

NABIL ZURBA

PENGENALAN
TERUMBU
KARANG

Sebagai Pondasi Utama Laut Kita

UNIMAL PRESS



PENGENALAN
TERUMBU KARANG
Sebagai Pondasi Utama Laut Kita



universitas
MALIKUSSALEH

NABIL ZURBA

**PENGENALAN
TERUMBU KARANG**
Sebagai Pondasi Utama Laut Kita

UNIMAL PRESS

Judul: **PENGENALAN TERUMBU KARANG, SEBAGAI PONDASI UTAMA LAUT KITA**

x + 116 hal., 15 cm x 23 cm

Cetakan Pertama: Maret, 2019

Hak Cipta © dilindungi Undang-undang. *All Rights Reserved*

Penulis:

Nabil Zurba

Perancang Sampul &

Penata Letak: **Eriyanto**

Pracetak dan Produksi: **Unimal Press**

Penerbit:

UNIMAL PRESS

Unimal Press

Jl. Sulawesi No.1-2

Kampus Bukit Indah Lhokseumawe 24351

PO.Box. 141. Telp. 0645-41373. Fax. 0645-44450

Laman: www.unimal.ac.id/unimalpress.

Email: unimalpress@gmail.com

ISBN:

798 – 602 –464- 077-4

ISBN 978-602-464-077-4



Dilarang keras memfotocopy atau memperbanyak sebahagian atau seluruh buku ini tanpa seizin tertulis dari Penerbit

Kata Pengantar

Peranan ekosistem Terumbu Karang dalam menunjang kehidupan masyarakat khususnya masyarakat pesisir sangatlah penting, seperti mencegah abrasi, stabilisator sedimen, sebagai tempat berlindung dan berkembang biak beberapa jenis ikan, pemanfaatan untuk bahan baku obat-obatan dan juga bahan baku kosmetik juga sebagai sarana ekowisata yang dapat menarik wisatawan karena keberadaan Terumbu Karang belum ada di semua daerah pesisir.

Oleh karena itu, isi buku teks bagian 1 ini terdiri dari dua Bab utama yang mencakup Bab 1 Pengenalan Terumbu Karang (Klasifikasi, Ekologi, bentuk Koloni, Asosiasi, Reproduksi dan Zona Penyebaran) sedangkan pada Bab 2 Pemanfaatan Sumberdaya Dan Simbiosis Ekologis (Ikan Karang, Kesehatan Karang, Ekowisata, Daya Dukung Kawasan, Manfaat Medis, Valuasi Ekonomi, Penyerap Karbon dan Pemanfaatan *Reefball*).

Buku teks ini diharapkan dapat digunakan sebagai:

- a) Pegangan dalam upaya pengenalan dan pengelolaan ekosistem Terumbu Karang.
- b) Kriteria penilaian dalam mengambil kebijakan dalam pengelolaan ekosistem Terumbu Karang untuk jangka panjang dan berkelanjutan.
- c) Pustaka bagi peningkatan pengetahuan khususnya bagi mahasiswa Universitas Malikussaleh.

Mudah-mudahan buku teks ini dapat mengenai sasarannya. Buku teks ini dirasakan masih jauh dari sempurna dan diharapkan masukan dari para pengguna, dan pakar untuk revisi di masa mendatang sesuai dengan kemajuan ilmu dan teknologi pengelolaan sumberdaya pesisir khususnya ekosistem lamun.

Bireuen, 15 Maret 2019
Penulis

Nabil Zurba

This page is intentionally left blank

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar tabel.....	viii
Daftar gambar	viii

BAB 1.

PENGENALAN TERUMBU KARANG	1
1.1 Klasifikasi Terumbu Karang.....	2
1.2 Struktur Rangka Terumbu Karang.....	7
1.3 Pertumbuhan dan Bentuk Koloni Karang.....	12
1.4 Ekologi Karang.....	14
1.4.1 <i>Suhu</i>	14
1.4.2 <i>Cahaya</i>	22
1.4.3 <i>Kecepatan arus</i>	23
1.4.4 <i>Salinitas</i>	24
1.4.5 <i>Kecerahan</i>	25
1.5 Asosiasi Karang Dengan <i>Zooxanthellae</i>	26
1.6 Reproduksi dan Pertumbuhan Karang	28
1.7 Tahapan Pertumbuhan dan Akresi.....	34
1.8 Cara Makan.....	47
1.9 Zonasi dan Penyebaran.....	49
1.10 Interaksi langsung dan tidak langsung	53

BAB 2.

PEMANFAATAN SUMBERDAYA DAN SIMBIOSIS EKOLOGIS.....	57
2.1 Kelimpahan Ikan Karang	61
2.2 Kesehatan terumbu karang	65
2.3 Pemanfaatan untuk ekowisata	66
2.4 Konsep ekowisata bahari	70
2.5 Daya Dukung Kawasan	71
2.6 Permasalahan Pada Ekowisata	73
2.7 Manfaat Terumbu Karang Dalam Dunia Medis	76
2.8 Nilai Ekonomi Ekosistem Terumbu Karang	81
2.9 Kawasan Ekosistem Berkelanjutan	86
2.10 Pemanfaatan Sebagai Penyerap Karbon	87
2.11 Pemanfaatan Reefball (Wadah karang buatan)	90
Daftar Pustaka	97
Lampiran 1.....	103
Riwayat Hidup.....	115

Daftar tabel

Tabel 1.	Mekanisme reproduksi aseksual pada terumbu karang.....	30
Tabel 2.	Perbandingan reproduksi aseksual dan seksual	34
Tabel 3.	Rekam jejak ENSO di Panama dan Galapagos.....	43
Tabel 4.	Rekam jejak pengrusakan karang oleh <i>Achantaster planci</i>	44
Tabel 5.	Kriteria penilaian kondisi ikan karang berdasarkan kategori kelimpahan.....	66
Tabel 6.	Pengelompokan kegunaan terumbu karang di Indonesia.....	82

Daftar gambar

Gambar 1.	Hamparan terumbu karang (<i>abc.net.au</i>).....	2
Gambar 2.	Keaneka ragaman spesies terumbu karang (<i>portdouglassmeridian.com</i>	4
Gambar 3.	Sebaran terumbu karang di dunia (<i>NOAA</i>).....	5
Gambar 4.	Contoh karang keras (<i>tripadvisor.co.za</i>)	6
Gambar 5.	Contoh karang Lunak (<i>imágenesmy.com</i>).....	6
Gambar 6.	Proses reaksi kimia dalam pembentukan terumbu karang (<i>ib.bioninja.com.au</i>)	9
Gambar 7.	Posisi koralit pada terumbu karang (<i>samnoblemuseum.ou.edu</i>).....	10
Gambar 8.	Bentuk dan posisi polip terumbu karang (<i>dkfindout.com</i>).....	11
Gambar 9.	Axial dan radial pada terumbu karang (<i>national-oceanographic.com</i>)	13
Gambar 10.	Terumbu karang jenis <i>Acropora</i> (<i>en.wikipedia.org</i>)	13
Gambar 11.	Contoh kasus coral <i>bleaching</i> (<i>australiangeographic.com.au</i>).....	15
Gambar 12.	Bentuk <i>Siderastrea radians</i> (<i>flickr.com</i>).....	17
Gambar 13.	Bentuk terumbu karang jenis <i>Plesiastrea versipora</i> (<i>earth.com</i>)	18
Gambar 14.	Bentuk dari <i>Acanthaster</i> atau bintang laut (<i>joelsartore.com</i>)	18
Gambar 15.	Bentuk dari <i>Acropora hyacinthus</i> (<i>earth.com</i>)	19
Gambar 16.	Bentuk dari <i>Alveopora japonica</i> (<i>coral.aims.gov.au</i>) ...	20
Gambar 17.	Bentuk dari <i>Blastomussa wellsi</i> (<i>marinecompatibilityguide.com</i>).....	20
Gambar 18.	Bentuk dari <i>Acropora Formosa</i> (<i>leonardosreef.com</i>)....	21

Gambar 19.	Bentuk dari <i>Montastrea annularis</i> (coralpedia.bio.warwick.ac.uk)	23
Gambar 20.	Kondisi karang yang terkena dampak sedimentasi (clarku.edu)	24
Gambar 21.	Bentuk karang dari jenis <i>Acropora palmate</i> (scubadiving.com)	27
Gambar 22.	Beberapa contoh bentuk <i>Dinoflagellata</i> (wisegeek.com)	27
Gambar 23.	Skema reproduksi karang secara aseksual (biosains.co)	29
Gambar 24.	Karang <i>Stylophora pistillata</i> (tropicseanomad.wordpress.com)	31
Gambar 25.	Karang <i>Goniastrea favulus</i> (biolib.cz)	31
Gambar 26.	Karang <i>Pocillopora damicornis</i> (wikipedia)	32
Gambar 27.	Siklus Reproduksi aseksual karang.....	33
Gambar 28.	Bentuk dari karang <i>Lobophyllia corymbosa</i> (korallenriffshop.de)	35
Gambar 29.	Terumbu karang sebagai carbon sink	36
Gambar 30.	Ragam bentuk pertumbuhan koloni karang.....	37
Gambar 31.	Bioerosi pada terumbu karang (researchgate.net)	38
Gambar 32.	Gastropoda (<i>Lithophaga</i>) (nature.com)	39
Gambar 33.	Barnakel (<i>Lithotrya</i>) (catalog.digitalarchives.tw)	39
Gambar 34.	Sipunkulus (<i>Eunicidae</i>) (poppe-images.com)	39
Gambar 35.	Bentuk dari spon <i>Spirastrellidae</i> jenis <i>Cliona carribaea</i> (art.com)	40
Gambar 36.	Ikan kakatua (scaridae) (thesea.org)	41
Gambar 37.	Ketam kelapa (hermit crab) (petsmart.com)	41
Gambar 38.	Limpet (<i>Acmaea</i>) (calphotos.berkeley.edu)	41
Gambar 39.	Moluska (<i>Chiton</i>) (epod.usra.edu)	42
Gambar 40.	<i>Echinoid</i> penyebab bioerosi karang di Galapagos (nhm.ac.uk)	43
Gambar 41.	<i>Echinometra mathaei</i> (wikipedia)	44
Gambar 42.	Ikan <i>finfish</i> (wikipedia)	44
Gambar 43.	Akibat yang timbul apabila terjadi penangkapan berlebih ikan finfish.....	45
Gambar 44.	Ikan kepe-kepe <i>Chaetodontidae</i> (thesprucepets.com)	46
Gambar 45.	Ikan <i>triggerfish</i> (Wikipwdia)	46
Gambar 46.	Ikan buntal (http://thenextpicture.blogspot.com)	46
Gambar 47.	<i>Charonia tritonis</i> (pinterest.com)	47
Gambar 48.	<i>Turf alga Galaxea</i> (commons.wikimedia.org)	47
Gambar 49.	Proses menangkap makanan pada terumbu karang....	49

Gambar 50.	Bentuk karang Scleractinia (hoopermuseum.earthsci.carleton.ca).....	50
Gambar 51.	Bentuk terumbu berdasar Teori Penenggelaman (<i>Aprilia Novita Sari</i>).....	51
Gambar 52.	Zonasi penyebaran terumbu karang (<i>Budiyanto Napu</i>).....	52
Gambar 53.	Bentuk dari ikan <i>Wrasse</i> (wikipedia).....	53
Gambar 54.	Bentuk dari hewan <i>Cassis tuberosa</i> (jaxshells.org).....	54
Gambar 55.	Bentuk dari biota alga <i>crustose</i> (ocean.si.edu).....	54
Gambar 56.	Bentuk dari alga <i>Turbinaria turbinata</i> (wikipedia).....	55
Gambar 57.	Bentuk dari karang jenis <i>gorgonian</i> (realmonstrosities.com).....	55
Gambar 58.	Bentuk dari <i>Diadema antillarum</i> (wikipedia).....	56
Gambar 59.	Bentuk ornamen dari terumbu karang (crov.com).....	60
Gambar 60.	Ikan <i>Crepuscular</i> (reef2rainforest.com).....	62
Gambar 61.	Ikan dari famili <i>Pomacentridae</i> (wikipedia).....	64
Gambar 62.	Ikan karang <i>Odonus niger</i> (reeflifesurvey.com).....	65
Gambar 63.	Contoh ekowisata bahari (auip.com).....	68
Gambar 64.	Karang api genus <i>Millepora</i> (wikipedia).....	75
Gambar 65.	Beberapa contoh <i>coral disease</i> (reefresilience.org).....	76
Gambar 66.	Karang berjenis <i>Gorgonia Pseudopterogorgia</i> (elisabethae.oralpedia.bio.warwick.ac.uk).....	77
Gambar 67.	Terumbu karang berjenis spons <i>Crambe crambe</i> (wikipedia).....	78
Gambar 68.	Terumbu karang berjenis pofifera <i>Luffariela</i> <i>variabilis</i> (<i>Ida Winarni</i>).....	78
Gambar 69.	Moluska berjenis <i>Conus magnus</i> (wikipedia).....	79
Gambar 70.	Terumbu karang berjenis spons <i>tunikata</i> (wikipedia).....	79
Gambar 71.	Terumbu karang berjenis spons <i>bryozoan</i> (mnn.com).....	80
Gambar 73.	Perubahan nilai sumberdaya alam.....	85
Gambar 72.	Contoh biota <i>Sea hares</i> (scubafusion.com).....	81
Gambar 74.	Skema penyerapan karbon oleh terumbu karang.....	88
Gambar 75.	Contoh peletakan reefbaal (artificialreefs.org).....	91
Gambar 76.	Contoh setelah peletakan reefbaal (artificialreefs.org).....	92
Gambar 77.	Contoh hasil penempelan karang baru (artificialreefs.org).....	94
Gambar 78.	Daerah yang menerapkan metode <i>Reefball</i> (artificialreefs.org).....	96

BAB 1.

PENGENALAN TERUMBU KARANG

Terumbu karang merupakan salah satu ekosistem khas pada perairan pesisir di wilayah tropis. Terdapat dua penjelasan khusus terhadap terumbu dan karang, yang mana kedua buah kata ini bukan merupakan satu kesatuan, melainkan penggabungan kata dari terumbu dan karang yang akan dijelaskan pada ulasan dibawah ini. Karang merupakan individu-individu berukuran kecil yang disebut polip. Setiap polip seperti kantung berisi air yang dilengkapi dengan lingkaran tentakel yang mengelilingi mulutnya, dan terlihat seperti anemon kecil. Polip di dalam koloni terhubung oleh jaringan hidup dan dapat berbagi makanan. Sedangkan terumbu karang adalah struktur di dasar laut berupa deposit kalsium karbonat yang dihasilkan terutama oleh hewan karang. Karang adalah hewan tak bertulang belakang yang termasuk dalam Filum Coelenterata (hewan berrongga) atau Cnidaria.

Binatang karang terlihat seperti tanaman, padahal sebenarnya karang merupakan sekumpulan hewan-hewan kecil yang bernama polip. Orang yang pertama kali mengklasifikasikan karang sebagai binatang adalah J.A. de Peysonell, seorang ahli biologi dari Perancis pada tahun 1753. Dalam klasifikasi ilmiah, karang berada dalam filum *Cnidaria*, kelas *Anthozoa*. Terumbu karang (*coral reefs*) juga merupakan kumpulan masyarakat (binatang) karang, yang hidup di dasar perairan, yang berupa batuan kapur (CaCO_3), dan mempunyai kemampuan yang cukup kuat untuk menahan gaya gelombang laut. Terumbu terbentuk dari endapan-endapan masif kalsium karbonat yang dihasilkan oleh organisme karang pembentuk terumbu (karang hermatifik) dari filum Cnidaria, ordo Sclerectinia yang hidup bersimbiosis dengan alga *zooxanthellae* dan sedikit tambahan alga berkapur dan organisme lain yang mengsekresi kalsium karbonat.

Secara harfiah Terumbu karang dapat dijelaskan sebagai struktur di dasar laut berupa deposit kalsium karbonat di laut yang dihasilkan terutama oleh hewan karang. Karang adalah hewan tak bertulang belakang yang termasuk dalam Filum *Coelenterata* (hewan berrongga) atau *Cnidaria*. Yang disebut sebagai karang (*coral*) mencakup karang dari Ordo *scleractinia* dan Sub kelas *Octocorallia* (kelas Anthozoa) maupun kelas Hydrozoa. Satu individu karang atau disebut polip karang memiliki ukuran yang bervariasi mulai dari yang sangat kecil 1 mm hingga yang sangat besar yaitu lebih dari 50

cm. Namun yang pada umumnya polip karang berukuran kecil. Polip dengan ukuran besar dijumpai pada karang yang soliter.

Terumbu karang merupakan salah satu ekosistem yang berperan penting pada wilayah pesisir namun rentan terhadap perubahan baik yang terjadi secara internal maupun eksternal. Sedimentasi merupakan salah satu faktor pembatas kehidupan binatang karang. Luas tutupan karang mempengaruhi struktur komunitas lain yang berasosiasi dengan terumbu karang salah satunya yaitu ikan karang. Keragaman ekosistem merupakan salah satu indikator penting dalam kelestarian suatu wilayah. Wilayah yang memiliki keragaman lebih memiliki ketahanan (*reseilience*) dalam perannya melindungi kawasan pesisir. Keberadaan spesies yang dilindungi pada suatu kawasan merupakan salah satu urgensi dalam pengelolaan kawasan konservasi, sehingga eksistensinya dapat dipertahankan dan terhindar dari kepunahan. Hamparan terumbu karang dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Hamparan terumbu karang (*abc.net.au*)

1.1 Klasifikasi Terumbu Karang

Karang tergolong dalam jenis makhluk hidup (hewan) yaitu sebagai individu organisme atau komponen dari masyarakat hewan. Dalam bentuk yang paling sederhana, karang hanya bisa terdiri dari sebuah polip yang mempunyai bentuk seperti tabung dengan mulut di bagian atas yang dikelilingi oleh tentakel. Karang termasuk dalam

filum *Cnidaria*, yaitu organisme yang memiliki penyengat. Hewan karang adalah hewan *sessile* renik, umumnya berada dalam ekosistem bersama hewan laut lain seperti *soft coral*, *hydra*, *anemone* laut dan lain-lain yang termasuk ke dalam Phylum *Cnidaria* (*Coelenterata*).

Secara umum terdapat dua kelompok *Cnidaria*, yaitu *Hydrozoa* dan *Anthozoa*. *Hydrozoa* terdiri dari *Millepora* dan *Stylasterina*. *Stylasterina* biasanya kecil dan hidup di tempat yang tersembunyi di dinding gua dan bukan merupakan karang pembentuk terumbu. *Anthozoa* yang umum dikenal adalah: *Stolonifera*, contohnya *Tubipora musica*; *Coenothecalia*, contohnya *Heliopora coerulea*. *Sclerectinia* atau lebih dikenal sebagai karang keras yang meliputi jenis-jenis karang pembentuk karang utama. Morfologi dan Fisiologi. Menurut Veron (2000), karang diklasifikasikan sebagai berikut:

Filum: *Cnidaria*

Kelas *Hydrozoa*

Ordo *Hydroidea* (*hydroids*)

Ordo *Milleporina* (meliputi *Genus Millepora*)

Ordo *Stylasterina* (meliputi *Genus Distichopora and Stylaster*)

Klas *Cubozoa* (*sea wasps*)

Klas *Anthozoa*

SubKlas *Octocorallia*

Ordo *Helioporacea* (*Genus Heliopora*)

Ordo *Alcyonacea* (*soft corals, Tubipora, sea fans*)

Ordo *Pennatulacea* (*sea pens*)

SubKlas *Hexacorallia*

Ordo *Actiniaria* (*sea anemones*)

Ordo *Zoanthidia* (*zoanthids*)

Ordo *Corallimorpharia* (*corallimorpharians*)

Ordo *Scleractinia* (*stony corals*)

SubKlas *Ceriantipatharia*

Ordo *Antipatharia* (*black corals*)

Ordo *Ceriantharia* (*tube anemones*)

Famili: *Astrocoiniidae*

Genus : Ada banyak dan beragam

Spesies : Ada banyak dan beragam



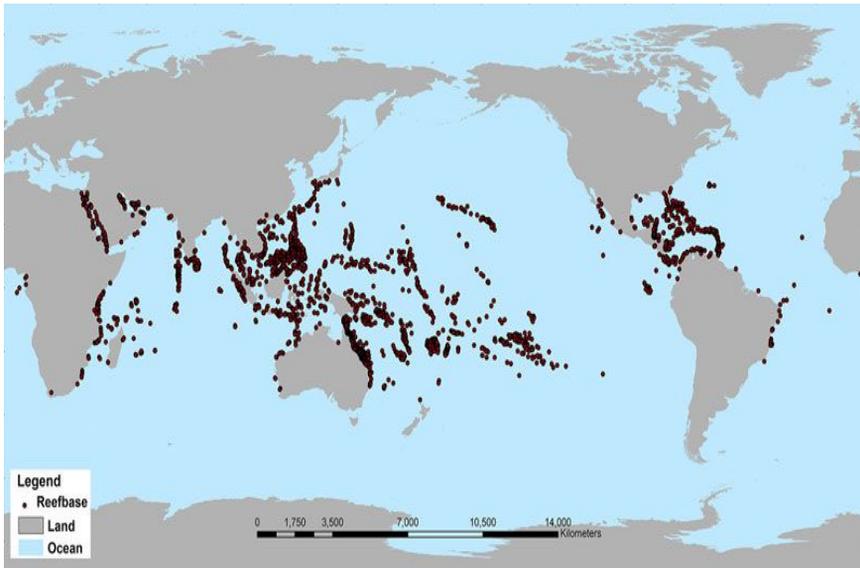
Gambar 2. Keaneka ragaman spesies terumbu karang
(*portdouglasmeridian.com*)

Ekosistem terumbu karang merupakan ekosistem yang sangat penting bagi perairan dan menjadi habitat bagi ikan dan biota laut lainnya. Banyaknya manfaat dan tingginya produktifitas yang terjadi pada ekosistem terumbu karang menyebabkan terjadinya pemanfaatan yang cukup besar di wilayah pesisir dan laut seperti: aktivitas penangkapan, peningkatan jumlah wisatawan, pembangunan di wilayah pesisir, peningkatan limbah yang menyebabkan pencemaran terhadap perairan baik dari aktivitas kapal (tumpahan minyak) dan peningkatan limbah rumah tangga yang mengalir ke perairan.

Terumbu karang adalah salah satu sumberdaya alam yang memiliki kemampuan untuk tumbuh dan berkembang baik secara alami maupun secara buatan melalui campur tangan manusia seperti transplantasi, biorock dan sebagainya. Namun, seperti halnya sumberdaya alam yang lain, ekosistem terumbu karang dieksploitasi baik secara langsung (perikanan tangkap, perikanan hias, pengambilan batu karang, karang hias dst.) maupun tidak langsung seperti untuk kebutuhan jasa wisata.

