214.
 Primordial 84.
 Primordial-germ 52.
 Presifitasi 188.
 Pro-acrosomal vesicles 52, 54.
 Produktifitas 172.
 Propagule 117.

R

Radioaktif 187.
 Radial corallite 34, 35.
 Radial polyp 35, 109.
 Reef 5.
 Regenerasi 187, 188, 190, 191, 213.
 Regresi linier 148.
 Rekrutmen 139, 140, 142, 148, 154, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 217.
 Respirasi 138, 172.
 Ribosom RNA 134.
 Ribosomal RNA 134.
 Rubble 217.
 Run-off 211.

S

Sack 52.
 Salinitas 5, 8, 13, 107, 108, 143, 147, 148, 157.
 Scaridae 209.
Scleractinia 2, 5, 17, 74, 77, 88, 95, 133, 160, 166, 180, 187.
 Scyphozoa 134.
 Sea urchin 212.
Sedimen 10, 108, 167, 212, 214, 216.
 Sedimentasi 10, 107, 117, 143, 148, 152, 164, 168, 216.
 Seksual 10, 48, 70, 112, 114, 130, 131, 154.
 Self fertilization 102.
 Semenisasi 125, 169.
Seriatopora hystrix 3, 51, 116, 206.
 Septa 29, 30, 32, 155, 175.
 Septo-costae 28, 29.
 Septa-primer 174, 175.
 Septa rudimer 174.
 Sepa sekunder 174, 175.
 Septa tertier 175.

Septotheca 33.
 Septum 32.
Seriatopora hystrix 3, 85, 207, 208.
 Sessil 5.
 Settlement 167.
 Shelter 215.
 Shoulder region 52, 54.
Siderastrea radians 107, 110.
S. siderea 110, 210.
 Siderastreidae 29.
 Silia 25, 37, 38, 47, 104.
 Symbion 129, 132, 139, 143, 172, 173, 180, 182, 204, 211.
 Symbiosis 2, 5, 109, 132, 134, 188, 209.
 Symbiosis mutualisme 152.
 Simetri 29.
 Simetri radial 29.
 Singonic sensu 64.
 Sipunkulus 215.
 Sitoplasma 57, 58.
 Skletogenesis 101.
 Skeleton 22, 28, 31, 44, 114, 115, 116, 117, 155, 164, 167, 174, 175, 177, 178, 180, 187, 189, 191, 209, 214, 215.
 Soliter 2, 4, 18, 29, 64, 106, 177, 183.
 Space competition 193, 195, 193.
 Spasial distribusi 166.
 Spasial rekrutmen 169.
 Spawner 89, 100, 169.
 Spawning 12, 17, 49, 50, 55, 63, 64, 65, 67, 68, 86, 88, 89, 91, 92, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 203, 104, 105, 139, 140, 141, 142, 152, 154, 161, 164, 166, 168, 169, 170.
 Sperma 13, 52, 63, 65, 77, 78, 81, 83, 88, 98, 101, 102, 103, 114, 152.
 Spermatit 62, 63, 79.
 Spermatogenesis 52, 58, 59, 91, 114.
 Spermary 60, 61.
 Spermatosit 61, 62, 63.
 Spermatozoa 61, 81, 101.
 Spirastrellidae 215.
Spirestrella 215.
Spirobranchus giganteus 95.
 Spirocyst 203.
 Squamous 175.
 Spon 214, 215.
 Sponge 29, 95, 130, 132.
 Stadium 47.
 Stepanophyllia 21.
 Sterome 29, 31, 33.
 Stomadeum 21, 23.
 Streoblastia 84.
 Streogastrula 85.
Stylophora 85.
Stylophora pistillata 38, 51, 65, 74, 79, 192, 83, 106, 107, 108, 159, 166, 191, 192, 206, 207.
 Sub-branching 2, 189.
 Sub-massive 189.
 Substrat 5, 11, 13, 114, 115, 118, 120, 121, 123, 124, 125, 126, 129, 154, 155, 156, 157, 159, 160, 161, 162, 164, 166, 179, 190, 207, 212, 216, 217.
 Substrat-kapur 214.
 Sub-immersed 37.
 Sub-tropis 6, 7, 85, 98, 173.
 Survival rate 148.
Symbiodinium 134.
Symbiodinium sp 140, 138.
Symbiodinium microadriaticum 132, 135, 137.
Symphyllia radians 206, 208.
S. plicata 179.
S. recta 53.
 Synapticulae 29.

Syncytial 85.
Syncytium 85.
Sweeper polyp 197, 198, 200.
Sweeper tentacle 197, 198, 201.

T

Table reef 15.
Tabulate 2, 3.
Tactile 160, 167.
Theca 155.
Tisu (tissue) 121, 123, 125, 126,
130, 164, 175, 188, 191, 195,
201, 214.
Tentakel 21, 25, 117, 155, 159,
173, 183, 195, 197, 198, 200,
203.
Tentakel normal 197, 198, 199.
Tersuspensi 12.
Terumbu 2.
Terumbu karang 2, 7, 14.
Testis 51, 62, 63, 64, 65, 66, 69,
72, 77, 79, 88.
Topan 124, 125, 126, 129, 190,
212, 213.
Topan Kona 213.
Triggerfish 211.
Tropis 6, 17, 85, 98, 99, 142, 173.
Tubastrea coccinea 114.
T. diaphana 114.
Tubular 37.
Turbiditas 107.
Turbinaria mesenterina 66, 89.
Turbulen 166.

U

Udang brine 198.
Usus 201.
Uniceluler 5, 133.

V

Vacuola 25, 26, 52, 54, 133.
Vegetatif 133, 135, 137.
Verrillofungia 207.
Vertikal 161, 168, 181, 187, 190.
Vesicle 57.
Vittellogenesis 57.
Vibrio AK-1 211.

Z

Zigot 81, 101, 114.
Zoanthid 130.
Zooplankton 10, 21, 73, 182.
Zoospora 136, 137.
Zoosporangium 136, 137.
Zooxanthellae 5, 9, 10, 11, 12, 17,
19, 22, 26, 39, 41, 43, 44, 45,
62, 63, 73, 84, 85, 107, 108,
115, 121, 129, 132, 133, 134,
136, 138, 139, 140-144, 145,
148, 149, 150, 151, 152, 160,
168, 172, 173, 180, 182, 187,
188, 204, 211.

Tentang Penulis



Thamrin, dilahirkan pada tanggal 17 Agustus 1963 di Toar, Kuantan Singingi Riau. Memperoleh Sarjana di bidang Penangkapn Ikan pada tahun 1989 di Fakultas Perikanan (sekarang Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan) Universitas Riau (UNRI). Pada tahun 1992 diangkat sebagai 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 tahun 1998 kembali mendapatkan kesempatan melanjutkan pendidikan (S3) di Kyushu University Fukuoka Jepang 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. Dari tahun 2002 sampai 2011 menjabat sebagai koordinator Pascasarjana Ilmu Lingkungan Universitas Riau. Sekarang beliau menjabat Wakil Rektor Universitas Riau mulai dari 2014 sampai 2018. Beliau aktif menulis jurnal baik di luar maupun di dalam negeri.