Sebaran terumbu karang di Indonesia termasuk yang terkaya di dunia dengan luasan mencapai 60.000 km² yang pada umumnya menyebar pada perairan kawasan pulau-pulau kecil mulai dari wilayah barat Sumatera, Kepulauan Riau, Bali, Lombok, Sulawesi,

Maluku hingga. Sebagai salah satu ekosistem di wilayah pesisir dan juga tersebar di kawasan pulau-pulau kecil, terumbu karang berfungsi sebagai tempat pemijahan (*spawning ground*), daerah asuhan (*nursery ground*) dan tempat mencari makan (*feeding ground*) oleh kebanyakan ikan. Berdasarkan hal tersebut ekosistem terumbu karang dapat menyebabkan tingginya produktivitas perikanan (ikan-ikan karang) yang memiliki nilai ekonomi tinggi, dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar konstruksi dan sebagai objek kegiatan wisata bahari. Sebaran terumbu karang di dunia dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Sebaran terumbu karang di dunia (NOAA)

Terumbu karang merupakan ekosistem yang sangat dinamis, namun sangat sensitif dan rentan terhadap perubahan kondisi lingkungan. Kondisi dinamis terumbu karang ditandai dengan perubahan-perubahan yang terjadi dalam komunitas, serta adanya interaksi yang kuat antara biota karang dan biota penghuni terumbu lainnya serta kondisi abiotik lingkungan. Perubahan kondisi lingkungan sebagai akibat dari berbagai aktivitas manusia maupun oleh kejadian-kejadian alam telah memberikan dampak kerusakan bagi terumbu karang dalam skala luas. Secara alami respon terumbu karang terhadap perubahan dan tekanan lingkungan adalah berusaha untuk bertahan dan menunjukkan gejala pemulihan sampai terbentuknya komunitas yang stabil kembali setelah mengalami

kerusakan. Apabila tekanan lingkungan terjadi terus menerus, sedangkan daya pulihnya lambat, maka terumbu karang akan mengalami kematian.

Penggolongan karang umumnya dibedakan menjadi dua, yaitu karang keras (*hard coral*) dan karang lunak (*soft coral*) dapat dilihat pada Gambar 4 dan gambar 5. Karang keras memiliki struktur keras menonjol, tidak bergerak, permukaannya kasar seperti kertas pasir, koralit regular, jika ada yang memiliki tentakel pada polip, jumlahnya lebih dari 8 dan biasanya berjumlah 24 tentakel. Karang lunak memiliki struktur lunak, melambai jika disapu di sekitarnya, koralit regular, polip menonjol keluar dan memiliki 8 tentakel.



Gambar 4. Contoh karang keras (*tripadvisor.co.za*)



Gambar 5. Contoh karang Lunak (*imagenesmy.com*)

Karang merupakan spesies yang mampu menyerap unsur karbon di dalam perairan. Bentuk pertumbuhan karang antara lain *Branching*, *Plate*, *Encrusting*, *Massive* atau *Boulder*, *Submassive* atau *Irregular*, *Foliose* atau *Lettuce-like*, *Columnar* or *Digitate*, *Free living* atau *Mushroom*. Warna dan bentuk karang dipengaruhi oleh faktor lingkungannya. Spesies yang memiliki struktur yang kuat, memiliki cabang yang berbentuk bulat karena hidup di perairan yang dangkal dan dipengaruhi oleh arus gelombang.

Namun, jika pertumbuhannya terjadi di perairan yang lebih dalam (terlindung), cabang yang terbentuk akan lebih tipis dengan penampakan yang lebih delikat (lembut). Jenis *Acropora* pada beberapa kondisi lingkungan akan berbentuk tabular, namun pada kondisi lingkungan yang lain akan membentuk struktur yang bercabang-cabang atau memiliki jari-jari. Warna pada beberapa spesies bervariasi sesuai dengan intensitas cahaya yang diterimanya.

Jenis dan jumlah habitat bergantung pada jumlah spesies karang, spesies yang dominan di dalam suatu area, dan kompleksitas pola yang terbentuk di dalam terumbu karang sepanjang waktu dan ruangnya. Luasan Terumbu karang yang tertinggi terdapat di Indonesia (51.000 km²) dan Filipina (26.000 km²) dengan prediksi diversitas area terumbu karang Indonesia sebesar 581 keragaman.

Secara alamiah ekosistem terumbu karang terus melakukan proses tumbuh dan beregenerasi sehingga mampu mempertahankan keberlangsungan ekosistemnya. Namun, semakin besar tekanan yang menyebabkan semakin meningkatnya degradasi terumbu karang, maka pada titik tertentu kemampuan tumbuh dan regenerasi terumbu karang tidak akan mampu mengimbangi tingkat kerusakan sehingga lambat laun terumbu karang akan punah.

1.2 Struktur Rangka Terumbu Karang

Koloni karang adalah kumpulan dari berjuta-juta polip penghasil bahan kapur (CaCO₃) yang memiliki kerangka luar yang disebut koralit. Pada koralit terdapat septum-septum yang berbentuk sekat-sekat yang dijadikan acuan dalam penentuan jenis karang. Suatu koralit karang baru dapat terbentuk dari proses *budding* (percabangan) dari karang. Selain bentuk koralit yang berbeda-beda, ukuran koralit juga berbeda-beda. Perbedaan bentuk dan ukuran tersebut memberi dugaan tentang habitat serta cara menyesuaikan diri terhadap lingkungan, namun faktor dominan yang menyebabkan perbedaan koralit adalah karena jenis hewan karang (polip) yang berbeda-beda.

Polip merupakan binatang kecil yang menyerupai karung. Di bibir tubuhnya memiliki tentakel untuk menarik dan menangkap mangsa. Makanan polip adalah plankton yang terbawa arus laut. Polip menyerap kalsium karbonat dari air laut dan mengeluarkannya dalam bentuk struktur kapur yang keras untuk melindungi tubuhnya yang lunak. Rangka luar terdiri dari kristal CaCO_3 yang dihasilkan oleh epidermis pada setengah batang tubuh ke bawah dan telapak kaki. Proses sekresi CaCO_3 menghasilkan rangka kapur berbentuk seperti mangkuk; polip tertanam di atasnya, dan tidak dapat berpindah tempat. Bagian dalam dari mangkuk karang terdapat sekat-sekat kapur yang memijar, disebut skleroseptum. Masing-masing spesies mempunyai bentuk dan susunan sklerosepta yang khas, sehingga dapat dipakai untuk identifikasi. Pola karang batu ditentukan antara lain dengan pola pertumbuhan koloni itu sendiri dan oleh susunan polip dalam koloni.

Adanya proses fotosintesa oleh alga menyebabkan bertambahnya produksi kalsium karbonat dengan menghilangkan karbon dioksida dan merangsang reaksi kimia sebagai berikut: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ Fotosintesa oleh algae yang bersimbiose membuat karang pembentuk terumbu menghasilkan deposit cangkang yang terbuat dari kalsium karbonat, kira-kira 10 kali lebih cepat daripada karang yang tidak membentuk terumbu (ahermatipik) dan tidak bersimbiose dengan *zooxanthellae*.

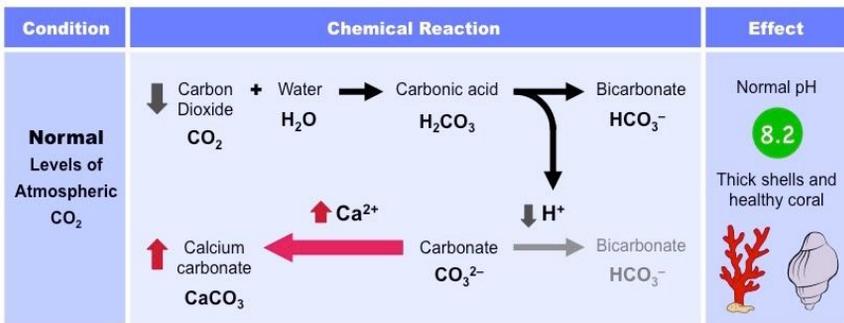
Dengan kata lain berdasarkan kepada kemampuan memproduksi kapur maka karang dibedakan menjadi dua kelompok yaitu karang hermatipik dan karang ahermatipik. Karang hermatipik adalah karang yang dapat membentuk bangunan karang yang dikenal menghasilkan terumbu dan penyebarannya hanya ditemukan di daerah Tropis. Karang ahermatipik tidak menghasilkan terumbu dan ini merupakan kelompok yang tersebar luas diseluruh dunia. Perbedaan utama karang hermatipik dan karang ahermatipik adalah adanya Simbiosis mutualisme antara karang hermatipik dengan *zooxanthellae*, yaitu sejenis algae Uniselular (*Dinoflagellata unisular*), seperti *Gymnodinium microadriatum*, yang terdapat di jaringan-jaringan polip binatang karang dan melaksanakan Fotosintesis.

Hasil samping dari aktivitas ini adalah endapan kalsium karbonat yang struktur dan bentuk bangunannya khas. Ciri ini akhirnya digunakan untuk menentukan jenis atau spesies binatang karang. Karang hermatipik mempunyai sifat yang unik yaitu perpaduan antara sifat hewan dan tumbuhan sehingga arah pertumbuhannya selalu bersifat Fototropik positif. Umumnya jenis

karang ini hidup di perairan pantai /laut yang cukup dangkal dimana penetrasi cahaya matahari masih sampai ke dasar perairan tersebut.

Lautan adalah penyerap karbon utama dan menyerap sekitar sepertiga dari semua emisi CO₂ yang dihasilkan manusia (antropomorfik). Kelarutan CO₂ bergantung pada suhu (lebih mudah larut saat dingin), jadi lebih sedikit CO₂ yang akan diserap seiring naiknya suhu. Ketika lautan menyerap CO₂ di atmosfer, sebagian darinya akan tetap terlarut dalam bentuk gas tetapi sebagian besar akan dimodifikasi secara kimia. Karbon dioksida akan bergabung dengan air untuk membentuk asam karbonat, yang berdisosiasi menjadi ion hidrogen dan hidrogen karbonat.

Kemudian ion H⁺ akan menurunkan pH laut (pengasaman) dan juga akan bergabung dengan ion karbonat bebas untuk membentuk lebih banyak hidrogen karbonat. Dengan ion karbonat yang lebih sedikit bebas di dalam air, organisme laut kurang mampu menghasilkan kalsium karbonat (melalui kalsifikasi). Kalsium karbonat digunakan untuk membentuk exoskeleton karang yang keras dan juga terdapat dalam cangkang moluska tertentu. Karenanya peningkatan konsentrasi karbon dioksida terlarut mengancam kelayakan terumbu karang dan moluska tertentu. Proses reaksi kimia dalam pembentukan terumbu karang dapat dilihat pada Gambar 6.

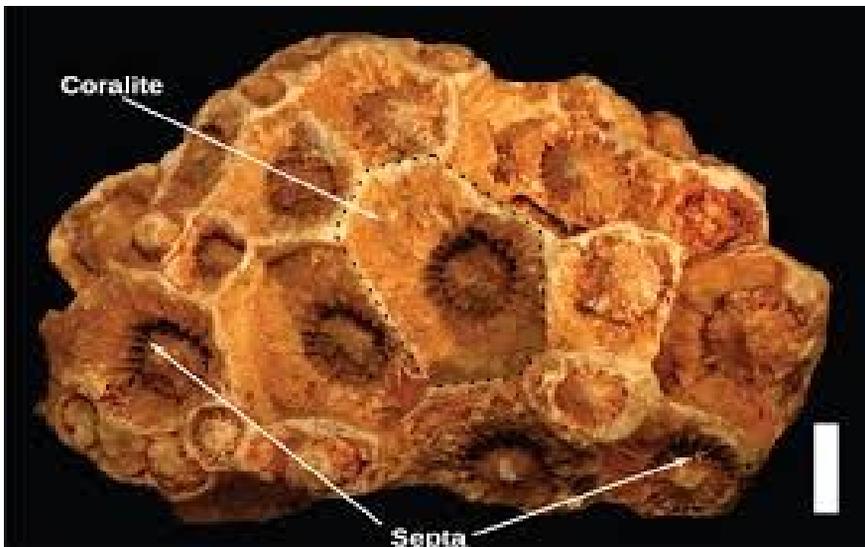


Gambar 6. Proses reaksi kimia dalam pembentukan terumbu karang (ib.bioninja.com.au)

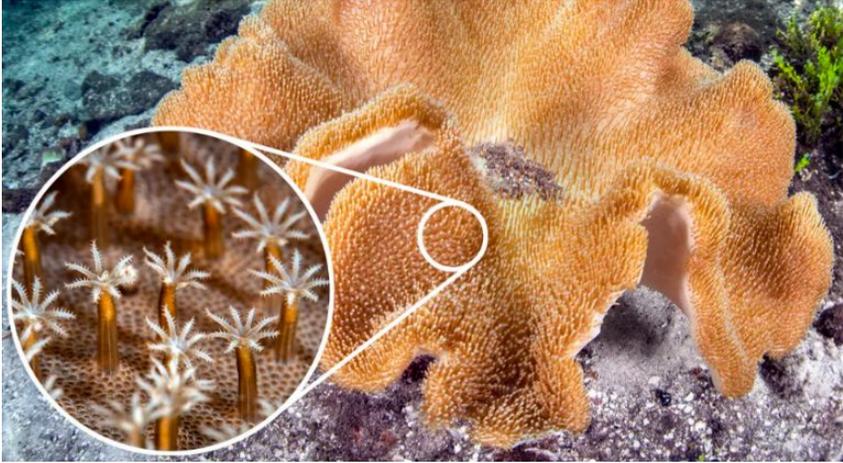
Pembentukan terumbu karang dimulai adanya individu karang (*polip*) yang hidup berkelompok (koloni) ataupun menyendiri (soliter). Karang yang hidup berkoloni membangun rangka kapur dengan berbagai bentuk, sedangkan karang yang hidup sendiri hanya membangun satu bentuk rangka kapur. Gabungan beberapa bentuk rangka kapur tersebut disebut terumbu. Rangka kapur yang dibentuk

hewan karang sangat kompleks. Morfologi dari rangka kapur inilah yang saat ini umumnya digunakan untuk mengidentifikasi jenis karang. Salah satu dasar pengamatan karang yang paling banyak digunakan adalah pengamatan struktur koralit. Di dalam koralit terdapat *septa* yang tumbuh keluar dari dasar koralit, *septa* ini merupakan dasar penentuan spesies karang.

Ukuran koralit sangat bervariasi, dari yang seukuran kepala jarum sampai yang sebesar sepatu. Koralit diperbanyak melalui proses yang disebut *budding*. Terdapat dua proses *budding* yaitu *intra tentacular* dimana polip akan terbagi menjadi dua atau lebih polip dan *extratentacular* dimana polip baru terbentuk dari sisi polip pertama. Umumnya ribuan polip yang terbentuk saling berhubungan (*interconnected*) dalam satu koloni. Tumbuh di luar koralit terdapat *costae*. Pada beberapa karang terdapat bagian yang muncul seperti tiang pada dasar *septa* yang disebut *paliform lobe* dan di bagian tengah koralit terdapat *columella*. Koralit digabungkan secara horizontal oleh *coenosteum*. Koralit dan polip pada terumbu karang dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Posisi koralit pada terumbu karang
(samnoblemuseum.ou.edu)



Gambar 8. Bentuk dan posisi polip terumbu karang (*dkfindout.com*)

Bentuk dari koralit tergantung dari model pertumbuhannya, bila koralit membentuk dinding sendiri yang pendek disebut *plocoid* atau yang lebih panjang disebut *phaceloid*. Bila koralit membentuk dinding bersama disebut *ceroid*, bila membentuk dinding lembah sendiri disebut *meandroid* dan bila membentuk dinding lembah bersama disebut *flabello-meandroid*. Bentuk dari jenis koralit pada terumbu karang dapat dilihat gambar di Lampiran 3.

Keanekaragaman, penyebaran, dan pertumbuhan hermatifik karang tergantung pada lingkungannya. Kondisi ini pada kenyataannya tidak selalu tetap, akan tetapi seringkali berubah karena adanya gangguan, baik yang berasal dari alam atau aktivitas manusia. Gangguan dapat berupa faktor fisika, kimia, maupun biologis. Pada umumnya terumbu karang ditemukan pada perairan dengan suhu 18-36°C, Pada daerah tropis suhu rata-rata tahunan untuk perkembangan optimal terumbu karang adalah 25-30°C, sedangkan salinitas air laut yang normal untuk kehidupan karang hermatifik adalah 32-350/00.

Padatan tersuspensi (kekeruhan) berhubungan dengan kecerahan perairan. Thamrin menyatakan bahwa padatan tersuspensi mempengaruhi sepanjang siklus hidup hewan karang. Sedimen berpengaruh terhadap pertumbuhan binatang karang baik secara langsung maupun tidak langsung. Pengaruh langsung sedimen adalah dengan menutupi polip karang sehingga menyebabkan kematian pada karang. Sedangkan pengaruh tidak langsung yaitu menghalangi penetrasi cahaya sehingga mengganggu fotosintesis.

Selain itu, sedimen yang tinggi memaksa karang untuk mengeluarkan energi lebih guna menghalau sedimen tersebut yang mengakibatkan turunnya laju pertumbuhan karang. Tingkat kekeruhan yang normal bagi terumbu karang berkisar antara 0-10 mg/liter. Gelombang yang cukup kuat akan menghalangi pengendapan sedimen pada koloni karang. Karang sendiri memiliki kemampuan dalam membersihkan permukaan tubuhnya (koloninya) dari sedimen, 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.

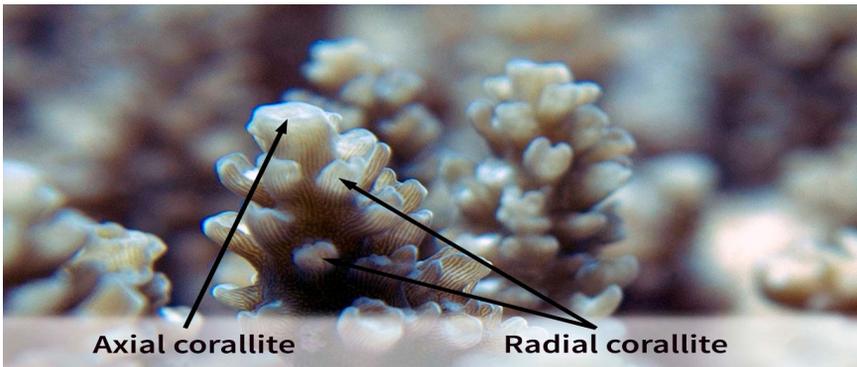
Amonium tidak bersifat toksik (*innocuous*) namun pada suasana alkalis (Ph tinggi) lebih banyak ditemukan amonia yang tak terionisasi (*unionized*) dan bersifat toksik. Karang biasanya hidup pada perairan dengan nutrien anorganik yang rendah. Nutrien yang tinggi di perairan dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman dan alga pada perairan tersebut juga meningkat. Biomassa makroalga yang besar dapat menutupi karang sehingga memiliki efek seperti halnya penutupan karang oleh partikel sedimen yang besar.

1.3 Pertumbuhan dan Bentuk Koloni Karang

Laju pertumbuhan pada tiap koloni karang bisa berbeda satu dengan yang lainnya tergantung kepada spesies, umur koloni, dan lokasi terumbu tersebut. Namun, koloni yang muda dan kecil cenderung tumbuh lebih cepat daripada koloni yang lebih tua, koloni yang besar dan bercabang. karang dengan bentuk submasif dan massif biasanya menampilkan pertumbuhan lebih lambat tapi lebih baik dalam bertahan hidup. Sedangkan spesies dengan bentuk percabangan yang halus dan foliose memiliki tingkat pertumbuhan yang lebih tinggi namun buruk dalam bertahan hidup. Lokasi karang juga mempengaruhi bentuk pertumbuhan dari spesies karang. Spesies karang yang terdapat di tempat yang lebih dalam memiliki bentuk yang lebih tipis dan kurus, hal ini mungkin disebabkan oleh proses kalsifikasi yang kurang optimal. Arus menyebabkan bentuk cabang mempunyai penyesuaian arah tertentu sedangkan gerakan gelombang menyebabkan spesies bercabang mempunyai cabang yang lebih pendek dan tumpul.

Beberapa peneliti karang telah membagi karang batu berdasarkan bentuk pertumbuhannya menjadi dua yaitu karang *Acropora* dan non-*Acropora*. Pengelompokan ini berdasarkan kepada ada tidaknya koralit axial dan radial pada karang batu tersebut. Karang *Acropora* mempunyai axial dan radial koralit

sedangkan karang non-*Acropora* hanya mempunyai radial saja. axial dan radial pada terumbu karang dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Axial dan radial pada terumbu karang (*national-oceanographic.com*)

Selain itu, pengelompokan ini didasarkan pada jumlah kelompok karang *Acropora* yang umumnya merupakan salah satu kelompok karang yang sangat dominan pada suatu perairan. Genera karang *Acropora* umumnya memiliki bentuk morfologi koloni yang bercabang dan salah satu komponen utama pembangun terumbu karang. Pertumbuhan karang bercabang berlangsung lebih cepat pada bagian ujung cabang tanpa *zooxanthellae* dibandingkan dengan bagian basal. Karang *Acropora* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Terumbu karang jenis *Acropora* (*en.wikipedia.org*)

1.4 Ekologi Karang

Terumbu karang merupakan ekosistem yang terdapat khas di daerah tropis, mempunyai produktifitas yang sangat tinggi, dan juga keanekaragaman biota yang ada didalamnya. Banyak sekali jenis biota yang hidupnya berkaitan erat dengan terumbu karang, dimana semuanya terjalin dalam hubungan harmonis dalam satu ekosistem terumbu karang. Karang yang ada di dunia terbagi dua kelompok karang, yaitu karang hermatifik dan karang ahermatifik. Perbedaan kedua kelompok karang ini terletak pada kemampuan karang hermatifik dalam menghasilkan terumbu.

Faktor-faktor fisika-kimia yang diketahui dapat mempengaruhi kehidupan dan/atau laju pertumbuhan karang antara lain cahaya matahari, suhu, salinitas, Ph dan sedimen. Sedangkan faktor biologis, biasanya berupa predator atau pemangsanya. Penjabaran tentang faktor fisika-kimia dan biologi yang diketahui dapat mempengaruhi kehidupan dan/atau laju pertumbuhan karang dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini.

1.4.1 Suhu

Suhu adalah peubah yang berperan dalam mengendalikan distribusi horizontal dari terumbu karang. Temperatur 18°C yang terus menerus dalam periode waktu tertentu diidentifikasi sebagai temperatur minimum air laut yang secara fungsional, terumbu karang masih dapat bertahan hidup normal. Temperatur rendah sering tercatat di lingkungan terumbu karang, tapi dalam sebagian kasus hanya ditemukan adanya kematian parsial (dimana bagian koloni karang mati) atau meliputi terumbu karang yang secara geologis merupakan hasil peninggalan lampau atau secara primer terdiri dari runtunan yang tidak terkonsolidasi. Contoh kasus fluktuasi temperatur dalam jangka pendek di terumbu karang Teluk (Arab dan Parsia) diketahui sebagai temperatur minimum. Semua karang akan mati jika terbuka sampai dengan tidak normal oleh pengaruh temperatur rendah yang abnormal, juga organisme lainnya. Sangat sedikit *zooxanthellae* karang diketahui dapat mentolerir temperatur di bawah 11°C pada kondisi alamiah. *Oulastrea crispata* di Semenanjung Noto Laut Jepang dapat mentolerir temperatur pada kira-kira 0°C (tidak diketahui dalam periode waktunya) dan nampaknya *zooxanthellae* tetap tinggal.

Suhu mempengaruhi kecepatan metabolisme, reproduksi dan perombakan bentuk luar dari karang. Secara global, sebaran terumbu karang dunia dibatasi oleh permukaan laut yang isotherm pada suhu

20°C dan tidak ada terumbu karang yang berkembang di bawah suhu 18°C. Perkembangan terumbu karang yang optimal berada pada suhu rata-rata tahunan berkisar antara 23-25°C, dengan suhu maksimal yang masih dapat ditolerir 36-40°C. Suhu sangat mempengaruhi pertumbuhan karang, suhu yang mematikan terumbu karang bukan suhu yang ekstrim, namun lebih karena perbedaan perubahan suhu secara alami. Perubahan suhu secara mendadak sekitar 4-6°C dibawah atau diatas ambient level dapat mengurangi pertumbuhan karang bahkan mematikannya. Suhu permukaan mulai menurun pada bulan Mei sampai mencapai nilai minimumnya sebesar 26,7°C pada bulan Agustus. Suhu permukaan mulai naik pada bulan September dan mencapai maksimum sebesar 29°C pada bulan Desember. Pada waktu puncak musim barat (Januari), turun lagi sampai bulan Februari, kemudian naik lagi pada bulan Maret-Mei.

Tekanan suhu panas tidak seperti tekanan yang dialami oleh karang pada temperatur dingin, yakni bukan merupakan fenomena pembatasan dispersi karang dan juga tidak merupakan pengaruh batas-batas lintang. Secara prinsipil, pengaruh temperatur panas menyebabkan *breakdown* (kerusakan) simbiosis karang dengan zooxanthellae yang diekspresikan dalam bentuk keluarnya zooxanthellae dari jaringan sel karang atau yang lebih dikenal dengan istilah (*coral bleaching*) pemutihan karang. Kondisi dimana zooxanthellae telah pergi dari polip karang dan tidak bias saling bersimbiosis. Contoh terumbu karang yang mengalami *coral bleaching* dapat dilihat pada Gambar 11 di bawah ini.



Gambar 11. Contoh kasus coral bleaching (australiangeographic.com.au)

Data statistik dari beberapa contoh kasus yang pernah terjadi telah mengabaikan penjelasan tentang frekuensi dan lama waktu ditemuinya karang pada variasi temperatur, sehingga mereka secara konservatif menunjukkan bahwa setengah dari semua karang mentolerir temperatur 14°C, juga bahwa setengah dari spesies sisanya mentolerir temperatur 4°C kurang dari temperatur minimum yang tercatat di lingkungan terumbu karang di Jepang. Ini adalah fakta yang kuat yang menunjukkan bahwa pembangunan terumbu tidak dibatasi oleh toleransi karang pada temperatur rendah.

Penyebab kematian pada terumbu karang juga tidak hanya berkaitan dengan temperatur sebagai faktor pembatas distribusi karang. Kompetisi dengan makroalga, variasi aktivitas metabolik (khususnya kalsifikasi). Reproduksi adalah juga akibat temperatur yang secara potensial berperan sebagai pembatas. Dari hal tersebut, kompetisi dengan makroalga nampaknya menyebabkan karang mengalami invasi terutama di lokasi lintang tinggi di Indo Pasifik dan mungkin juga terjadi pada lokasi lainnya. Kesimpulan yang dapat diutarakan dari catatan data di Jepang bahwa: 22,5% dari total diversitas spesies karang dapat mentolerir temperatur minimum 10,4°C. 27% dari total diversitas spesies karang dapat mentolerir temperatur minimum 13,2°C. 40% dari total diversitas spesies karang dapat mentolerir temperatur minimum 14,1°C.

Pada Terumbu karang jenis *Siderastrea radians* diketahui tercatat hidup dan toleran pada temperatur 4,5° C. *Siderastrea radians*, juga dikenal sebagai karang bintang yang lebih rendah atau karang bintang yang hidup di air dangkal, adalah karang berbatu dalam keluarga *Siderastreidae*. Hewan ini biasa ditemukan di bagian dangkal Samudra Atlantik barat sebagai gundukan kecil atau padat. Bentuk *Siderastrea radians* dapat dilihat pada Gambar 12 di bawah ini.



Gambar 12. Bentuk *Siderastrea radians* ([flickr.com](#))

Sebagian besar informasi dari studi tentang toleransi pada temperatur rendah dilakukan di Selat Tanabe dan dekat Kushimoto Jepang Selatan, dimana species *Acropora*, *Porites*, *Echinophyllia*, *Hydnophora* dan *Leptastrea* mengalami tekanan secara fisiologis pada temperatur 9,4°C. Studi ini ketika dikombinasikan dengan peneliti lain tentang distribusi regional, memperlihatkan bahwa terdapat kawasan-kawasan tertentu yang mempunyai perbedaan toleransi spesies karang terhadap temperatur minimum dan bahwa kesuburan atau kekayaan spesies di kawasan marginal setidaknya tidaknya mendapat setengah tekanan toleransi fungsionalnya dari temperatur yang menerpanya.

Pada kisaran temperatur serupa juga ditemukan di Florida dan selatan Victoria Australia bahwa karang dengan jenis *Plesiastrea versipora* dan dua jenis *Coscinarea* dapat hidup dengan baik. Catatan tentang toleransi pada temperatur rendah, pada akhirnya bahwa karang dapat menyebar lebar baik dari segi taksonomi maupun secara geografis. Karang selalu mengalami kematian partial dan secara sekuensial akan mengalami pemulihan. Observasi yang relevan diperoleh bahwa sebagian besar peneliti mengemukakan bahwa kematian terbesar terjadi di perairan dangkal, dimana udara dingin terjadi. Bentuk terumbu karang jenis *Plesiastrea versipora* dapat dilihat pada Gambar 13 dibawah ini.



Gambar 13. Bentuk terumbu karang jenis *Plesiastrea versipora* (earth.com)

Pada saat hampir mati, sebagian besar pengaruh temperatur rendah pada karang adalah terhadap morfologinya. Beberapa species *Acropora* pada lintang ekstrim di Jepang berbentuk deretan bertingkat yang melebur tidak teratur dengan plates-nya (tempat lekatan yang mati). Pembatasan pertumbuhan ini nampaknya merupakan bagian dari kematian partial dan pemulihannya. Pemulihan jenis tersebut dapat cepat melebihi pemulihan akibat bahaya *Acanthaster*. Bentuk dari *Acanthaster* dapat dilihat pada Gambar 14 dibawah ini.



Gambar 14. Bentuk dari *Acanthaster* atau bintang laut (joelsartore.com)

Hubungan yang sama tepat antara rata-rata temperatur minimum air laut permukaan dan mortalitas dapat dilihat di wilayah Kushimoto di negara Jepang, dimana temperatur minimum rata-rata bulanan sekitar 15,3°C. *Acropora hyacinthus* sebagai species karang dominan di kawasan tersebut menderita meskipun tidak mengalami kematian saat temperatur menurun mencapai 13,7°C pada tahun 1980. Beberapa diantaranya mengalami pemutihan dan sebagian mati pada temperatur 13,4°C, kemudian kematian secara luas terjadi pada tahun 1984 saat temperatur mencapai 13,2°C. Dalam studi tersebut, temperatur kritis untuk bertahan hidup adalah 2°C di bawah rata-rata temperatur minimum bulanan. Kematian serupa akan dijumpai oleh species lain, dan studi juga memperlihatkan bahwa variasi kematian yang luas akan terjadi saat lamanya perubahan itu berlangsung. Bentuk dari *Acropora hyacinthus* dapat dilihat pada Gambar 15 dibawah ini.



Gambar 15. Bentuk dari *Acropora hyacinthus* (earth.com)

Di Tateyama (salah satu wilayah di Jepang dan lokasi karang paling utara di dunia) karang juga ada ditemukan, semua jenis kecuali *Alveopora japonica* yang tumbuh luar biasa, pertumbuhannya merata dalam bentuk *encrusting* dan beberapa (seperti *Blastomussa wellsi*) mempunyai perbedaan struktur corralite. Hal yang mirip terjadi pada karang yang hidup pada lintang tinggi di Australia juga mempunyai perbedaan morfologi serta struktur corralitenya, tetapi secara fisiologis tidak mengalami halangan atau tekanan dari faktor lingkungannya. Bentuk dari *Alveopora japonica* dan *Blastomussa wellsi* dapat dilihat pada Gambar 16 dan Gambar 17 dibawah ini.



Gambar 16. Bentuk dari *Alveopora japonica* (coral.aims.gov.au)



Gambar 17. Bentuk dari *Blastomussa wellsi*
(marinecompatibilityguide.com)

Jika riset tentang suhu yang mempengaruhi kehidupan terumbu karang dilakukan tanpa rujukan bentuk koloni di kawasan lintang rendah, maka morfologi yang dijumpai menunjukkan keberadaan spesies karang di lintang tinggi dan jika mirip morfologinya di amphitropikal diyakini sebagai perpindahan tempat dari distribusi karang tropis. Bagaimanapun, morfologi ini memperlihatkan eksistensi dari subspecies secara geografik, walau satu jenis adalah secara primer ditentukan oleh lingkungan dari pada perbedaan genetik.

Sampai saat ini masih sedikit data yang tersedia tentang laju pertumbuhan karang pada temperatur rendah yang ekstrim. Rata-rata pertumbuhan dari jenis *Acropora*, diukur di wilayah Kushimoto dan subtropis di wilayah Kuroshima masing-masing adalah 19 dan 99 mm/tahun. Suhu rendah merupakan determinan (penentu) primer, sedangkan cahaya merupakan determinan sekunder dari pertumbuhan dan kelangsungan hidup *Acropora Formosa* di Pulau-pulau Houtman Abrolhos barat. Secara nyata karang-karang di pulau-pulau ini nampaknya tumbuh dengan melimpah dan merupakan tingkat produksi karbonat yang relatif tinggi seperti di terumbu karang tropis. Bentuk dari *Acropora Formosa* dapat dilihat pada Gambar 18 dibawah ini.



Gambar 18. Bentuk dari *Acropora Formosa* (leonardosreef.com)

Suhu yang baik untuk pertumbuhan karang berkisar antara 25°C–29°C, batas minimum 16°C–17°C dan batas maksimum sekitar 36°C. Meskipun tekanan temperatur tinggi dapat terjadi di daerah terumbu karang lintang tinggi (seperti di Hawaii, di kepulauan Bermuda), namun hal itu cenderung terjadi dalam areal yang sempit di kawasan ekuator dan secara umum ini berkaitan dengan saat surut atau surut yang tidak normal. Pada skala biogeografi, tekanan temperatur panas selalu berkorelasi dengan fluktuasi cuaca harian yang mana *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) telah diketahui pengaruhnya yang sangat penting.

1.4.2 Cahaya

Kemampuan karang untuk membangun terumbu adalah dengan cara memanfaatkan energi dari cahaya matahari (fotosintesis). Hal ini menjadi kunci bagi eksistensi pandangan teori terumbu karang yang modern dan juga bisa jadi untuk semua terumbu karang dalam skala geologi. Cahaya (karena hanya bias didapat pada saat matahari muncul), bukan seperti temperatur (suhu) jelas sekali secara ekologis merupakan pembatas dari pada semua parameter fisika lingkungan, oleh sebab itu nampaknya menunjukkan bahwa cahaya dapat menyebabkan pembatasan secara fisik terhadap biogeografi secara horizontal.

Kepentingan cahaya, dari kajian biogeografi dan evolusi adalah terkait dengan evolusi dari proses simbiosis karang dengan alga simbiotiknya (*zooxanthellae*) yang berperan dalam pembangunan terumbu karang yang melampaui waktu evolusi itu sendiri. Terkait dengan hal tersebut dan dalam peran cahaya, hal ini sinergis dengan adanya sedimentasi lingkungan, dimana pengaruhnya akan dapat menyebabkan hilang atau tenggelamnya diversitas secara ekologis.

Secara faktual dapat dinyatakan bahwa cahaya dapat berubah dengan lintang dari variasi musiman terhadap panjang hari dan kisaran efek dari sudut jatuhnya cahaya terhadap karang dan simbiotiknya. Sebagaimana ketergantungannya dengan kedalaman. Kemungkinan pengaruh keberadaan cahaya terhadap distribusi karang pada berbagai kedalaman dan lintang mempunyai perbedaan kecil pada kecerahan perairan, temperatur, pertumbuhan musiman makroalga, kebutuhan cahaya yang spesifik dari *zooxanthellae* dan mekanisme fotoadaptasi (adaptasi terhadap cahaya).

Beberapa contoh kasus dapat dijadikan rujukan seperti di Izu Jepang (35° LU) dan Pulau Lord Howe (31,5° LS) serta Pulau-pulau Houtman Abrolhos (28,5° LS) karang secara reguler ditemukan pada perairan jernih kedalaman 30 m dan kadang juga ditemukan di kedalaman 40 m dimana suatu substrat horizontal yang sesuai tersedia. Ketersediaan cahaya nampaknya tidak membatasi karang pada kedalaman tersebut. Pada kenyataannya semua diakibatkan oleh efek keberadaan dari *zooxanthellae*.

Intesitas cahaya merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan karang. Semakin cerah suatu perairan, semakin baik pula pertumbuhan terumbu karang, hal ini berkaitan dengan proses fotosintesis yang dilakukan oleh *zooxanthellae*, dimana hasil fotosintesis tersebut digunakan sebagai salah satu sumber makanan karang.

Dapat pula diinformasikan bahwa *zooxanthellae* berubah dengan kedalaman secara signifikan pada *Montastrea annularis*. Oleh sebab itu dinyatakan bahwa kedalaman dan lintang membatasi distribusi *zooxanthellae*. Di tempat dalam dengan intensitas cahaya rendah tidak ditemukan terumbu karang. Kedalaman yang dalam berarti berkurangnya cahaya sehingga menyebabkan laju fotosintesis akan berkurang dan pada akhirnya kemampuan karang untuk membentuk kerangka juga akan berkurang dengan sendirinya. Bentuk dari *Montastrea annularis* dapat dilihat pada Gambar 19 dibawah ini.



Gambar 19. Bentuk dari *Montastrea annularis*
(coralpedia.bio.warwick.ac.uk)

1.4.3 Kecepatan arus

Arus merupakan salah satu faktor pendukung pertumbuhan karang. Kecepatan arus yang baik untuk pertumbuhan karang yaitu berkisar 0-0-17 m/det. Arus berfungsi untuk membawa makanan dan membersihkan karang dari sedimentasi, contoh karang yang terkena dampak sedimentasi dapat dilihat pada Gambar 20. Oleh sebab itu, Pertumbuhan karang pada daerah yang berarus cenderung lebih baik daripada perairan yang tenang.

Arus dapat memberikan pengaruh terhadap bentuk pertumbuhan karang. Terdapat kecenderungan bahwa semakin besar tekanan hidrodinamis seperti arus dan gelombang, bentuk karang lebih mengarah ke bentuk pertumbuhan *encrusting* (salah

satu bentuk pertumbuhan karang non acropora) Gambar terdapat pada Lampiran 1.



Gambar 20. Kondisi karang yang terkena dampak sedimentasi
(clarku.edu)

Pergerakan air juga sangat penting untuk transportasi unsur hara, larva dan bahan sedimen. Arus penting untuk pengelontaran untuk pencucian limbah dan untuk mempertahankan pola penggerusan dan penimbunan. Penggerusan air dapat memberikan oksigen yang cukup, oleh sebab itu pertumbuhan karang lebih baik pada daerah yang mengalami gelombang yang besar daripada daerah yang tenang dan terlindung.

Dari sekian banyak komponen limbah antara lain surfaktan, logam berat, bahan organik beracun dan bahan kimia, unsur hara nitrogen dan fosfor merupakan faktor yang paling menentukan kerusakan terumbu karang. Peningkatan konsentrasi unsur hara akan memacu produktivitas plankton dan alga bentik. Hal ini diindikasikan dengan peningkatan *chlorophyll-a* dan kekeruhan, pada akhirnya memacu populasi hewan *filter* dan *detritus feeder*. Pengaruh peningkatan populasi fitoplankton dan kekeruhan, komposisi alga bentik serta toksisitas fosfat secara bersamaan dapat menurunkan jumlah karang.

1.4.4 Salinitas

Salinitas mempengaruhi kehidupan hewan karang karena adanya tekanan osmosis pada jaringan hidup. Salinitas optimum bagi

kehidupan karang berkisar antara 30-330/00, oleh karena itu karang jarang ditemukan hidup pada muara-muara sungai besar, bercurah hujan tinggi atau perairan dengan kadar garam yang tinggi. Salinitas diketahui merupakan faktor pembatas kehidupan binatang karang. Salinitas air laut rata-rata di daerah tropis adalah sekitar 34-360/00. Salinitas yang baik untuk pertumbuhan karang yaitu berkisar 32-35 ppt.

Namun pengaruh salinitas terhadap kehidupan binatang karang sangat bervariasi tergantung pada kondisi perairan laut setempat dan atau pengaruh alam, seperti *run-off* (air yang mengalir masuk kelaut yang bersumber dari darat terutama dari gunung), badai, hujan, hingga kisaran salinitas bisa sampai 17,5-52,5‰. Bahkan sering salinitas dibawah minimum dan diatas maksimum tersebut karang masih bisa hidup, seperti tercatat di perairan Bandengan, Jepara Jawa Tengah salinitas nol permil (0‰) untuk beberapa jam pada waktu air surut yang menerima limpasan air sungai dan di laguna Turneffe atoll, British Honduras yang salinitas mencapai 70 ‰.

Salinitas merupakan salah satu faktor pembatas kehidupan hewan karang. Salinitas air laut rata-rata di daerah tropis adalah sekitar 35‰, dan binatang karang hidup subur pada kisaran salinitas sekitar 34-36‰. Namun pengaruh salinitas terhadap kehidupan binatang karang sangat bervariasi tergantung pada kondisi perairan laut setempat dan/atau pengaruh alam, seperti *run-off*, badai, hujan, sehingga kisaran salinitas bisa sampai 17.5-52.5 ‰. Kisaran normal salinitas air laut untuk perkembangan dan pertumbuhan terumbu karang secara optimal adalah 30-33 ‰.

1.4.5 Kecerahan

Syarat utama bagi karang untuk tumbuh dan berkembang secara aktif adalah keberadaan cahaya. Mengingat kebutuhan tersebut maka binatang karang (*reef corals*) umumnya tersebar di daerah tropis. Kecerahan suatu perairan sangat mempengaruhi kelangsungan hidup biota yang ada di dalamnya. Hasil pengamatan dilapangan menunjukkan nilai kecerahan sebesar 100%. Kondisi ini sangat menunjang untuk pertumbuhan terumbu karang karena intensitas cahaya matahari yang masuk mampu menembus hingga ke dasar perairan.

Karang hermatipik membutuhkan cahaya yang cukup untuk kegiatan fotosintesis dari alga yang berada dalam jaringannya. Dalamnya penetrasi cahaya yang menentukan jangkauan kedalaman

yang dapat dihuni oleh karang hermatipik. Berkaitan dengan pengaruh cahaya terhadap karang, maka faktor kedalaman juga membatasi kehidupan binatang karang. Pada perairan yang jernih penetrasi cahaya bisa sampai pada lapisan yang sangat dalam, namun secara umum karang tumbuh lebih baik pada kedalaman kurang dari 20m.

1.5 Asosiasi Karang Dengan *Zooxanthellae*

Kemampuan menghasilkan terumbu ini disebabkan oleh adanya sel-sel tumbuhan (fitoplankton) yang bersimbiosis di dalam jaringan karang hermatifik yang dinamakan *zooxanthellae*. Hasil samping dari aktivitas fotosintesis tersebut adalah berupa endapan kalsium karbonat, yang struktur dan bentuk bangunannya khas. Karena masih membutuhkan sinar matahari (proses fotosintesis) untuk dapat membentuk bangunan karang agar menghasilkan terumbu karang. Maka karang hermatifik penyebarannya hanya ditemukan di daerah tropis.

Zooxanthellae adalah alga dari kelompok Dinoflagellata yang bersimbiosis pada hewan, seperti karang, anemon, moluska dan lainnya. Sebagian besar *zooxanthella* berasal dari genus *Symbiodinium*. Jumlah *zooxanthellae* pada karang diperkirakan > 1 juta sel/cm² permukaan karang, ada yang mengatakan antara 1-5 juta sel/cm². Meski dapat hidup tidak terikat induk, sebagian besar *zooxanthellae* melakukan simbiosis.

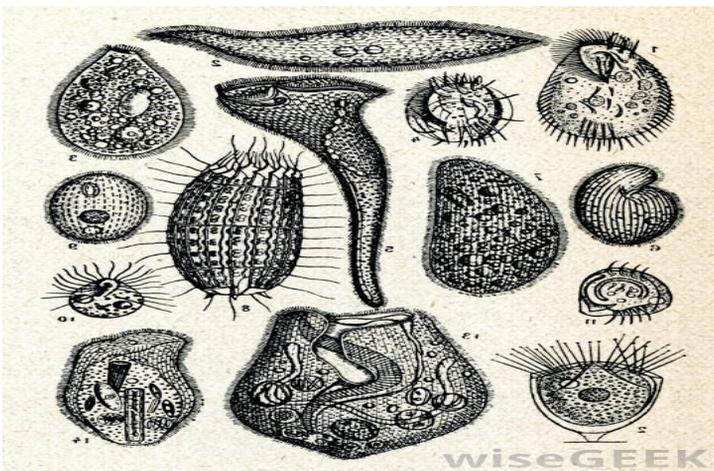
Dalam asosiasi ini, karang mendapatkan dua buah keuntungan yang berupa. Pertama adalah hasil fotosintesis, seperti gula, asam amino, dan oksigen, sedangkan yang kedua adalah mempercepat proses kalsifikasi melalui juga menerapkan dua buah skema yaitu, Pertama adalah fotosintesis akan menaikkan PH dan menyediakan ion karbonat lebih banyak, yang kedua adalah dengan pengambilan ion P untuk fotosintesis, berarti *zooxanthellae* telah menyingkirkan inhibitor kalsifikasi.

Bagi *zooxanthellae*, karang adalah habitat yang baik karena merupakan pensuplai terbesar zat anorganik untuk fotosintesis. Sebagai contoh Bytell menemukan bahwa untuk *zooxanthellae* dalam *Acropora palmata* suplai nitrogen anorganik, 70% didapat dari karang. Anorganik itu merupakan sisa metabolisme karang dan hanya sebagian kecil anorganik diambil dari perairan. Bentuk karang dari jenis *Acropora palmate* dapat dilihat pada Gambar 21 dibawah ini.



Gambar 21. Bentuk karang dari jenis *Acropora palmate* (scubadiving.com)

Faktor-faktor lingkungan mempunyai peranan terhadap *zooxanthellae* dan inangnya, yaitu binatang karang dalam hal pembatasan distribusi dan diversitasnya. *Zooxanthellae* ini merupakan sejenis mikroalga dari kelas Dinoflagellata unisular, seperti *Gymnodinium microadriatum* yang bersimbiosis dengan hewan karang, yaitu hidup menempel pada polip karang. Untuk itu, pembahasan mengenai faktor lingkungan ini dipersamakan karena keduanya bersifat sinergis yang artinya pembatasan dan triger keduanya baik untuk pertumbuhan, makan dan sintasannya adalah sama. Beberapa contoh bentuk Dinoflagellata dapat dilihat pada Gambar 22 dibawah ini.



Gambar 22. Beberapa contoh bentuk *Dinoflagellata* (wisegeek.com)

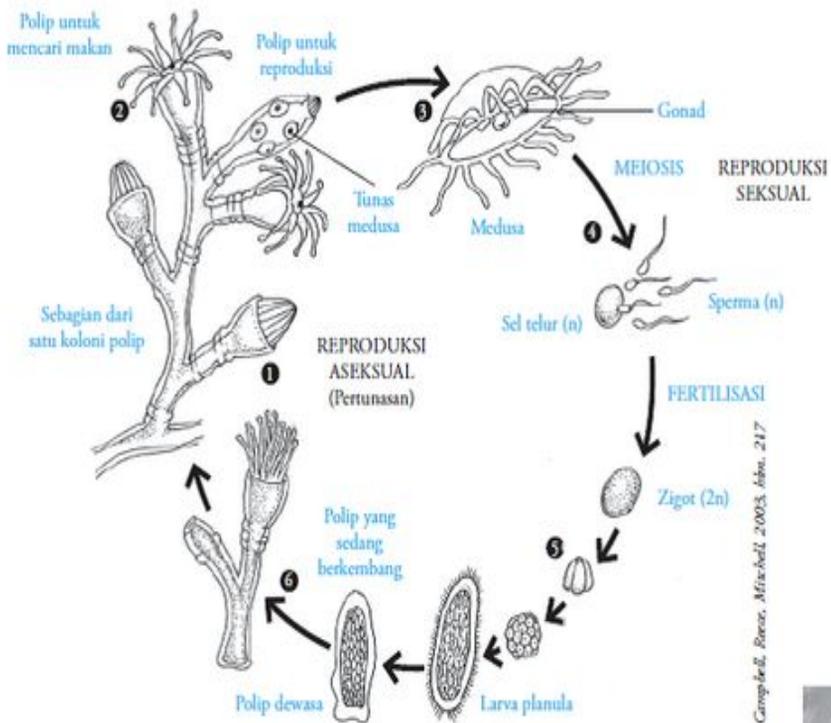
Pada perairan dangkal, *zooxanthellae* lebih menampakkan warna coklat, hijau dan kuning yang terang. Warna-warna ini akan memudar seiring dengan tingkat kedalaman dan berkurangnya resultan cahaya. Beberapa warna terang lainnya juga terdapat di perairan yang dangkal seperti warna merah, pink dan biru yang terang. Warna-warna yang terang biasanya terdapat pada daerah yang memiliki karang baru atau karang dengan cabang-cabang yang baru tumbuh.

Hal ini berarti bahwa distribusi karang yang saat ini terinformasikan berdasarkan telaah dari berbagai aspek yang dikemukakan oleh Veron (1995) semakin menguatkan teori akan sifat sinergisme antar kedua biota tersebut. Atas dasar hal tersebut, saat ini para ilmuwan mempercayai bahwa eksistensi *zooxanthellae* dapat menerangkan diversitas genetik dari distribusi karang. Terdapat beberapa dampak perubahan lingkungan terhadap ekosistem terumbu karang.

Bagaimana *zooxanthellae* dapat berada dalam karang, terjadi melalui beberapa mekanisme terkait dengan reproduksi karang. Dari reproduksi secara seksual, karang akan mendapatkan *zooxanthellae* langsung dari induk atau secara tidak langsung dari lingkungan. Sementara dalam reproduksi aseksual, *zooxanthellae* akan langsung dipindahkan ke koloni baru atau ikut bersama potongan koloni karang yang lepas. Mekanisme reproduksi lebih lanjut dijelaskan pada bagian selanjutnya.

1.6 Reproduksi dan Pertumbuhan Karang

Seperti hewan tingkat rendah lainnya, karang memiliki kemampuan reproduksi secara aseksual dan seksual. Reproduksi aseksual adalah reproduksi yang tidak melibatkan peleburan gamet jantan (sperma) dan gamet betina (ovum). Pada reproduksi ini, polip/koloni karang membentuk polip/koloni baru melalui pemisahan potongan-potongan tubuh atau rangka. Ada pertumbuhan koloni dan ada pembentukan koloni baru. Skema reproduksi karang secara aseksual dapat dilihat pada Gambar 23 dibawah ini.



Gambar 23. Skema reproduksi karang secara aseksual (biosains.co)

Proses reproduksi karang secara seksual dimulai saat *spermatogonium* dan *oogonium* berkembang menjadi gamet. Selanjutnya gamet yang sudah masak dilepas di dalam air, terjadi pembuahan internal atau eksternal menjadi zigot. Zigot berkembang menjadi blastula, kemudian menjadi gastrula dan setelah itu menjadi planula. Planula yang diselubungi oleh silium akan berenang bebas. Apabila menemukan tempat yang cocok, planula akan menempel dan menetap dengan posisi bagian mulut berada di sebelah atas, sedangkan bagian pangkalnya mengeluarkan zat untuk memperkuat penempelannya, setelah karang melekat pada substrat maka ia akan mengalami perubahan struktur dan histologi. Agar lebih jelas dalam memahami mekanisme reproduksi aseksual, dapat melihat penjelasan melalui tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Mekanisme reproduksi aseksual pada terumbu karang.

ASEKSUAL	Dalam membahas reproduksi aseksual, perlu dipisahkan antara pertumbuhan koloni dengan pembentukan koloni baru	
Pertunasan	Terdiri dari: <ul style="list-style-type: none"> ❖ Intratentakular yaitu satu polip membelah menjadi 2 polip; jadi polip baru tumbuh dari polip lama ❖ Ekstratentakular yaitu polip baru tumbuh di antara polip-polip lain 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Jika polip dan jaringan baru <u>tetap melekat</u> pada koloni induk, ini disebut pertambahan ukuran koloni. ❖ jika polip atau tunas <u>lepas dari</u> koloni induk dan membentuk koloni baru, ini baru disebut reproduksi aseksual
Fragmentasi	Koloni baru terbentuk oleh patahan karang. Terjadi terutama pada karang bercabang, karena cabang 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 saja menempel kembali di dasaran dan membentuk tunas serta koloni baru.	Hal itu hanya dapat terjadi jika patahan karang masih memiliki jaringan hidup
<i>Polip bailout</i>	Polip baru terbentuk karena tumbuhnya jaringan yang keluar dari karang mati. Pada karang yang mati, kadang kala jaringan-jaringan yang masih hidup dapat meninggalkan skeletannya untuk kemudian terbawa air. Jika kemudian menemukan dasaran yang sesuai, jaringan tersebut akan melekat dan tumbuh menjadi koloni baru	
Partenogenesis	Larva tumbuh dari telur yang tidak mengalami fertilisasi	

Sedangkan Reproduksi seksual adalah reproduksi yang melibatkan peleburan sperma dan ovum (fertilisasi). Sifat reproduksi ini lebih kompleks karena selain terjadi fertilisasi, juga melalui sejumlah tahap lanjutan (pembentukan larva, penempelan baru kemudian pertumbuhan dan pematangan). Adanya beberapa perbedaan mekanisme dalam proses reproduksi aseksual dan seksual, yang akan dibahas pada penjelasan dibawah ini. Karang memiliki mekanisme reproduksi seksual yang beragam yang didasari oleh penghasil gamet dan fertilisasi, keragaman itu meliputi:

- A. Berdasar individu penghasil gamet, karang dapat dikategorikan bersifat:
 1. *Gonokoris* yaitu, dalam satu jenis (spesies), telur dan sperma dihasilkan oleh individu yang berbeda, jadi ada karang jantan dan karang betina. Contoh: dijumpai pada genus *Porites* dan *Galaxea*

2. *Hermafrodit* yaitu apabila telur dan sperma dihasilkan dalam satu polip. Karang yang hermafrodit juga kerap kali memiliki waktu kematangan seksual yang berbeda, yakni yang pertama adalah *Hermafrodit yang simultan* atau menghasilkan telur dan sperma pada waktu bersamaan dalam kesatuan sperma dan telur (*egg-sperm packets*). Meski dalam satu paket, telur baru akan dibuahi 10-40 menit kemudian yaitu setelah telur dan sperma berpisah. Contoh: jenis dari kelompok Acroporidae, faviadae

Sedangkan yang kedua adalah *Hermafrodit yang berurutan*, ada dua kemungkinan yaitu yang pertama individu karang tersebut berfungsi sebagai jantan baru, menghasilkan sperma untuk kemudian menjadi betina (protandri), atau yang kedua adalah jadi betina dulu, menghasilkan telur setelah itu menjadi jantan (protogini) Contoh: *Stylophora pistillata* dan *Goniastrea favulus* Meski dijumpai kedua tipe di atas, sebagian besar karang bersifat gonokoris. Bentuk dari karang *Stylophora pistillata* dan *Goniastrea favulus* dapat di lihat pada Gambar 24 dan Gambar 25. dibawah ini.



Gambar 24. Karang *Stylophora pistillata*
(tropicseanomad.wordpress.com)



Gambar 25. Karang *Goniastrea favulus* (biolib.cz)

B. Berdasar mekanisme pertemuan telur dan sperma

1. *Brooding*/planulator

Telur dan sperma yang dihasilkan, tidak dilepaskan ke kolom air sehingga fertilisasi secara internal. Zigot berkembang menjadi larva planula di dalam polip, untuk kemudian planula dilepaskan ke air. Planula ini langsung memiliki kemampuan untuk melekat di dasar perairan untuk melanjutkan proses pertumbuhan. Contoh: *Pocillopora damicornis* dan *Stylophora*. Bentuk dari karang jenis *Pocillopora damicornis* dan *Stylophora* dapat dilihat pada Gambar 26 di bawah ini.

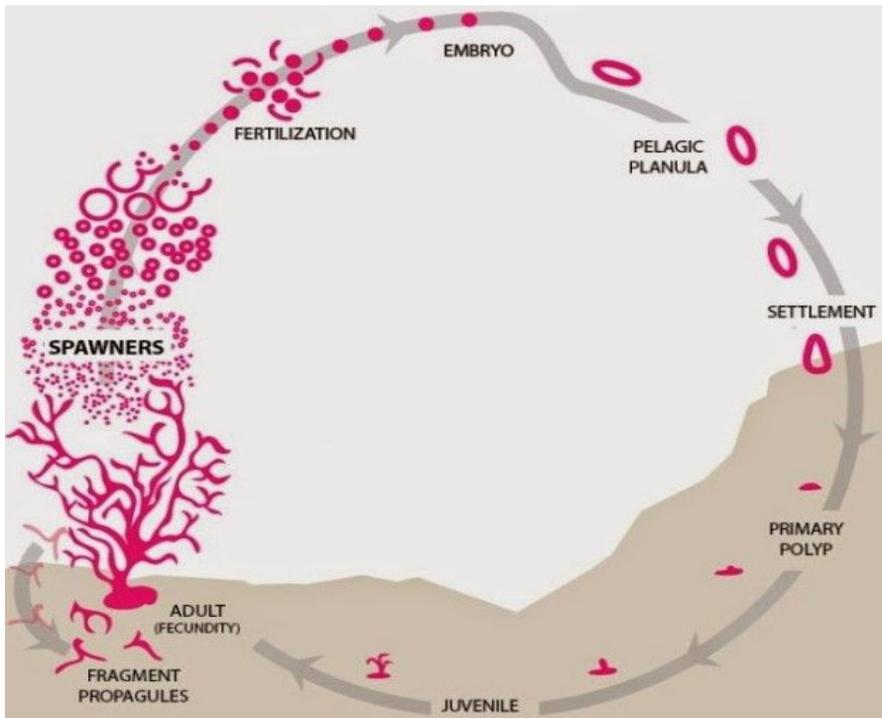


Gambar 26. Karang *Pocillopora damicornis* (wikipedia)

2. *Spawning*

Melepas telur dan sperma ke air sehingga fertilisasi secara eksternal. Pada tipe ini pembuahan telur terjadi setelah beberapa jam berada di air. Contoh: pada genus *Favia*. Dari sebagian besar jenis karang yang telah dipelajari oleh para ahli proses reproduksinya, 85% di antaranya menunjukkan mekanisme *spawning*. Waktu pelepasan telur secara massal, berbeda waktu tergantung kondisi lingkungan, sebagai contoh: puncak *spawning* terjadi 7-10 hari setelah bulan purnama bulan Juli terjadi selama

beberapa bulan, yaitu Maret, April dan Mei). Skema reproduksi karang secara seksual dapat dilihat pada Gambar 27 dibawah ini.



Gambar 27. Siklus Reproduksi aseksual karang

Siklus reproduksi karang secara umum adalah sebagai berikut: Telur & spema dilepaskan ke kolom air, kemudian fertilisasi menjadi zigot terjadi di permukaan air, zygot berkembang menjadi larva planula yang kemudian mengikuti pergerakan air. Bila menemukan dasaran yang sesuai, maka planula akan menempel di dasar planula akan tumbuh menjadi polip terjadi kalsifikasi membentuk koloni karang. Namun karang soliter tidak akan membentuk koloni

Baik reproduksi secara seksual maupun secara aseksual dijalankan oleh karang tentunya untuk tujuan mempertahankan keberadaannya di alam. Keduanya memiliki kelebihan dan kekurangan sehingga kedua metode tersebut saling melengkapi. Berikut adalah perbandingan reproduksi aseksual dan seksual dipandang dari sisi ketahanan dan adaptasi terhadap lingkungan dijelaskan melalui keterangan Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Perbandingan reproduksi aseksual dan seksual

Aspek	Reproduksi aseksual	Reproduksi seksual
Waktu pembentukan anakan	Mwmbutuhkan waktu yang singkat	Membutuhkan waktu dan proses lebih panjang
Kemampuan adaptasi terhadap perubahan lingkungan	Lebih rendah (karena identik dengan induk/tidak ada variasi genetik)	Lebih tinggi (karena adanya variasi genetik)
Penyebaran	Terbatas (dekat dengan induk)	Bisa sangat jauh (puluhan atau ratusan meter dari induk)
Terekspos polutan	kemungkinan lebih kecil karena pembentukan anakan lebih cepat	memungkinkan terekspos polutan bila air terpolusi karena adanyajeda waktu antara pelepasan gamet dengan fertilisasi

1.7 Tahapan Pertumbuhan dan Akresi

Setelah proses reproduksi, tahapan berikutnya adalah Penempelan, lalu menjadi karang muda, kematangan seksual karang muda, pertumbuhan koloni dan terumbu, kalsifikasi, akresi, bioerosi dan Interaksi dengan organisme lain. Semua akan diulas satu persatu pada pembahasan dibawah ini.

1. Penempelan (*recruitment/settlement*)

Larva planula akan dapat melanjutkan ke tahap penempelan pada dasar perairan bila kondisi substrat mendukung seperti: Cukup kokoh, tidak ditumbuhi alga, arus cukup untuk adanya makanan, penetrasi cahaya cukup agar zooxantelae bias tumbuh, sedimentasi rendah.

2. Karang muda

Kemampuan karang muda untuk terus hidup memang sangat tergantung pada kondisi substrat, sebagai contoh: Karang akan tumbuh lebih baik di substrat yang padat, karang lebih mampu bertahan hidup bila posisi substrat vertikal daripada horizontal, karang akan tumbuh lebih cepat di tempat dangkal tapi yang lebih *survive* di perairan yang sedikit lebih dalam.

3. Kematangan seksual

Tingkat kematangan seksual pada terumbu karang dipengaruhi oleh berbagai hal diantaranya seperti:

- a. Perubahan kondisi lingkungan ke arah lebih buruk mengganggu proses kematangan seksual, beberapa contoh misalnya: pertama faktor sedimentasi mengakibatkan energi karang akan terkuras untuk membersihkan polip sehingga kematangan seksual terhambat. Kedua faktor Pestisida dari pertanian mengakibatkan menurunkan kemampuan melakukan

penempelan. Yang ketika karena faktor tumpahan minyak mengakibatkan mengecilkan ukuran gamet. Sedangkan yang keempat karena faktor polusi oleh minyak mengakibatkan menghentikan proses pembentukan larva pada *brooding* (proses pengeraman) spesies.

- b. Pada *Goniastrea favulus*, jika ada luka dan perlu energi memperbaiki jaringan, maka kemampuan reproduksinya akan turun. c. Bentuk koloni ada tiga macam yaitu, yang pertama adalah karang yang bentuk koloninya besar seperti *Lobophyllia corymbosa*, ukuran polip akan berperan dalam kematangan seksual (lebih cepat). Yang kedua untuk jenis Karang cabang, seperti *Pocillopora* dan *Acropora* butuh 2-3 tahun untuk matang seksual dan yang ketiga dari jenis koloni *Massive* seperti *Porites* butuh 4-7 tahun. Bentuk dari karang *Lobophyllia corymbosa* dapat dilihat pada Gambar 28 dibawah ini.



Gambar 28. Bentuk dari karang *Lobophyllia corymbosa*
(korallenriffshop.de)

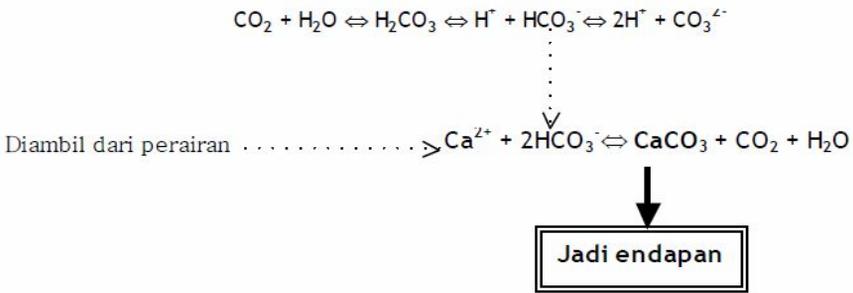
4. Pertumbuhan koloni dan terumbu

Pertumbuhan karang dipengaruhi oleh faktor abiotik dan biotik. Faktor abiotik dapat berupa intensitas cahaya, lama penyinaran, suhu, nutrisi, dan sedimentasi. Jumlah atau lama penyinaran adalah faktor yang sangat mempengaruhi pertumbuhan karang. Karang memiliki kemampuan hidup dalam perairan miskin nutrisi dan mampu beradaptasi terhadap kenaikan nutrisi yang bersifat periodik, seperti *run off*. Karang tidak dapat beradaptasi terhadap kenaikan nutrisi secara mendadak dalam jumlah besar. Faktor biotik meliputi predasi, kompetisi, agresi karang lain, dan lainnya.

5. Kalsifikasi

Kalsifikasi adalah proses yang menghasilkan kapur dan pembentukan rangka karang. Kapur dihasilkan dalam reaksi yang terjadi dalam ektodermis karang. Reaksi pembentukan deposit kapur, mensyaratkan tersedianya ion kalsium dan ion karbonat. Ion kalsium tersedia dalam perairan yang berasal dari pengikisan batuan di darat. Ion karbonat berasal dari pemecahan asam karbonat.

Kalsium karbonat yang terbentuk kemudian membentuk endapan menjadi rangka hewan karang. Sementara itu, karbondioksida akan diambil oleh *zooxanthellae* untuk fotosintesis. Pengambilan atau pemanfaatan karbon (CO₂) dalam jumlah yang sangat besar untuk keperluan kalsifikasi yang kemudian menghasilkan terumbu karang sebaran vertikal dan horisontal yang amat luas, menjadikan terumbu karang sebagai carbon sink. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada keterangan Gambar 29 dibawah ini.

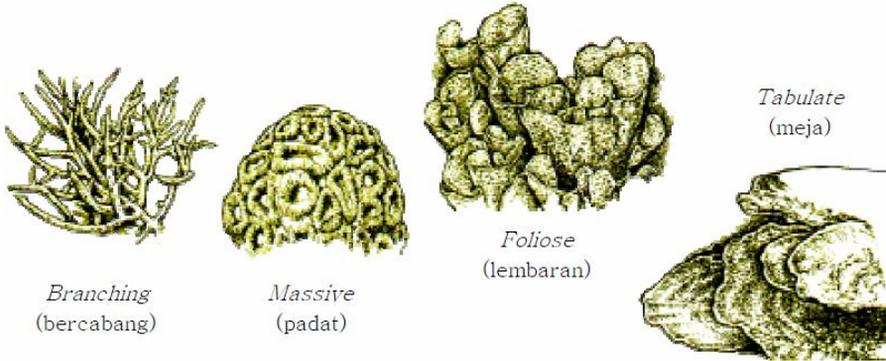


Gambar 29. Terumbu karang sebagai carbon sink

Kalsifikasi dipengaruhi oleh fotosintesis *zooxanthellae* dan hasilnya. Sebagai contoh, dua orang peneliti bernama Pearse dan Muscatine menggunakan senyawa radioaktif untuk menelusuri hasil fotosintesis pada terumbu karang. Hasilnya menunjukkan bahwa hasil fotosintesis banyak di ujung-ujung cabang. Hasil fotosintesis menunjang pertumbuhan cabang. Kenaikan nutrien akan menurunkan kalsifikasi karena terjadi peningkatan fosfat.

6. Akresi

Akresi adalah pertumbuhan koloni dan terumbu ke arah vertikal maupun horisontal. Karang melalui reproduksi aseksualnya menghasilkan karang-karang baru yang berhubungan satu dengan lainnya. Karang-karang tersebut membentuk koloni, yang kemudian tumbuh menjadi bentuk yang khas. Ragam bentuk pertumbuhan koloni tersebut dapat dilihat pada Gambar 30 dibawah ini :



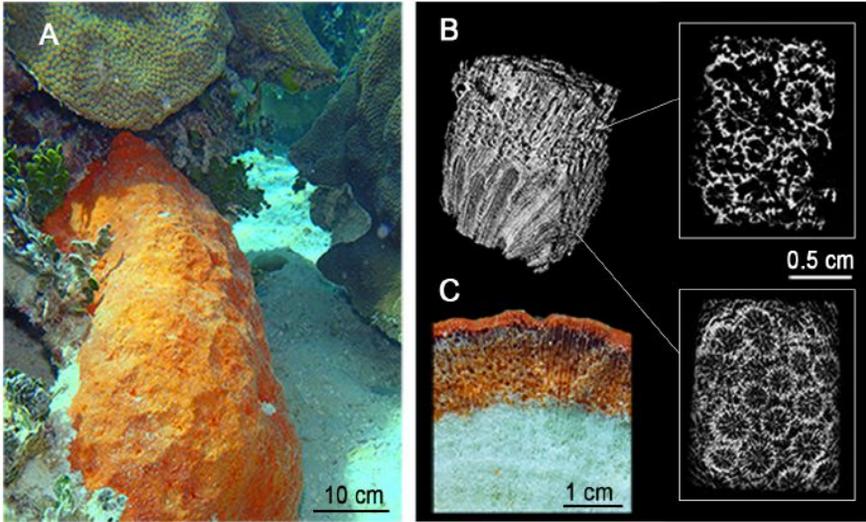
Gambar 30. Ragam bentuk pertumbuhan koloni karang

- a. 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 sepanjang tepi terumbu dan bagian atas lereng, terutama yang terlindungi atau setengah terbuka.
- b. Padat: Pertumbuhan koloni lebih dominan ke arah horisontal daripada vertikal. Karang ini memiliki permukaan yang halus dan padat, bentuk yang bervariasi, seperti setengah bola, bongkahan batu, dan lainnya; dengan ukuran yang juga beragam. Dengan pertumbuhan < 1 cm/tahun, koloni tergolong paling lambat tumbuh. Meski demikian, di alam banyak dijumpai karang ini dengan ukuran yang sangat besar. Umumnya ditemukan di sepanjang tepi terumbu karang dan bagian atas lereng terumbu.
- c. Lembaran: Pertumbuhan koloni terutama ke arah horisontal, dengan bentuk lembaran yang pipih. Umumnya terdapat di lereng terumbu dan daerah terlindung.
- d. Seperti meja: bentuk bercabang dengan arah mendatar dan rata seperti meja. Karang ini ditopang dengan batang yang berpusat atau bertumpu pada satu sisi membentuk sudut atau datar.

7. Bioerosi

Proses biologi yang bersifat merusak struktur terumbu karang umumnya disebut bioerosi (Gambar 31). Secara sederhana

mendefinisikan bioerosi sebagai penghilangan CaCO_3 dari terumbu atau dari koloni karang oleh proses-proses biologi. Organisme yang melalui aktivitasnya menyebabkan rangka kapur karang-karang pembentuk terumbu mengalami erosi dan melemah disebut *bioeroder*. Berdasar lokasi organisme itu berada dalam substrat kapur, *bioeroder* dapat dikelompokkan menjadi: Epilit (hidup di permukaan); kasmolit (dalam lubang dan celah); serta endolit (dalam rangka). Kelompok *bioeroder* tersebut mencakup:

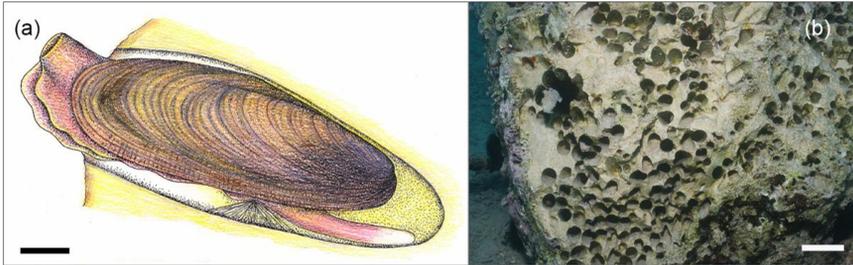


Gambar 31. Bioerosi pada terumbu karang (*researchgate.net*)

Microborer: alga, jamur dan bakteri yaitu, kelompok ini berperan sebagai pionir proses bioerosi, yang kemudian diikuti oleh *macroborer*. Erosi yang diakibatkan terjadi di permukaan maupun hingga ke bagian dalam rangka terumbu. Bakteri mampu mencerna matriks organik kapur dan menyebabkan bioerosi bagian dalam. Jamur dengan senyawa kimia yang dihasilkan dapat menggores permukaan karang, melunakkan, dan merusak kapur.

Macroborer: spon (Clionidae dan Spirastrellidae); gastropoda (*Lithophaga*); barnakel (*Lithotrya*); Sipunkulus; Polychaeta (Eunicidae) yaitu, Spon Clionid adalah pembor yang paling umum sekaligus endolit paling merusak terumbu karang di dunia. Contoh di Atlantik Barat, *Cliona carribaea* dapat sangat melimpah sehingga membentuk area coklat beberapa meter panjangnya yang mematikan karang. Clionidae, di Indonesia dikenal dua genus, *Cliona* dan *Cliothisa*. Bentuk dari perusak karang dari tipe gastropoda

(*Lithophaga*), barnakel (*Lithotrya*), Sipunkulus (*Eunicidae*) dan spon jenis *Cliona carribaea* dapat dilihat pada Gambar 32, Gambar 33, Gambar 34 dan Gambar 35 dibawah ini.



Gambar 32. Gastropoda (*Lithophaga*) (*nature.com*)



Gambar 33. Barnakel (*Lithotrya*) (*catalog.digitalarchives.tw*)



Gambar 34. Sipunkulus (*Eunicidae*) (*poppe-images.com*)



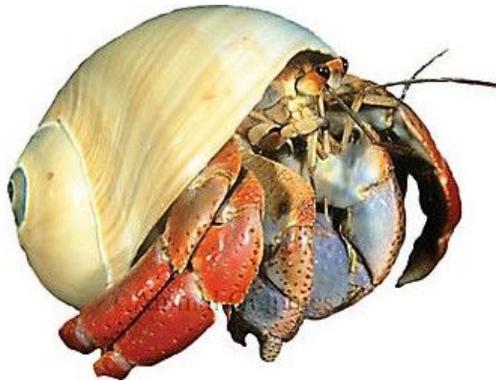
Gambar 35. Bentuk dari spon *Spirastrellidae* jenis *Cliona carribaea* (art.com)

Sementara *Spirastrellidae* dengan genus *Spirestrella* dan *Diplastrea*. Genus *Aka* adalah pembor yang umum, yang menghasilkan senyawa siphonodictine yang menghambat pertumbuhan polip karang. Contoh di Sulawesi Utara, *Aka* bahkan membentuk banyak “cerobong” hingga di atas permukaan *Porites lobata*. Sedangkan *Lithopaga* membuat lubang dan terowongan pada beberapa karang massive seperti *Porites*, *Favia*, *Favites*, dan *Goniastrea*. Organisme ini member atau melubangi karang hidup maupun mati dengan menghasilkan asam untuk melunakkan kapur dan menetap di dalam karang. Hewan ini membor dengan kedalaman 1-10 cm. Di Pasifik Timur kepadatannya antara 500-10.000 individu/m², Genus ini juga umum di Indonesia.

Sedangkan tipe pengerogot atau yang lebih dikenal dengan istilah *Grazer* dapat diberikan contoh sebagai berikut: Scaridae (ikan kakatua); Ketam kelapa (hermit crab); limpet (*Acmaea*); bulu babi (*Diadema*); moluska jenis kanikil atau yang lebih dikenal dengan *Chiton*. Bentuk dari perusak karang dari tipe *grazer* seperti Scaridae (ikan kakatua), Ketam kelapa (hermit crab), limpet (*Acmaea*) dan moluska (*Chiton*). dapat dilihat pada Gambar 36, Gambar 37, Gambar 38 dan Gambar 39 dibawah ini.



Gambar 36. Ikan kakatua (scaridae) (thesea.org)



Gambar 37. Ketam kelapa (hermit crab) (petsmart.com)



Gambar 38. Limpet (*Acmaea*) (calphotos.berkeley.edu)



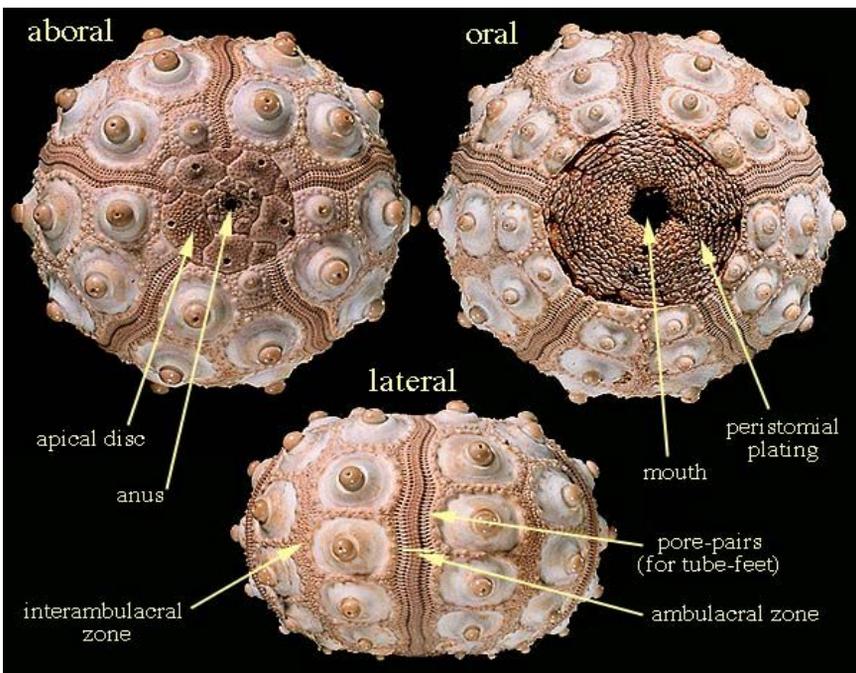
Gambar 39. Moluska (*Chiton*) (epod.usra.edu)

Dampak bioerosi ada dua kategori yaitu dampak sedang yaitu erosi atau perubahan yang diakibatkan tidak terlalu mempengaruhi keseluruhan rangka. Sedangkan dampak Besar adalah erosi dapat menyebabkan kematian karang dalam luasan yang besar. Di Pasifik Barat pernah terdapat kasus kematian terumbu akibat pemangsa *Acanthaster planci*, karang mengalami bioerosi dan sebagai akibat disebutkan kanopi dari *Acropora* menjadi rusak yaitu struktur 3 dimensinya hilang. Akibat lanjutan yang terjadi, microhabitat ikan juga hilang.

Contoh perubahan kondisi lingkungan yang mengarah pada bioerosi terumbu karang dan perubahan struktur terumbu karang. Perubahan dicontohkan disebabkan oleh beberapa aspek. ENSO dan bioerosi oleh echinoid (Gambar 40). Di Pasifik Timur (Kepulauan Galapagos) tahun 1982-1983 terjadi bencana El Nino yang mengakibatkan kematian karang dan penempelan karang baru juga rendah. Bioerosi dilakukan oleh echinoid sehingga karang patah-patah, menjadi potongan-potongan kecil (*rubble*) lalu sedimen. Berikut adalah rekam jejak ENSO di Panama dan Galapagos yang disajikan pada Tabel 3 dibawah ini:

Tabel 3. Rekam jejak ENSO di Panama dan Galapagos

		Panama	Galapagos
< ENSO	Produksi CaCO ₃	10 kg/m ² /tahun	
	Populasi echinoid	<i>Diadema</i> → 3 individu/m ²	<i>Eucidaris</i> → 5 individu/m ²
ENSO 1982-1983	Kematian karang	50-99 % & recruitment sangat rendah	
Setelah ENSO	Populasi echinoid	80 ind./m ²	30 ind./m ²
	Erosi CaCO ₃	10-30 gr berat kering/m ² /hari	50-100 gr berat kering/m ² /hari
		10-20 kg/m ² /tahun	20-40 kg/m ² /tahun



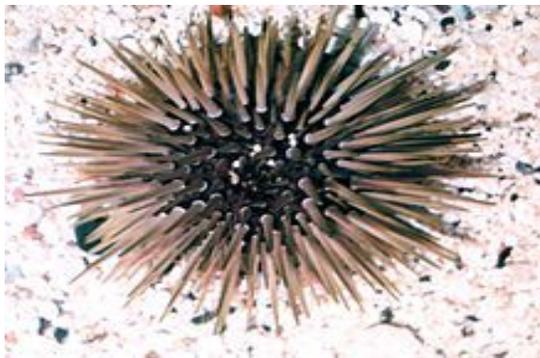
Gambar 40. *Echinoid* penyebab bioerosi karang di Galapagos (nhm.ac.uk)

Ledakan Populasi *Achantaster planci* di Kepulauan Iriomote, Jepang membawa dampak kematian karang dan bioerosi karang dan struktur terumbu. Sedangkan rekam jejak pengrusakan karang oleh *Achantaster planci* dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah ini:

Tabel 4. Rekam jejak pengrusakan karang oleh *Achantaster planci*

1981-1982	Akhir 1982	1984	1986
Ledakan populasi	Membunuh karang di area studi dengan kisaran sangat luas	Akibat erosi dan arus → kanopi (bagian atas) <i>Acropora</i> hancur	Erosi berlanjut hingga semua karang sudah patah-patah dan berubah menjadi rataan potongan karang.

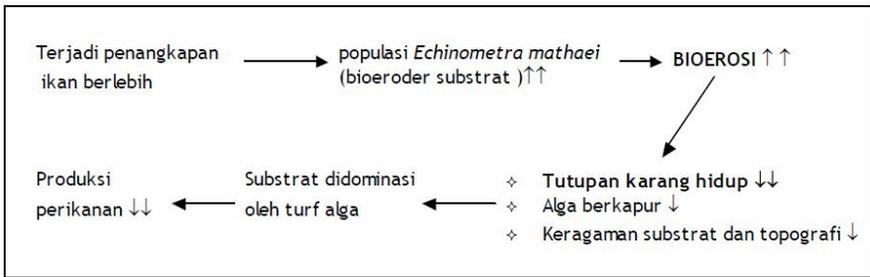
Penangkapan ikan berlebih terjadi di Karibia dan lepas pantai Kenyan, Samudra Hindia Kondisi umum: Populasi *Echinometra mathaei* (Gambar 41) dijaga oleh adanya predator, kelompok ikan *finfish* (Gambar 42). Penangkapan berlebih terhadap *finfish* menyebabkan populasi ikan predator berkurang, sebaliknya populasi *Echinometra mathaei* meningkat. Fenomena tersebut akhirnya memberi dampak turunan ke lingkungan, termasuk di dalamnya terumbu karang. Alur akibat yang ditimbulkan apabila terjadi penangkapan ikan berlebih dapat dilihat pada Gambar 43 di bawah ini.



Gambar 41. *Echinometra mathaei* (wikipedia)



Gambar 42. Ikan *finfish* (wikipedia)



Gambar 43. Akibat yang timbul apabila terjadi penangkapan berlebih ikan finfish

8. Interaksi dengan organisme lain

Organisme yang tinggal atau memiliki aktivitas di terumbu karang, memiliki interaksi baik antara spesies satu dengan spesies lain, bahkan dalam satu spesies. Asosiasi organisme berbeda spesies Simbiosis adalah hubungan antara dua organisme yang berbeda jenis. Hubungan itu dapat kategorikan dalam dua bentuk, yaitu mutualisme (saling menguntungkan) dan parasitisme (dengan satu pihak mendapat untung, sementara pihak lain mendapat kerugian), sebagai contoh: Hewan pembor karang dengan karang sebagai inang Interaksi dalam satu spesies.

Pemakan karang (Predasi) ada juga yang berasal dari kelompok hewan laut itu sendiri yaitu jenis ikan yaitu Ikan-ikan famili Chaetodontidae (kepe-kepe), Balistidae (*triggerfish*), Tetraodontidae (puffer= ikan buntal). Sedangkan hewan laut lainnya yang juga memakan terumbu karang adalah jenis bintang laut yang lebih di kenal dengan nama *Acanthaster planci* yang jumlah normal adalah 2-3 individu dalam beberapa ratus meter terumbu. Bentuk dari ikan kepe-kepe, ikan *triggerfish*, ikan buntal dapat dilihat pada Gambar 44, Gambar 45, dan Gambar 46.



Gambar 44. Ikan kepe-kepe *Chaetodontidae* (thesprucepets.com)



Gambar 45. Ikan *triggerfish* (Wikipwdia)



Gambar 46. Ikan buntal (<http://thenextpicture.blogspot.com>)

Beberapa kasus yang pernah terjadi di Guam, serangan hewan ini (*Acanthaster planci*) menyebabkan 90% terumbu karang sepanjang 38 km rusak dalam waktu 2,5 tahun. Di Great Barrier

Reef, terumbu seluas 8 km² rusak hanya dalam 12 bulan. Ledakan hewan ini terjadi karena predatornya, *Charonia tritonis*, diambil dan dijual sebagai hiasan serta *runoff* yang menyebabkan peningkatan nutrisi. Kompetitor karang (Kompetisi) juga mengganggu proses pertumbuhan karang yaitu perebutan substrat antara karang dengan alga, misalnya turf alga antar koloni karang, misalnya salah satu spesies dari genus *Galaxea* termasuk yang paling agresif. Bentuk dari *Charonia tritonis* dan turf alga *Galaxea* dapat dilihat pada Gambar 47 dan Gambar 48 dibawah ini.



Gambar 47. *Charonia tritonis* (pinterest.com)



Gambar 48. Turf alga *Galaxea* (commons.wikimedia.org)

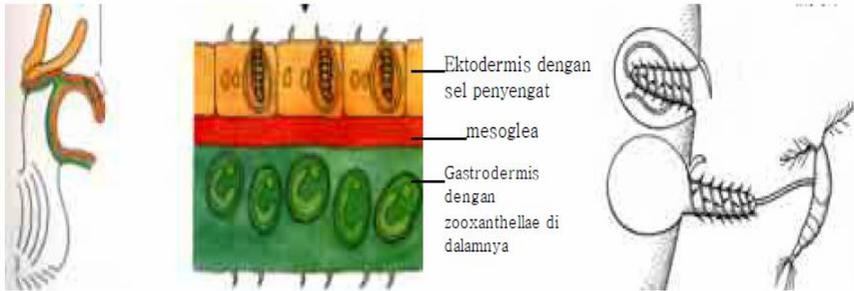
1.8 Cara Makan

Karang atau disebut polip memiliki bagian-bagian tubuh terdiri dari tiga bagian yaitu, pertama adalah mulut yang dikelilingi oleh tentakel yang berfungsi untuk menangkap mangsa dari perairan

serta sebagai alat pertahanan diri. Kemudian ada rongga tubuh (*coelenteron*) yang juga merupakan saluran pencernaan (*gastrovascular*). Yang terakhir adalah dua buah lapisan tubuh yaitu ektodermis dan endodermis yang lebih umum disebut gastrodermis karena berbatasan dengan saluran pencernaan. Di antara kedua lapisan terdapat jaringan pengikat tipis yang disebut mesoglea. Jaringan ini terdiri dari sel-sel, serta kolagen, dan mukopolisakarida. Pada sebagian besar karang, epidermis akan menghasilkan material guna membentuk rangka luar karang. Material tersebut berupa kalsium karbonat (kapur).

Karang memiliki dua cara untuk mendapatkan makan, yaitu Menangkap zooplankton yang melayang dalam air dan Menerima hasil fotosintesis zooxanthellae. Ada pendapat para ahli yang mengatakan bahwa hasil fotosintesis zooxanthellae yang dimanfaatkan oleh karang, jumlahnya cukup untuk memenuhi kebutuhan proses respirasi karang tersebut. Sebagian ahli lagi mengatakan sumber makanan karang 75-99% berasal dari zooxanthellae. Ada dua mekanisme bagaimana mangsa yang ditangkap karang dapat mencapai mulut, yang pertama mangsa ditangkap lalu tentakel membawa mangsa ke mulut, sedangkan yang kedua dengan cara mangsa ditangkap lalu terbawa ke mulut oleh gerakan silia di sepanjang tentakel.

Karang dapat menarik dan menjulurkan tentakelnya, tentakel tersebut aktif dijulurkan pada malam hari, saat karang mencari mangsa, sementara di siang hari tentakel ditarik masuk ke dalam rangka. Bagaimana karang dapat menangkap mangsanya? Berikut penjelasannya, bagian ektodermis tentakel terdapat sel penyengatnya (*knidoblas*), yang merupakan ciri khas semua hewan *Cnidaria*. *Knidoblas* dilengkapi alat penyengat (*nematocita*) beserta racun di dalamnya. 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. Proses menangkap makanan pada terumbu karang dapat dilihat pada Gambar 49 di bawah ini.



Gambar 49. Proses menangkap makanan pada terumbu karang

1.9 Zonasi dan Penyebaran

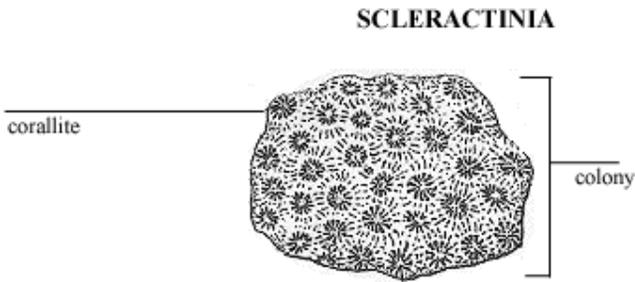
Regional Indo-Pasifik terbentang mulai dari Indonesia sampai ke Polinesia dan Australia lalu ke bagian barat ialah Samudera Pasifik sampai Afrika Timur. Regional ini merupakan bentangan terumbu karang yang terbesar dan terkaya dalam hal jumlah spesies karang, ikan, dan moluska. Berdasarkan bentuk dan hubungan perbatasan tumbuhnya terumbu karang dengan daratan (*land masses*) terdapat tiga klasifikasi terumbu karang atau yang sampai sekarang masih secara luas dipergunakan.

Terumbu atau Reef

Endapan masif batu kapur (*limestone*), terutama kalsium karbonat (CaCO_3), yang utamanya dihasilkan oleh hewan karang dan biota-biota lain yang mensekresi kapur, seperti alga berkapur dan Mollusca. Konstruksi batu kapur biogenis yang menjadi struktur dasar suatu ekosistem pesisir. Dalam dunia navigasi laut, terumbu adalah punggung laut yang terbentuk oleh batuan kapur (termasuk karang yang masih hidup) di laut dangkal.

Karang atau Coral

Disebut juga karang batu (stony coral), yaitu hewan dari Ordo *Scleractinia*, yang mampu mensekresi CaCO_3 . Karang adalah hewan klonal yang tersusun atas puluhan atau jutaan individu yang disebut polip. Contoh makhluk klonal yang akrab dengan kita adalah tebu atau bambu yang terdiri atas banyak ruas. Karang terdiri atas banyak polip seperti bambu terdiri atas banyak ruas tersebut. Bentuk karang *Scleractinia* dapat dilihat pada Gambar 50 di bawah ini.



Gambar 50. Bentuk karang Scleractinia
(hoopermuseum.earthsci.carleton.ca)

Karang terumbu

Pembangun utama struktur terumbu, biasanya disebut juga sebagai karang hermatipik (*hermatypic coral*) atau karang yang menghasilkan kapur. Karang terumbu berbeda dari karang lunak yang tidak menghasilkan kapur, berbeda dengan batu karang (*rock*) yang merupakan batu cadas atau batuan vulkanik.

Terumbu karang

Ekosistem di dasar laut tropis yang dibangun terutama oleh biota laut penghasil kapur (CaCO_3) khususnya jenis-jenis karang batu dan alga berkapur, bersama-sama dengan biota yang hidup di dasar lainnya seperti jenis-jenis *moluska*, *Krustasea*, *Echinodermata*, *Polikhaeta*, *Porifera*, dan *Tunikata* serta biota-biota lain yang hidup bebas di perairan sekitarnya, termasuk jenis-jenis Plankton dan jenis-jenis nekton.

Jenis-jenis terumbu karang

Koloni karang akan tumbuh terus tumbuh membentuk terumbu. Ada beberapa macam bentuk terumbu berdasar Teori Penenggelaman (*Subsidence Theory*), yaitu terumbu tepi, terumbu penghalang, dan atol. Masing-masing dapat dijelaskan secara singkat sebagai berikut:

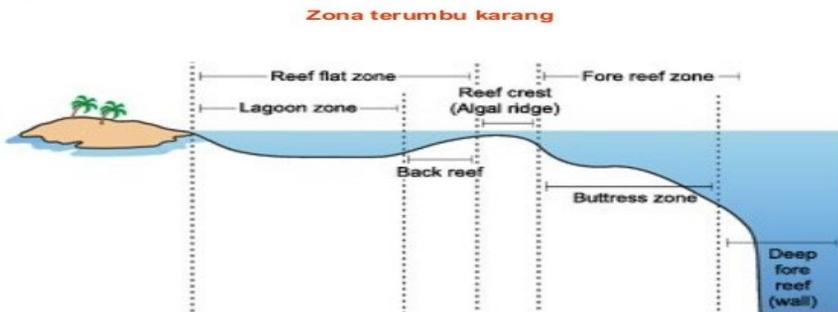
1. Terumbu karang tepi (*fringing reefs*)

Terumbu karang tepi (*Fringing Reef*), yaitu terumbu karang yang terdapat di sepanjang pantai dan dalamnya tidak lebih dari 40 meter. Terumbu ini tumbuh ke permukaan dan ke arah laut terbuka. Terumbu karang tepi atau karang penerus berkembang di mayoritas pesisir pantai dari pulau-pulau besar. Perkembangannya bisa mencapai kedalaman 40 meter dengan pertumbuhan ke atas dan ke

arah luar menuju laut lepas. Dalam proses perkembangannya, terumbu ini berbentuk melingkar yang ditandai dengan adanya bentukan ban atau bagian endapan karang mati yang mengelilingi pulau. Pada pantai yang curam, pertumbuhan terumbu jelas mengarah secara vertikal. Contoh: Bunaken (Sulawesi), Pulau Panaitan (Banten), Nusa Dua (Bali).

2. Terumbu karang penghalang (*barrier reefs*)

Terumbu karang ini terletak pada jarak yang relatif jauh dari pulau, sekitar 0.52 km ke arah laut lepas dengan dibatasi oleh perairan berkedalaman hingga 75 meter. Terkadang membentuk lagoon (kolom air) atau celah perairan yang lebarnya mencapai puluhan kilometer. Umumnya karang penghalang tumbuh di sekitar pulau sangat besar atau benua dan membentuk gugusan pulau karang yang terputus-putus. Contoh: Batuan Tengah (Bintan, Kepulauan Riau), Spermonde (Sulawesi Selatan), Kepulauan Banggai (Sulawesi Tengah). Bentuk terumbu berdasar Teori Penenggelaman dapat dilihat pada Gambar 51 di bawah ini.



Gambar 51. Bentuk terumbu berdasar Teori Penenggelaman (*Aprilia Novita Sari*)

3. Terumbu karang cincin (*atolls*)

Terumbu karang yang berbentuk cincin yang mengelilingi batas dari pulau-pulau vulkanik yang tenggelam sehingga tidak terdapat perbatasan dengan daratan. Dengan kata lain atol (*atolls*) merupakan karang berbentuk melingkar seperti cincin yang muncul dari perairan yang dalam, jauh dari daratan dan melingkari gobah yang memiliki terumbu gobah atau terumbu petak.

4. Terumbu karang datar/Gosong terumbu (*patch reefs*)

Gosong terumbu (*patch reefs*), terkadang disebut juga sebagai pulau datar (*flat island*). Terumbu ini tumbuh dari bawah ke atas

sampai ke permukaan dan, dalam kurun waktu geologis, membantu pembentukan pulau datar. Umumnya pulau ini akan berkembang secara horizontal atau vertikal dengan kedalaman relatif dangkal. Contoh: Kepulauan Seribu (DKI Jakarta), Kepulauan Ujung Batu (Aceh)

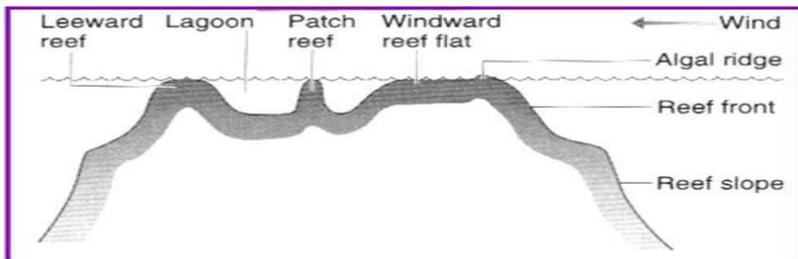
Zonasi terumbu karang

a. *Windward reef* (terumbu yang menghadap angin)

Windward merupakan sisi yang menghadap arah datangnya angin. Zona ini diawali oleh *reef slope* atau lereng terumbu yang menghadap ke arah laut lepas. Di *reef slope*, kehidupan karang melimpah pada kedalaman sekitar 50 meter dan umumnya didominasi oleh karang lunak. Namun, pada kedalaman sekitar 15 meter sering terdapat teras terumbu atau *reef front* yang memiliki kelimpahan karang keras yang cukup tinggi dan karang tumbuh dengan subur. Mengarah ke dataran pulau atau gosong terumbu (*patch reef*), di bagian atas *reef front* terdapat penutupan alga koralin yang cukup luas di punggung bukit terumbu tempat pengaruh gelombang yang kuat. Daerah ini disebut sebagai pematang alga atau *algal ridge*. Akhirnya zona *windward* diakhiri oleh rataan terumbu (*reef flat*) yang sangat dangkal.

b. *Leeward reef* (terumbu yang membelakangi angin)

Leeward merupakan sisi yang membelakangi arah datangnya angin. Zona ini umumnya memiliki hamparan terumbu karang yang lebih sempit daripada *windward reef* dan memiliki bentangan goba (lagoon) yang cukup lebar. Kedalaman goba biasanya kurang dari 50 meter, namun kondisinya kurang ideal untuk pertumbuhan karang karena kombinasi faktor gelombang dan sirkulasi air yang lemah serta sedimentasi yang lebih besar. Zonasi penyebaran terumbu karang dapat dilihat pada Gambar 52 di bawah ini.



Gambar 52. Zonasi penyebaran terumbu karang (Budyanto Napu)

1.10 Interaksi langsung dan tidak langsung

Fenomena meledaknya populasi *Echinometra mathaei* (contoh kasus). Pada Kondisi normal pada umumnya berada pada distribusi di Indopasifik (Afrika timur-Laut Merah-Hawai). Hewan ini lebih senang berada pada habitat lubang atau celah-celah dasaran *reef crest* di perairan dangkal sehingga memiliki perilaku bersembunyi dan cenderung menghindari kompetitor dan sumber makannya adalah alga *encrusting* dan yang menempel di sekitar lubang mereka. Sedangkan ketika terjadi ledakan populasi di Kenya: Populasi *E. mathei* meningkat 2-3 kali lipat normal menjadi 13 individu/m² Penyebabnya adalah Populasi predator hewan ini (ikan *Balistidae* dan *Wrasse*) menurun. Sayangnya tidak dijelaskan lebih lanjut penyebab penurunan populasi predator. Bentuk dari ikan *Wrasse* dapat dilihat pada Gambar 53 di bawah ini.



Gambar 53. Bentuk dari ikan *Wrasse* (wikipedia)

Akibat langsung kenaikan populasi tersebut: Biomassa alga naik sementara tutupan *turf alga* (komunitas beberapa spesies alga berbentuk filamen berukuran $\leq 10\text{mm}$) meningkat, mengakibatkan jumlah tutupan terumbu karang menurun, Bioerosi meningkat, Keragaman jenis benti menurun. Sedangkan akibat lanjutan yang ditimbulkan antara lain: Tutupan spon meningkat, Populasi ikan herbivor menurun, *Echinometra mathaei* jadi mampu berkompetisi dengan herbivor lain, mulai menghuni area terumbu karang yang terbuka, perilaku yang cenderung menghindari kompetitor berkurang, memakan alga tidak lagi hanya di sekitar lubang tetapi dengan cakupan yang meluas di area terumbu karang.

Mengambil contoh hampir serupa yaitu kasus bulu babi *Diadema antillarum*. Secara umum orang akan beranggapan kehadiran hewan ini hanya mengganggu, terutama bagi penyelam pemula atau orang-orang yang beraktivitas di sekitar pantai. Kehadirannya dianggap tidak ada kegunaan, hewan ini memiliki beberapa ciri-ciri yaitu: pertama herbivor pemakan *turf alga*, namun dalam kondisi tidak ada makanan, memangsa karang. Yang kedua di

siang hari hewan ini bersembunyi di lubang-lubang atau celah-celah karang, sementara aktif mencari makan di malam hari, sedangkan yang ketiga Predator hewan ini misalnya *Balistidae vetula* (ikan famili Balistidae) sebagai predator utama di kepulauan Virginia, kemudian Labridae, dan *Cassis tuberosa*. Bentuk dari hewan *Cassis tuberosa* dapat dilihat pada Gambar 54 di bawah ini.



Gambar 54. Bentuk dari hewan *Cassis tuberosa* (jaxshells.org)

Contoh kasus dampak kematian bulu babi terhadap ekosistem pada biomassa alga, terdapat di kepulauan St. Croix: Biomassa alga meningkat 27% dalam 5 hari setelah kematian bulu babi, kemudian meningkat pesat menjadi 400-500% dari kondisi awal, sedangkan Di Jamaica biomassa alga naik 31-50% dalam dua minggu, dan setelah setahun menjadi lebih dari 65%. Sedangkan pada komposisi alga, Sebelum kematian bulu babi: didominasi oleh *turf algae* dan *crustose algae* kemudian setelah kematian bulu babi didominasi oleh makro alga seperti *Sargassum* (salah satu spesies dari rumput laut) dan *Turbinaria turbinata*. Kondisi pada tutupan alga *crustose*, tutupan karang, dan gorgonian menurun drastis. Bentuk dari biota alga *crustose*, alga *Turbinaria turbinata* dan karang jenis *gorgonian* dapat dilihat pada Gambar 55, Gambar 56 dan Gambar 57 di bawah ini.



Gambar 55. Bentuk dari biota alga *crustose* (ocean.si.edu)



Gambar 56. Bentuk dari alga *Turbinaria turbinate* (wikipedia)



Gambar 57. Bentuk dari karang jenis *gorgonian* (realmonstrosities.com)

Meski bulu babi ini menghilang dari lokasi, ternyata kompetitornya yang sesama pemakan turf alga, tidak menunjukkan penambahan populasi yang berarti. Sebaliknya justru, populasi alga semakin meningkat. Peningkatan populasi kompetitor *Diadema* baru berarti setelah beberapa tahun dari kematian massal (tahun 1990-an). Bulu babi jenis *Diadema antillarum* juga berperan bagi terumbu

karang yaitu mengakibatkan kondisi apabila populasi jenis ini meningkat dapat berakibat kematian larva atau karang muda, Sedangkan Jika populasi turun (*absence grazing*). Karang akan ditumbuhi oleh alga yang berakibat kematian karang dewasa dan tidak adanya tempat bagi larva karang. Oleh sebab itu maka kehadiran populasi jenis ini penting bagi terumbu karang sebagai penyeimbang, kesetimbangan populasi *Diadema antillarum* akan menjaga kesetimbangan populasi alga dan karang. Bentuk dari *Diadema antillarum* dapat dilihat pada Gambar 58 di bawah ini.



Gambar 58. Bentuk dari *Diadema antillarum* (wikipedia)

Akibat yang ditimbulkan oleh kematian massal *Diadema antillarum* antara lain: Tutupan karang menurun drastis, Invertebrata yang biasanya menetap, kehadirannya juga menurun. Awalnya dari terumbu karang normal menjadi terumbu yang didominasi oleh alga. Di tahun 1995 dilakukan survei yang menemukan *Diadema antillarum* tapi sangat sedikit (pemulihan membutuhkan waktu > 10 tahun). Hilangnya induk menyebabkan jumlah larva juga sangat kurang. Meski mulai ada pemulihan *Diadema*, namun belum dapat diketahui apakah akan mengembalikan terumbu karang yang hilang.

*

BAB 2.

PEMANFAATAN SUMBERDAYA DAN SIMBIOSIS EKOLOGIS

Terumbu karang memiliki banyak manfaat baik bagi biota perairan maupun manusia. Berbagai biota perairan memanfaatkan terumbu karang sebagai daerah mencari makan, pengasuhan, perlindungan. Manusia memanfaatkan terumbu karang sebagai sumber protein, *fishing ground*, bahan bangunan, objek wisata, cinderamata dan obat-obatan. Terumbu karang menyediakan sumber pangan dan mata pencaharian bagi masyarakat pesisir. Potensi terumbu karang yang sangat besar tersebut disertai dengan tekanan antropogenik dan alami yang kemudian mempengaruhi kondisi terumbu karang.

Kawasan terumbu karang menjadi lahan bagi para nelayan untuk menangkap ikan. Sumberdaya ikan karang yang tergolong dalam ikan target merupakan hasil tangkapan utama nelayan. Perubahan ekosistem terumbu karang akan berdampak pada ketersediaan sumberdaya ikan. Kerusakan terumbu karang akibat kegiatan penangkapan yang tidak semestinya dapat mengurangi jumlah sumberdaya ikan yang ada.

Terumbu karang merupakan salah satu sumberdaya laut yang memiliki manfaat yang besar atau disebut jasa (*services*) bagi manusia dan lingkungan. Peran dan manfaat ekosistem terumbu karang ini terdiri dari manfaat ekonomi, ekologi maupun manfaat sosial budaya. Ekosistem terumbu karang merupakan ekosistem yang produktivitasnya tinggi ketiga setelah mangrove dan lamun dengan nilai produktivitas antara 1800-4200 gC/m²/tahun. Terumbu karang telah diidentifikasi memiliki nilai konservasi yang tinggi seperti hutan hujan karena keragaman biologis, secara estetika menarik, dan memiliki fungsi sebagai cadangan keanekaragaman genetik.

Terumbu karang Indonesia menempati peringkat teratas dunia untuk luas dan kekayaan jenisnya. Lebih dari 75.000 km² atau sebesar 14% dari luas total terumbu karang dunia. Berdasarkan luas total tersebut, terumbu karang di Indonesia telah banyak yang dimanfaatkan untuk berbagai kegiatan, salah satunya untuk kegiatan wisata bahari. Terumbu karang memiliki fungsi yang mendukung kehidupan dan mata pencaharian manusia sehingga penting secara

ekonomi. Nilai ekonomis sumberdaya terumbu karang sendiri berdasarkan perhitungan valuasi ekonomi dari kegiatan perikanan, perlindungan pantai serta pariwisata di Indonesia diperkirakan menghasilkan nilai sekitar \$1,6 miliar/tahun. Ditinjau dari aspek wisata bahari, Indonesia memiliki potensi ekonomi sebesar sekitar \$60 miliar/tahun dan dari 11 sektor kelautan lainnya yang perlu dipertimbangkan sebagai penyumbang kontribusi ekonomi nasional.

Seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang cukup pesat, tekanan terhadap wilayah pesisir dan laut Indonesia semakin besar, termasuk dalam pemanfaatan ekosistem terumbu karang sehingga menyebabkan sebagian dalam kondisi terancam. Problem dan isu lingkungan tersebut tidak jarang hanya berhenti pada tingkat identifikasi, sehingga sebagai input bagi kebijakan masih relatif kurang diperhitungkan. Rendahnya tingkat pengetahuan masyarakat terhadap pentingnya keberadaan terumbu karang dan kurangnya pengawasan pada kegiatan yang bersifat destruktif pada terumbu karang menyebabkan laju kerusakan terumbu karang semakin cepat. Mengingat pentingnya terumbu karang di negara-negara Pasifik Selatan, pada umumnya mereka terancam oleh berbagai tekanan negatif, penangkapan yang berlebihan, pembangunan pesisir, sedimentasi dan polusi dari pertanian dan logging, pariwisata, perubahan iklim dan pengasaman lautan. Oleh karena itu kita harus menjaga dan melestarikan sumberdaya terumbu karang agar tetap dapat diambil manfaatnya dimasa yang akan datang.

Terumbu karang banyak memberikan manfaat yang besar bagi kehidupan dan lingkungan biota yang hidup disekitarnya dan juga bagi kehidupan manusia. Berdasarkan manfaat yang diberikan, manfaat terumbu karang dibagi menjadi 3 kategori. Diantaranya adalah:

Terumbu Karang secara Ekologi

Manfaat terumbu karang secara ekologi dapat diartikan sebagai manfaat terumbu karang dalam hal hubungan timbal balik antara makhluk hidup dan lingkungannya. Manfaat-manfaat terumbu karang secara ekologi antara lain:

1. Terumbu karang bermanfaat sebagai habitat dan sumber makanan bagi berbagai jenis makhluk hidup di laut. Disini banyak berbagai jenis makhluk hidup yang tinggal, mencari makan, berlindung, dan berkembangbiak.
2. Terumbu karang merupakan sumber keanekaragaman hayati yang tinggi. Dengan tingginya keanekaragaman hayati yang ada

didalamnya, terumbu karang ini menjadi sumber keanekaragaman genetik dan spesies yang ditemukan memiliki ketahanan hidup yang lebih tinggi.

3. Terumbu karang dapat bermanfaat sebagai pelindung bagi ekosistem yang ada disekitarnya, misalnya pada ekosistem fungsi hutan bakau, dan juga melindungi pantai dan daerah pesisir dari ombak besar. Terumbu karang dapat memperkecil energi ombak yang menuju ke daratan yang dapat menyebabkan abrasi pantai dan kerusakan sekitarnya.
4. Terumbu karang dapat mengurangi penyebab pemanasan global yang terjadi dengan adanya proses kimia yang dilakukan oleh terumbu karang dan *zooxanthellae*. Proses kimia tersebut adalah proses perubahan gas CO₂ menjadi zat kapur yang merupakan bahan pembentuk terumbu.

Terumbu Karang secara Sosial

Secara sosial terumbu karang dapat dimanfaatkan sebagai penunjang kegiatan pendidikan dan penelitian agar ekosistem didalamnya dan disekitarnya, serta tumbuhan dan hewan laut yang ada dalam ekosistem terumbu karang tersebut dapat lebih dikenal sehingga mudah untuk dipelajari. Hal ini akan sangat bermanfaat sebagai pengetahuan agar tindakan pengelolaan dan pelestarian yang dilakukan terumbu karang lebih tepat sehingga kerusakan terumbu karang dapat diatasi dengan mudah. Selain itu, ekosistem wilayah terumbu karang juga dapat dimanfaatkan sebagai sarana rekreasi masyarakat, baik masyarakat lokal maupun masyarakat asing yang ingin melihat keindahan yang dihasilkan oleh ekosistem terumbu karang ini.

Terumbu Karang secara Ekonomi

Manfaat terumbu karang secara ekonomi antara lain yaitu terumbu karang merupakan sumber penghasil komoditi perikanan yang tinggi. Karena didalamnya hidup berbagai jenis ikan yang dapat ditangkap untuk kebutuhan pangan manusia. Selain itu, terumbu karang juga merupakan sumber obat-obatan. Karena dalam terumbu karang terdapat bahan-bahan kimia yang telah diteliti oleh banyak ahli dapat menghasilkan obat bagi manusia. Secara terperinci manfaat terumbu karang diantaranya adalah:

1. Sebagai sumber perikanan dan sumber obat
2. Karena keindahan yang dihasilkan oleh ekosistem terumbu karang, ekosistem ini dapat dijadikan objek wisata yang

menarik sehingga dapat meningkatkan pendapatan masyarakat yang tinggal disekitarnya.

3. Masyarakat sekitarpun dapat memanfaatkan biota yang hidup di terumbu karang, seperti rumput laut, udang, dan ikan untuk dijadikan sumber makanan yang nantinya dapat dijual sehingga menjadi sumber pendapatan bagi masyarakat.
4. Berbagai jenis ikan, teripang, dan rumput laut yang hidup di terumbu karang juga dapat dimanfaatkan sebagai bibit untuk budidaya.
5. Ornamental dan akuarium ikan laut, Ikan-ikan karang biasanya mempunyai warna sangat indah, disamping itu bentuknya sangat unik sehingga memberikan kesan tersendiri bagi para wisatawan. Ikan-ikan tersebut (termasuk organisme laut lainnya, seperti *sea anemon*, bintang laut, *tube worm*) banyak yang dijadikan ikan hias dalam aquarium. Keindahan warna dan keunikan bentuk-bentuk ikan tersebut, sehingga banyak diminati oleh para penggemar ikan hias dan menjadi bernilai tinggi. Banyak diantaranya merupakan komoditi ekspor. Bentuk ornamen dari terumbu karang dapat dilihat pada Gambar 59 di bawah ini.



Gambar 59. Bentuk ornamen dari terumbu karang (*crov.com*)

6. Penahan gelombang dan pelabuhan, secara alami keberadaan terumbu karang dapat melindungi pantai dari bahaya abrasi. Demikian pula *breakwater* alami ini juga berfungsi untuk melindungi *back reef* dari gelombang besar. Laguna atau goba di daera *back reef* bisa sangat dalam dan sangat jernih sehingga

terumbu karangnya bisa tumbuh sangat subur. Di samping itu karena bebas dari serangan badai atau ombak besar, laguna di daerah tersebut sering dimanfaatkan sebagai pelabuhan pendaratan perahu atau kapal.

Selain itu juga ada beberapa batasan sensitifitas terjadi pada ekosistem terumbu karang dan biota yang berasosiasi dengannya, yaitu:

1. Aliran air tawar yang berlebihan yang dapat menurunkan nilai salinitas perairan.
2. Beban sedimen dapat mengganggu biota yang mencari makan melalui proses penyaringan (*filter feeder*).
3. Suhu ekstrim, yaitu suhu di luar batas suhu toleransi terumbu karang.
4. Polusi seperti biosida dari aktivitas pertanian yang masuk ke perairan lokal.
5. Kerusakan terumbu, seperti yang disebabkan oleh badai siklon dan jangkar perahu.
6. Beban nurtien yang berlebihan yang menyebabkan berkembangnya alga secara berlebihan sehingga dapat menutupi dan membunuh mikroorganisme karang atau timbulnya *blooming* dari fitoplankton yang dapat menghalangi penetrasi sinar matahari sehingga tingkat fotosintesis dari karang tidak dapat berlangsung.

2.1 Kelimpahan Ikan Karang

Ikan karang merupakan jenis ikan yang habitat umumnya pada karang hidup. Keberadaan ikan karang sangat dipengaruhi oleh kondisi kesehatan terumbu karang yang ditunjukkan dengan persentase karang hidup. Terumbu karang yang sehat merupakan indikator kelimpahan ikan karang. Berdasarkan penyebaran hariannya, ikan-ikan karang dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu ikan yang aktif pada siang hari (*diurnal*) dan ikan yang aktif pada malam hari (*nocturnal*).

Pada umumnya populasi ikan karang lebih di dominasi oleh ikan nokturnal (aktif di malam hari), yang terdiri dari famili Haemulidae, Mullidae, Priacanthidae dan Serranidae. Beberapa ikan dari famili tersebut merupakan ikan yang soliter (sendiri). Kebanyakan dari ikan-ikan tersebut bersembunyi di celah-celah karang sebagai tempat berlindung. Selain itu, ikan tersebut merupakan target tangkapan nelayan karena memiliki nilai ekonomi

yang sangat tinggi. Tingginya penangkapan terhadap ikan target tertentu menyebabkan rendahnya kelimpahan ikan target.

Sebagian besar ikan karang bersifat *diurnal* serta ikan yang bersifat *nocturnal* biasanya merupakan ikan karnivora. Ikan-ikan *diurnal* umumnya ikan herbivora yang berwarna cerah yang pada malam hari bersembunyi di celah-celah batu atau gua-gua kecil dekat permukaan karang serta ada yang membenamkan diri dalam pasir. Pengecualian untuk Ikan *Crepuscular* (Gambar 60) merupakan ikan yang aktif pada siang dan malam hari dalam mencari makan.



Gambar 60. Ikan *Crepuscular* (reef2rainforest.com)

Berdasarkan peranannya di ekosistem terumbu karang, ikan karang dibagi menjadi tiga kelompok yaitu ikan target, ikan indikator, dan ikan mayor. Ikan target atau yang sering dikenal dengan istilah ikan ekonomis penting merupakan ikan yang menjadi target penangkapan. Dapat disimpulkan bahwa Ikan target merupakan individu ikan yang memiliki nilai ekonomis dan sumberdaya makanan bagi nelayan. Kelompok ini juga dikenal sebagai ikan ekonomis penting atau ikan konsumsi. Komposisi jenis famili ikan terumbu yang paling banyak ditemukan adalah famili Pomacentridae dan beberapa famili ikan lainnya yang memiliki kelimpahan cukup tinggi diantaranya adalah famili Acanthuridae, Caesionidae, Chaetodontidae, Labridae, dan Pholidichthyidae.

- a. Ikan-ikan target, yaitu ikan ekonomis penting dan biasa ditangkap konsumsi. Biasanya kelompok ikan-ikan target menjadikan terumbu karang sebagai tempat pemijahan dan sarang/daerah asuhan. Ikan-ikan target diwakili oleh family Seranidae (ikan kerapu), Lutjanidae (ikan kakap), Lethrinidae (ikan lele), Nemipitidae (ikan kurisi), Caesinodae (ikan ekor kuning), Siganidae (ikan baronang), Haemulidae (ikan bibir tebal), Scaridae (ikan kakatua), dan Acanthuridae (ikan pakol).
- b. Ikan indikator merupakan ikan yang menunjukkan kondisi kesehatan terumbu karang di suatu kawasan. Kelimpahan ikan indikator dilihat dari kelimpahan ikan Chaetodontidae. Semakin tinggi keberadaan ikan tersebut dapat dipastikan kondisi terumbu karang semakin sehat. Keberadaan ikan indikator di kawasan rata-rata sebesar 15 ind/250 m² yang menandakan berada pada kategori sedang. Kondisi ini diduga berpengaruh pada kelimpahan tutupan karang di kawasan. Persen tutupan karang memberikan pengaruh yang besar terhadap kelimpahan ikan *Chaetodontidae*. Jenis ikan Chaetodontidae menggunakan terumbu karang sebagai sumber makanan. Ikan indikator merupakan ikan yang sangat erat kaitannya dengan kesuburan terumbu karang, dan ikan mayor yang biasanya menjadi ikan hias air laut.

Berdasarkan hasil analisis makanan yang ditemukan di dalam usus ikan tersebut, sebesar 52 % isi ususnya mengandung zat kapur (dari terumbu karang). Berkurangnya ikan Chaetodontidae juga berpengaruh pada melimpahnya karang *Porites* dibandingkan karang bercabang. Menyatakan *Porites* memiliki kepadatan yang tinggi sehingga pemangsaannya cenderung dihindari oleh ikan Chaetodontidae.

Contoh lain dapat dilihat pada habitat dari famili *Pomacentridae* yang dipengaruhi oleh karakteristik morfologis dari substrat. Beberapa spesies *Pomacentridae* cenderung menggunakan karang sebagai habitat daripada sebagai sumber makanan. Famili *Pomacentridae* (Gambar 61) juga memiliki sifat teritori (mempertahankan daerah kekuasaan) namun karena ikan karang tersebut merupakan organisme yang *mobile*, keberadaannya pada suatu habitat sangat dipengaruhi oleh lingkungan.



Gambar 61. Ikan dari famili *Pomacentridae* (*wikipedia*)

- c. Kelompok ikan major, merupakan jenis ikan berukuran kecil, umumnya 5-25 cm, dengan karakteristik pewarnaan yang beragam sehingga dikenal sebagai ikan hias. Kelompok-kelompok ikan *major* umumnya ditemukan melimpah, baik dalam jumlah individu maupun jenisnya. Kelompok ikan mayor merupakan kelompok ikan yang tidak termasuk dalam target dan indikator. Kelompok ini umumnya ditemukan dalam jumlah besar dan banyak dari jenis ikan kelompok ini diperdagangkan sebagai ikan hias laut.

Spesies ikan karang yang paling banyak ditemukan di setiap kawasan adalah *Odonus niger* (Gambar 62) dari famili Balistidae. Kelimpahan spesies tersebut dikarenakan ikan ini hidup secara berkelompok dengan jumlah yang sangat besar. Dari hasil studi *baseline* ekologi di Kabupaten Buton (2006) yang dilakukan oleh pusat LIPI menyatakan bahwa *Odonus niger* hidup secara berkelompok dan menyenangi habitat di sekitar lereng terumbu. Ikan tersebut merupakan ikan karnivor yang memakan moluska dan benthik yang menyebabkan ikan ini melimpah di kawasan lereng terumbu. Spesies *Odonus niger* biasa ditemukan berenang dikolom perairan saat mencari makan. Sesuai dengan data Direktorat Pendayagunaan Pulau-pulau Kecil tahun 2012. Mereka menyatakan kelimpahan ikan *Odonus niger* merupakan kepadatan ikan tertinggi yang ditemukan di perairan Pulau Nisa Laut, Propinsi Maluku yaitu sebesar 16.480 ind/ha.



Gambar 62. Ikan karang *Odonus niger* (reeflifesurvey.com)

Area yang melewati Australia, Indonesia, Filipina dan Papua Nugini mengandung konsentrasi spesies terbesar famili ikan-ikan karang dan invertebrata. Ada hubungan dominansi jenis ikan karang dengan bentuk pertumbuhan terumbu karang (*lifeform*). Hal ini menyatakan bahwa ikan-ikan karang berasosiasi dengan bentuk pertumbuhan terumbu karang. Hubungan antara ikan dan habitatnya dicirikan dengan karakteristik spasial seperti area pengamatan, ikan karang itu sendiri, variabel habitat, analisis statistik, cara pengambilan data dan skala luasan. Untuk itu, diperlukan penggunaan estimator yang lebih efisien dalam melihat persentase penutupan dan hubungannya dengan ikan karang berupa kekayaan spesies, biomasa dan keragaman dalam lingkup variabel habitat.

2.2 Kesehatan terumbu karang

Pemanfaatan yang berlebihan dapat mengakibatkan kerusakan terhadap ekosistem terumbu karang. Kerusakan-kerusakan tersebut membawa pengaruh yang sangat besar baik secara ekologis maupun ekonomis. Secara ekonomis berpengaruh terhadap hasil tangkapan nelayan, secara ekologis dapat berdampak pada kerusakan ekosistem pesisir dan laut. Untuk mengontrol setiap kegiatan agar aspek ekonomi dan ekologi tetap berjalan secara seimbang maka diperlukan pengelolaan yang berkelanjutan untuk menjaga kelestarian pesisir dan laut. Kriteria penilaian kondisi ikan karang berdasarkan kategori kelimpahan ikan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kriteria penilaian kondisi ikan karang berdasarkan kategori kelimpahan

Kelimpahan (ind/ha)	Kriteria
200 – 1000	Sangat Jarang
1000 – 2000	Jarang
2000 – 4000	Kurang melimpah
4000 – 10000	Melimpah
> 10000	Sangat Melimpah

Penilaian terhadap kesehatan terumbu karang adalah salah satu parameter yang paling penting untuk pengelolaan terumbu karang dan konservasi, terutama di kawasan konservasi laut. Kawasan konservasi laut untuk terumbu karang di Indonesia telah dikelola oleh pemerintah baik nasional dan lokal, serta masyarakat lokal. Penentuan kriteria kesehatan karang adalah berdasarkan pengalaman dari para peneliti terumbu, terutama di Indonesia. Kesehatan terumbu dibagi menjadi empat parameter termasuk persentase penutupan karang hidup, indeks kematian karang (IMK), penutupan pasir dan alga. Kombinasi parameter ini dapat memberikan gambaran tentang kesehatan dan keindahan karang. Kombinasi persentase tutupan karang hidup dan indeks kematian karang dapat menduga kondisi karang di masa lalu.

Berdasarkan *trophic level* atau disebut juga dengan tingkatan rantai makanan ikan terumbu memiliki fungsi yang sangat penting dalam rantai makanan. Kelompok yang terbentuk didasarkan pada jenis makanan yang dimakan oleh ikan tersebut. Suhu merupakan salah satu parameter fisik perairan yang memiliki pengaruh terhadap kelangsungan hidup biota akuatik. Hal ini disebabkan adanya perubahan suhu seperti peningkatan suhu pada perairan dapat menyebabkan penurunan kelarutan gas dalam air, seperti gas O₂, CO₂, N₂, CH₄, dan sebagainya. Selain itu dengan adanya perubahan seperti peningkatan suhu perairan juga dapat menyebabkan laju metabolisme organisme akuatik mengalami peningkatan, yang akan berakibat pada meningkatnya konsumsi O₂. Sehingga suatu perairan perlu diketahui kondisi suhunya untuk mengetahui kondisi kelayakannya untuk kehidupan biota laut yang ada didalamnya.

2.3 Pemanfaatan untuk ekowisata

Indonesia merupakan pusat dari segitiga terumbu karang (*coral triangle*) dimana terumbu karang Indonesia memiliki keanekaragaman hayati tertinggi di dunia atau sering disebut *mega*

biodiversity. Kondisi tersebut menyebabkan ekosistem ini telah banyak dimanfaatkan untuk pemanfaatan wisata bahari. Dari sisi wisata, Indonesia merupakan *the most popular dive destination for 2017* dengan nilai *voting* sebesar 22.552 *readers*, mengalahkan Papua New Guinea dengan 6.089 suara dan Philippine sebanyak 3.313 suara. Potensi-potensi inilah yang menyebabkan perlunya langkah pengelolaan terumbu karang di Indonesia secara efektif.

Ekosistem terumbu karang memiliki banyak manfaat dan fungsi. Manfaat ekosistem terumbu karang tidak hanya berasal dari hewan karang, tetapi juga dari berbagai macam penyusun ekosistem tersebut yang berkaitan erat dengan hewan karang ini dalam hubungan fungsional dan harmonis. Manfaat terumbu karang bisa berupa manfaat barang maupun jasa yang dihasilkannya. Manfaat barang adalah manfaat dari sumberdaya yang dapat pulih yang dieksploitasi untuk memenuhi kebutuhan seperti penangkapan ikan, penjualan karang-karang hias, kayu-kayu mangrove dan sebagainya. Sedangkan manfaat jasa di kategorikan kedalam manfaat struktur fisik, biotik, informasi dan manfaat sosial budaya.

Pariwisata terus menjadi industri besar dengan efek yang luas pada ekonomi. Untuk itu, pengelolaan ekowisata bahari diterapkan dengan suatu konsep pengelolaan yang memprioritaskan kelestarian dan memanfaatkan sumberdaya alam dan budaya masyarakat. Konsep pengelolaan ekowisata tidak hanya berorientasi pada keberlanjutan tetapi lebih daripada itu yaitu mempertahankan nilai sumberdaya alam dan manusia. Meskipun demikian konsep yang tidak ditentukan yang lebih kuantitatif dan partisipatif mengenai daya dukung sangat berguna dalam mempengaruhi control pengembangan kegiatan pariwisata.

Kegiatan wisata selain memberikan keuntungan ekonomi namun juga memberikan dampak negatif terhadap ekosistem khususnya ekosistem terumbu karang. Kegiatan wisata seperti snorkeling dan selam memberikan kontribusi terhadap perubahan kondisi ekosistem terumbu karang. Beberapa perilaku wisatawan berpotensi merusak terumbu karang seperti menendang karang, memegang karang, berjalan di atas karang, serta penambatan jangkar di karang. Dampak yang diakibatkan oleh masing-masing perilaku wisatawan terhadap terumbu karang sangat kecil, namun secara kumulatif perilaku tersebut dapat memberikan tekanan terhadap terumbu karang dan mempengaruhi persentase tutupan karang.

Wisata selain memberikan keuntungan secara ekonomi namun juga memberikan dampak negatif terhadap sumberdaya alam. Aktifitas wisata termasuk salah satu faktor antropogenik penyebab degradasi terumbu karang selain tangkap lebih, polusi dan pemanasan global. Terlebih pola kegiatan wisata yang masih menganut konsep wisata *mass tourism* atau pola wisata konvensional yang bersifat massal. Konsep ini biasanya berorientasi pada kuantitas pengunjung dan pertumbuhan yang setinggitingginya sehingga sangat rawan terjadi *over carrying capacity* dan berpotensi pada terjadinya degradasi lingkungan. Contoh ekowisata bahari dapat dilihat pada Gambar 63 dibawah ini.



Gambar 63. Contoh ekowisata bahari (aup.com)

Degradasi terumbu karang akan menyebabkan hilangnya fungsi dan manfaat ekosistem tersebut sehingga pada akhirnya akan merugikan masyarakat terutama masyarakat lokal. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan suatu solusi pengelolaan agar kegiatan wisata bisa berjalan dengan tetap memperhatikan kelestarian terumbu karang. Salah satu solusi tersebut adalah dengan konsep daya dukung sehingga kegiatan wisata tidak melebihi daya dukungnya dan terumbu karang dapat tetap lestari.

Kegiatan wisata pesisir yaitu snorkeling dan menyelam biasanya terfokus pada beberapa spot yang menjadi primadona untuk dikunjungi sehingga tekanan pada lokasi-lokasi itu cukup besar dan terus menerus. Besarnya tekanan itu menyebabkan rusaknya terumbu karang akibat terkena *fins*, tersenggol, dipegang baik sengaja ataupun tidak sengaja, terkena pengaruh jangkar kapal dan akibat terkena badan kapal. Selain itu, kegiatan menyelam dan snorkeling menyebabkan timbulnya *lesion* atau luka pada karang terutama karang-karang *massive* akibat dipegang oleh wisatawan.

Adanya eksploitasi menimbulkan dampak terhadap degradasi terumbu karang. Secara alami ekosistem terumbu karang mempunyai kemampuan dalam mengabsorpsi setiap gangguan yang masuk sehingga eksistensinya tetap stabil. Namun, kemampuan mengabsorpsi gangguan tersebut mempunyai batas artinya tidak semua gangguan bias diterima oleh ekosistem terumbu karang, tergantung dari besarnya gangguan yang masuk dan kemampuan ekosistem terumbu karang dalam bertahan. Batas kemampuan dalam menerima gangguan ini disebut daya dukung. Apabila gangguan yang masuk lebih besar dari kemampuan karang untuk tumbuh dan berkembang maka bisa dikatakan gangguan tersebut melebihi daya dukung (*over carrying capacity*). Sebaliknya, apabila gangguan yang masuk masih dibawah kemampuan karang untuk tumbuh dan berkembang maka gangguan tersebut masih dibawah daya dukung (*under carrying capacity*).

Sebagai contoh adalah Sumberdaya terumbu karang di Taman Nasional Karimunjawa (TNKJ) memiliki peran yang penting bagi masyarakat setempat. Kegiatan masyarakat sekitar TNKJ tertinggi adalah *fishing*, yang merupakan kegiatan utama di TNKJ. Kegiatan wisata masih sangat rendah. Padahal TNKJ memiliki potensi sumberdaya terumbu karang yang masih baik untuk dikembangkan sebagai kawasan wisata khususnya untuk wisata bahari.

Namun, tren jumlah wisatawan TNKJ untuk kegiatan wisata cukup fluktuatif dimana mengalami peningkatan dari tahun 2008-2012 dan menurun pada tahun-tahun berikutnya. Kencenderungan jumlah wisatawan yang fluktuatif disetiap tahunnya menjadikan perlunya pengkajian pengelolaan yang tepat terkait dengan keberadaan ekosistem terumbu karang sebagai objek utama kegiatan wisata bahari. Melihat dari segi potensinya yang besar, wisatawan wisata bahari TNKJ memerlukan pengkajian mengenai minat wisatawan ataukah ada faktor lain yang menyebabkan wisatawan TNKJ menurun setiap tahunnya.

Sebagai langkah awal pengelolaan, diperlukan penentuan daya dukung kawasan untuk kegiatan wisata bahari. Hal ini untuk mengetahui seberapa orang wisatawan maksimal yang dapat melakukan wisata di TNKJ. Di sisi lain dapat dibandingkan kondisi eksisting di lokasi tersebut sesuai tidaknya dengan daya dukung yang telah dihitung atau telah melewati daya dukung kawasannya. Melihat kondisi kecenderungan wisatawan yang fluktuatif sehingga ada indikasi potensi sumberdaya terumbu karang belum termanfaatkan secara optimal, diperlukan adanya pengkajian kembali terkait dengan nilai sumberdaya yang dimanfaatkan secara langsung maupun tak langsung yang nantinya dijadikan pertimbangan dalam input bagi strategi pengembangan wisata bahari TNKJ.

2.4 Konsep ekowisata bahari

Wisata adalah perjalanan atau sebagai dari kegiatan tersebut yang dilakukan secara sukarela serta bersifat sementara untuk menikmati objek dan daya Tarik wisata. Wisata merupakan perjalanan ke suatu tempat untuk sementara waktu guna untuk memenuhi keinginan dan kepuasan diri. Kegiatan wisata yang tidak bersifat konservatif dan tidak dikelola dengan baik akan menyebabkan terjadinya degradasi lingkungan yang menjadi objek wisata tersebut. Konsep yang sekarang berkembang adalah ekowisata yaitu jenis wisata yang tidak hanya sekedar menikmati keindahan alam tapi juga memperhatikan kelestarian lingkungan. Konsep ekowisata tidak mengedepankan faktor pertumbuhan ekonomi, melainkan menjaga keseimbangan antara kegiatan pemanfaatan dan kelestarian sumber daya. Ekowisata bahari merupakan bentuk pengelolaan sumber daya pesisir dan laut yang dikembangkan dengan pendekatan konservasi.

Ekowisata merupakan konsep dan istilah yang menghubungkan dengan konservasi. Ekowisata sering dipahami sebagai pariwisata berwawasan lingkungan dan merupakan salah satu bentuk pariwisata alternatif yang menonjolkan tanggungjawab terhadap lingkungan. Ekowisata telah berkembang sebagai salah satu pariwisata potensial untuk kepentingan pariwisata berkelanjutan. Pertumbuhan ekowisata diduga lebih pesat dari wisata lainnya. Pertumbuhan rata-rata ekowisata sebesar 10 persen pertahun (*World Travel Tourism Council 2004*) melampaui pertumbuhan rata-rata pertahun pariwisata pada umumnya yang hanya mencapai 4.6 persen pertahun. Ekowisata sebagai salah satu jenis wisata yang berbasis konservasi lingkungan memiliki beberapa misi, yaitu:

1. Mengembangkan kepariwisataan yang berbasis kepada alam dengan tetap menjaga kelestarian alam,
2. Mengangkat budaya setempat sebagai wisata budaya yang mendukung wisata alam,
3. Mengembangkan kepariwisataan secara terpadu antara alam dengan budaya,
4. Pemberdayaan masyarakat untuk meningkatkan kepariwisataan yang ramah lingkungan.

Konsep ekowisata sangat penting diterapkan pada wisata bahari. Sejauh ini kegiatan wisata pesisir seperti snorkeling dan selam menimbulkan dampak terhadap terumbu karang. Beberapa peneliti mengungkapkan kerusakan-kerusakan Konsep ekowisata bahari akan menggeser konsep wisata massal (*mass tourism*) ke dalam wisata baru yang lebih menekankan kepuasan dan mencari daya tarik, tidak hanya sekedar jalan-jalan.

2.5 Daya Dukung Kawasan

Negara Indonesia juga dikenal sebagai pusat terumbu karang dunia, menyumbang sekitar 15 persen dari total terumbu karang dunia. Terumbu karang yang luasnya mencapai 75.000 km² ini mempunyai keanekaragaman hayati yang sangat tinggi, termasuk 2.334 jenis ikan, 2.500 jenis moluska, 1.512 jenis krustasea, 850 jenis spons, 745 jenis ekinodermata, 38 jenis reptilia laut dan 30 jenis mamalia. Di Indonesia diperkirakan ada 590 jenis karang batu yang termasuk dalam 80 marga.

Ekosistem terumbu karang Indonesia kini mengalami penurunan akibat kerusakan yang terjadi. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan LIPI melalui 686 stasiun dimana hampir sepertiga (32%) terumbu karang Indonesia termasuk dalam kategori kurang baik dan hanya 6% yang termasuk dalam kategori sangat baik. Jika ditelusuri lebih lanjut dari kondisi terumbu karang yang kurang baik, ternyata wilayah timur Indonesia memiliki persentase paling tinggi, dimana hampir separuh terumbu karang di wilayah ini termasuk kategori kurang baik. Sebaliknya, persentase terendah terdapat di wilayah tengah Indonesia, sedangkan wilayah barat kondisinya berada diantara wilayah timur dan tengah.

Untuk mencegah kehilangan sumberdaya laut yang lebih parah, maka perlu ditempuh upaya perlindungan (konservasi) seperti yang tertuang dalam PP Nomor 60 Tahun 2007 tentang Konservasi Sumberdaya Ikan menjelaskan dengan menyisihkan lokasi-lokasi

yang memiliki potensi keanekaragaman jenis hewan maupun tumbuhan, keunikan dan gejala alam, beserta ekosistemnya menjadi beberapa zona yaitu zona inti (daerah larang ambil), zona perikanan berkelanjutan, zona pemanfaatan dan zona lainnya. Penetapan ini selain melindungi sumberdaya yang masih tersisa, juga memberikan kesempatan bagi ekosistem untuk pulih dari kerusakan. Demi tercapainya kelestarian sumberdaya alam laut, maka salah satu langkah yang dianggap tepat adalah penetapan Kawasan Konservasi Laut (KKL), dengan anggapan bahwa ketika para pengguna sumberdaya laut dibatasi hak dan wewenangnya atas potensi laut dan pesisir, maka upaya memperkecil terjadinya kerusakan sumberdaya laut dapat tercapai.

Kawasan konservasi laut memiliki daerah-daerah (zonasi) yang memiliki fungsi dan tujuan tertentu. Salah satu zonasi yang terdapat di dalam kawasan konservasi laut yang memiliki fungsi dan tujuan sangat penting adalah Daerah Perlindungan Laut (DPL) yang memiliki fungsi sebagai zona inti atau zona perlindungan bagi sumberdaya hayati yang ada di dalamnya. Secara umum pada DPL diberlakukan zona larangan aktivitas penangkapan ikan oleh nelayan. Penetapan larangan aktivitas nelayan di daerah DPL terkadang mengundang kontroversi di kalangan masyarakat pesisir. Sebagian nelayan beranggapan bahwa dengan adanya DPL akan berdampak terhadap menurunnya pendapatan nelayan karena tertutupnya sebagian area penangkapan ikan (*fishing ground*) mereka dan hak-hak mereka menjadi terbatas untuk memanfaatkan sumberdaya tersebut. Tetapi ada pula yang mendukung penetapan DPL dengan asumsi akan terjadi keberlanjutan bagi ekosistem pesisir dan laut, serta akan berpengaruh bagi kesejahteraan masyarakat nelayan.

Peningkatan jumlah penduduk menyebabkan kebutuhan akan sumberdaya alam juga meningkat. Dalam rangka memenuhi kebutuhan tersebut maka eksploitasi akan sumberdaya alam pun semakin intensif. Eksploitasi yang tidak diikuti dengan pengelolaan yang baik dapat mengakibatkan terganggunya ekosistem di kawasan tersebut. Jika gangguan itu terlalu besar maka ekosistem pada kawasan tersebut akan rusak sedangkan jika gangguan itu masih bias ditolerir maka ekosistem di kawasan tersebut akan tetap lestari. Defenisi lain yang lebih luas tentang daya dukung lingkungan adalah memperhitungkan jenis dan perilaku pengunjung. Dalam hal ini, dayang dukung tidak hanya ditentukan oleh kapasitas fisik kawasan

dalam menampung wisatawan tapi juga mempertimbangkan hal salah satunya adalah perilaku pengunjung.

Daya dukung dengan memasukkan parameter perilaku pengunjung akan bersifat dinamis karena sangat tergantung dengan besarnya dampak yang ditimbulkan oleh perilaku pengunjung. Semakin baik tingkat keterampilan dan kepedulian pengunjung terhadap alam maka daya dukung akan semakin besar dan sebaliknya. Semakin rendah tingkat keterampilan dan kepedulian maka kemungkinan dampak akan semakin besar sehingga kapasitas daya tampungnya juga semakin rendah.

2.6 Permasalahan Pada Ekowisata

Tidak ada standarisasi dan standar baku guide wisata Berdasarkan hasil observasi peneliti di lapangan tidak semua guide memberikan edukasi tentang tata cara wisata yang ramah lingkungan. Namun, tidak ada keseragaman atau standard baku tentang informasi apa saja yang harus diberikan kepada wisatawan terutama menyangkut wisata yang ramah lingkungan. Guide-guide tersebut terkadang hanya memberikan materi tentang cara penggunaan alat selam saja. Selain itu, beberapa kapal tidak membawa guide untuk mendampingi wisatawan. Faktor ekonomi menjadi salah satu alasan pengemudi kapal tidak mau membawa guide. Adanya guide wisata akan membuat pemasukan menjadi terbagi antara pengemudi/pemilik kapal dengan guide tersebut.

Proses perekrutan guide pun tidak ada syarat-syarat yang tertulis secara khusus. Pertimbangan seorang untuk bisa menjadi guide asalkan orang tersebut bisa berenang, mempunyai fisik yang cukup kuat dan terbiasa ke laut. Tidak ada proses pembinaan atau standarisasi dari segi pengetahuan tentang wisata yang baik dan pemahaman tentang ekosistem terumbu karang terutama tentang dampak dari kegiatan wisata yang merusak *lifefrom* terumbu karang (jenis jenis tipe pertumbuhan pada terumbu karang).

Perlu ada edukasi kepada penduduk mengenai eksploitasi batu karang tersebut. Terutama eksploitasi terhadap batu karang yang masih dalam kondisi sangat baik. Eksploitasi batu karang umumnya terhadap karang-karang *lifeform* massif. Padahal, sebagaimana kita ketahui, karang *lifeform* masif adalah jenis karang yang paling lama pertumbuhannya. Selain itu, *lifeform* ini adalah yang paling tahan terhadap gangguan dari luar termasuk oleh kegiatan wisata. Data dampak wisata menunjukkan dampak terhadap karang masif tidak langsung menyebabkan hancurnya koloni karang tapi hanya berupa

goresan saja. Bila dibandingkan dengan kerusakan pada karang *branching*, *foliose* ataupun *tabulate*, karang masif masih lebih tahan. Karang masif juga dijadikan pijakan oleh wisatawan sehingga keberadaannya dapat mengurangi kemungkinan kerusakan.

Beberapa penyelam melakukan posisi menempel ke substrat pasir atau lumpur saat mengamati biota tertentu dan saat melakukan pengambilan foto. Sedimen teraduk terutama ketika penyelam berpindah dari posisi diam ke posisi bergerak, baik untuk merubah posisi ataupun untuk melanjutkan kegiatan menjelajah. Sedimen yang teraduk dapat meningkatkan kekeruhan perairan. Aktifitas ini cukup sering terjadi terutama akibat kibasan dari *fins* saat penyelam melakukan aktifitas jelajah ataupun saat mempertahankan *buoyancy* dan juga saat mempertahankan keseimbangan saat mengambil foto.

Sedimen ini dapat menutupi polip-polip karang sehingga dapat mengganggu kehidupan terumbu karang terutama pada karang-karang yang mempunyai ukuran polip kecil. Meskipun secara alami, karang memiliki kemampuan membersihkan diri dari sedimen yang menutupinya namun apabila frekuensi sedimen ini sering terjadi dan kuantitas nya semakin besar maka akan membuat energi yang seharusnya digunakan untuk tumbuh dan bereproduksi akan terbagi untuk membersihkan diri dari sedimen kerusakan kecil dan teraduknya sedimen oleh sebagian besar penyelam mungkin terlihat sepele, tapi ketika bergabung dengan faktor pengganggu lain mereka dapat mengganggu kehidupan terumbu karang.

Sedimen berpengaruh terhadap pertumbuhan binatang karang baik secara langsung maupun tidak langsung. Pengaruh langsung sedimen adalah dengan menutupi polip karang sehingga menyebabkan kematian pada karang. Sedangkan pengaruh tidak langsung yaitu menghalangi penetrasi cahaya sehingga mengganggu fotosintesis. Selain itu, sedimen yang tinggi memaksa karang untuk mengeluarkan energi lebih guna menghalau sedimen tersebut yang mengakibatkan turunnya laju pertumbuhan karang.

Perilaku destruktif berpotensi menimbulkan dampak terhadap degradasi terumbu karang. Selain mengamati perilaku destruktif, peneliti juga mengamati langsung dampak lanjutan dari perilaku destruktif tersebut terhadap terumbu karang. Beberapa perilaku destruktif seperti menginjak dan menendang karang menimbulkan terjadinya patahan pada bagian-bagian cabang karang *branching*, karang *foliose*, karang api atau *Millepora*, karang biru atau *Heliopora*, karang *tabulate* dan karang *digitate*. Selain menimbulkan patahan,

aktifitas menginjak karang menimbulkan goresan dan luka pada karang *lifeform* masif dan submasif.

Salah satu genus karang diluar kelas *Anthozoa* yang banyak terkena dampak patahan adalah genus *Millepora* (Gambar 64) atau karang api. Genus ini termasuk ke dalam kelas *Hydrozoa* yang memiliki struktur rangka cukup rapuh sehingga sangat mudah patah bila tersenggol atau terinjak. Genus ini akan menimbulkan rasa panas seperti tersengat ketika mengenai kulit. Rasa panas ini menimbulkan kepanikan pada wisatawan sehingga terkadang gerakan panik yang ditimbulkan malah berdampak pada kerusakan koloni karang itu sendiri (gerakan refleks).



Gambar 64. Karang api genus *Millepora* (wikipedia)

Berdasarkan genus yang ditemukan, sebagian kerusakan berupa patah kecil terdapat pada karang genus *Montipora* dengan *lifeform foliose* atau berupa lembaran, kemudian *Acropora* terutama *Acropora* dengan *lifeform branching* atau bercabang. *Porites* dengan *lifeform branching* juga cukup sering kena dampak berupa patah cabang akibat aktifitas wisata. Genus dengan *lifeform foliose* lain yang terkena dampak wisata adalah *Pachyseris*. Genus *Montipora*, *Acropora* dan *Porites* merupakan tiga genera yang memiliki kelimpahan cukup tinggi di perairan Indonesia. Selain itu, *Porites* dan *Pachyseris* merupakan dua genera yang cukup banyak ditemukan di Kepulauan Seribu dimana *Porites* memiliki kelimpahan paling tinggi. Sedangkan *Acropora* adalah salah satu genus yang memiliki kelimpahan dan jumlah jenis paling banyak di dunia termasuk di perairan Indonesia.

Terumbu karang yang mengalami luka atau goresan cenderung lebih mudah terkena infeksi patogen ataupun organisme penginvansi lainnya. Berkembangnya penyakit karang (*coral disease*) pada karang masif yang tergores atau luka akibat penyelam di lokasi penyelaman di Bonaire. Lebih lanjut implikasi dari infeksi penyakit karang ini menyebabkan penurunan jumlah koloni karang masif di lokasi penyelaman di Bonaire. Beberapa contoh *coral disease* dapat di lihat pada Gambar 65 di bawah ini.



Gambar 65. Beberapa contoh *coral disease* (reefresilience.org)

Berbeda dengan karang *lifeform* masif, pada *lifeform branching* umumnya koloni karang akan cepat pulih ketika terkena dampak patahan. Terjadinya peningkatan persentase karang *branching* sebesar 8,2% di Bonaire pada perairan yang padat wisatawan selam. Berdasarkan pengamatan di lapangan, ditemukan beberapa koloni karang terutama karang dengan tipe *lifeform* bercabang yang memiliki bentuk pertumbuhan abnormal. Abnormal disini yaitu bentuk cabang pada permukaan koloni cenderung tumpul dan lebih pendek. Hal ini merupakan indikasi dari adanya gangguan yang terjadi secara terus menerus sehingga tidak memberikan kesempatan kepada terumbu karang untuk pulih ke bentuk pertumbuhan yang normal.

2.7 Manfaat Terumbu Karang Dalam Dunia Medis

Terumbu karang memiliki khasiat untuk kesehatan tubuh kita. Ternyata, terumbu karang yang selama ini sering dipahami sebagai tanaman hias dalam air sebenarnya memiliki beberapa manfaat bagi tubuh manusia, khususnya sebagai obat. Untuk mengetahui lebih

jauh manfaat terumbu karang sebagai obat-obatan dapat dilihat pada ulasan di bawah ini

1. *Berpotensi sebagai anti-alzheimer*

Berdasarkan penelitian, terumbu karang dapat berpotensi untuk dikembangkan sebagai obat anti Alzheimer. Senyawa bioaktif GTS-21 yang ada pada terumbu karang inilah yang dapat bermanfaat menjadi anti Alzheimer. Sumber dari senyawa bioaktif ini berasal dari jenis terumbu karang lunak yang bernama *Pseudopterogorgia elisabethae* (Gambar 66). Namun, hingga kini hal ini masih diteliti dan hingga saat ini belum ditemukan obat Anti-Alzheimer. Untuk menghindari Alzheimer, Anda dapat terus mengolah kemampuan otak Anda dengan mengisi teka-teki silang atau permainan mengasah otak lainnya.



Gambar 66. Karang berjenis *Gorgonia Pseudopterogorgia (elisabethae* oralpedia.bio.warwick.ac.uk)

2. *Berpotensi sebagai anti-virus*

Senyawa bioaktif bernama Crambescidin 800 adalah senyawa aktif yang terdapat pada terumbu karang dan dapat berpotensi untuk menjadi anti virus. Senyawa bioaktif ini dapat ditemukan atau bersumber dari terumbu karang berjenis spons yang bernama *Crambe crambe* (Gambar 67). Mungkin, senyawa bioaktif ini dapat bermanfaat untuk meningkatkan sistem imunitas tubuh manusia. Namun, sama dengan Anti-Alzheimer, manfaat terumbu karang untuk anti virus ini juga masih dalam proses penelitian.



Gambar 67. Terumbu karang berjenis spons *Crambe crambe* (wikipedia)

3. Berpotensi sebagai anti-peradangan

Terumbu karang juga dapat bermanfaat sebagai anti peradangan karena adanya senyawa bioaktif bernama *Manoalide*. Senyawa bioaktif yang berpotensi untuk anti peradangan ini dapat ditemukan di dalam terumbu karang berjenis spons bernama *Luffariela variabilis* (Gambar 68). Sama seperti anti virus, sepertinya senyawa bioaktif pada terumbu karang ini dapat mendukung sistem imunitas tubuh manusia untuk lebih aktif dalam melawan senyawa-senyawa berbahaya bagi tubuh manusia. Namun, hal ini masih terus diteliti dan dikembangkan hingga saat ini.



Gambar 68. Terumbu karang berjenis pofifera *Luffariela variabilis* (Ida Winarni)

4. Berpotensi sebagai penghilang rasa sakit

Selain dapat menjadi anti peradangan, ternyata terumbu karang juga dapat digunakan sebagai penghilang rasa sakit. Penghilang rasa sakit ini disebabkan karena adanya senyawa bioaktif

bernama *Prialt* yang dapat ditemukan pada terumbu karang berjenis moluska bernama *Conus magnus* (Gambar 69). Hingga saat ini belum jelas bagaimana menggunakan terumbu karang sebagai anti sakit. Belum juga dijelaskan secara ilmiah mengenai sistem kerja senyawa bioaktif ini untuk menjadi bahan sebagai penghilang rasa sakit pada manusia.



Gambar 69. Moluska berjenis *Conus magnus* (wikipedia)

5. Berpotensi sebagai anti-kanker

Berdasarkan penelitian, terdapat beberapa jenis terumbu karang yang dapat berpotensi untuk menjadi anti kanker. Senyawa-senyawa bioaktif yang bernama Isohomo-halichondrin B, Ecteinasidin I, Brostatin I, dan Discodermolide adalah senyawa yang diduga menjadi penyebab terumbu karang dapat digunakan sebagai anti kanker. Senyawa-senyawa tersebut dapat ditemukan di terumbu karang berjenis spons, *tunikata* (Gambar 70), dan bryozoan (Gambar 71).



Gambar 70. Terumbu karang berjenis spons *tunikata* (wikipedia)



Gambar 71. Terumbu karang berjenis spons *bryozoan* (*mnn.com*)

6. Berpotensi sebagai pewarna alami makanan

Seperti yang kita tahu, pewarna berbahan kimia sangatlah berbahaya bagi kesehatan tubuh. Pewarna sintetik atau kimia untuk makanan dapat berpotensi menjadi penyebab kanker karena senyawa aktifnya yang karsinogenik. Ternyata, terumbu karang dapat menjadi pewarna alami untuk makanan. Bakteri yang ada pada terumbu karanglah yang dapat menjadi pewarna alami makanan. Misalnya, bakteri *Erythrobacter flavus* yang berasosiasi dengan terumbu karang berjenis *Acropora* yang kemudian dapat menghasilkan pigmen atau pewarna beta karoten.

7. Berpotensi sebagai pencegah penyakit jantung

Menurut National Ocean Service, terumbu karang yang ada di lautan berpotensi untuk menjadi pencegah penyakit jantung. Namun, hal ini masih menjadi bahan penelitian yang masih terus dikembangkan hingga saat ini.

8. Berpotensi sebagai obat asthma

Menurut organisasi *The Nature Conservancy*, enzim yang terdapat pada terumbu karang dapat berpotensi menjadi obat asthma. Enzim yang bernama sekosteroid pada terumbu karang, yang biasanya terumbu karang gunakan sebagai pelindung, adalah enzim yang berpotensi menjadi obat asthma. Namun, hingga kini belum benar-benar dijual obat asthma yang berasal dari terumbu karang. Hal ini masih menjadi potensi yang artinya senyawa bioaktif di dalam terumbu karang sebagai obat asthma ini masih dikembangkan secara ilmiah.

9. Berpotensi Sebagai Anti-Tumor dan Anti-Bakteri

Tidak hanya sebagai anti kanker, terumbu karang juga berpotensi untuk menjadi anti tumor. Hal ini juga disebabkan karena adanya senyawa bioaktif yang diproduksi dari terumbu karang berjenis spons, tunikata, dan *sea hares* (Gambar 72). Walaupun begitu, seperti seperti poin-poin sebelumnya, obat dari terumbu karang yang menjadi anti tumor belum benar-benar dikeluarkan dan dijual. Hal ini masih menjadi fokus peneliti di bidang kelautan dan perikanan.



Gambar 72. Contoh biota *Sea hares* (scubafusion.com)

10. Berpotensi sebagai obat sarkoma

Ekstrak terumbu karang juga telah dijadikan obat untuk jaringan halus dari sarkoma yang merupakan salah satu jenis tumor. Obat yang telah dikeluarkan, yang bernama *Yondelis* merupakan obat sarkoma yang didapatkan dari ekstrak terumbu karang. Namun, obat ini belum secara publik dipasarkan dan belum benar-benar familiar untuk masyarakat. Ternyata, terumbu karang tidak hanya bermanfaat untuk ekosistem biota laut tapi juga untuk kesehatan manusia. Hingga saat ini, manfaat terumbu karang untuk kesehatan masih diteliti dan dikembangkan. Walaupun bermanfaat untuk obat manusia, namun tetap saja terumbu karang masih harus dilestarikan dan jangan sampai punah, terutama dari perairan Indonesia.

2.8 Nilai Ekonomi Ekosistem Terumbu Karang

Peranan valuasi ekonomi terhadap ekosistem dan sumberdaya yang terkandung di dalamnya adalah penting dalam kebijakan pembangunan termasuk dalam hal pengelolaan sumberdaya pesisir

dan lautan. Ekosistem terumbu karang tentunya memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan valuasi ekosistem terumbu karang untuk melihat pentingnya keberadaan ekosistem tersebut terhadap ekologi, sosial dan ekonomi di suatu kawasan perairan.

Menghitung nilai ekonomi suatu kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil tidak bisa terlepas dari kajian ekologi. Dengan mengetahui secara baik kondisi ekologi maka penghitungan nilai ekonomi akan lebih mendasar dan lebih terarah. Dalam hal ini pula terdapat keterkaitan antara ekologi dan sosial yang mempengaruhi nilai ekonomi, yaitu kegiatan yang bersifat antropogenik.

Pengelolaan kawasan terumbu karang dapat dilakukan dengan dasar pengetahuan nilai ekonominya. Area-area yang penting secara ekologi, ekonomi dan sosial dapat dijadikan dasar sebagai langkah pengelolaan berbasis nilai ekonomi secara khusus dan intensif. Sumberdaya pesisir dan laut dalam konteks keanekaragaman hayati dapat dibedakan menjadi beberapa interpretasi nilai ekonomi. Masing-masing interpretasi tersebut memiliki metode penilaian ekonomi yang berbeda-beda. Pengelompokan kegunaan terumbu karang di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6. Pengelompokan kegunaan terumbu karang di Indonesia

Berkelanjutan	Tidak Berkelanjutan
Perikanan lepas pantai	Aktifitas ekstraktif (menggali)
Ikan karang	Kegiatan perikanan yang merusak
Perlindungan pantai	Mengambil organisme karang
Wisata kelautan	Perdagangan akuarium
Marikultur	Bahan bangunan
Bioteknologi	Pembuangan limbah
Perdagangan akuarium	
Area perlindungan	
Pertambangan pasir karang	
Industri pernak-pernik	
Riset dan pendidikan	

Selain nilai intrinsik yang terdapat di dalamnya, jika dikelola dengan baik maka ekosistem terumbu karang dapat memberikan kontribusi yang sangat besar bagi kesejahteraan kepada penduduk sebuah pulau melalui berbagai macam keuntungan yang bisa dihitung/dinilai. Terlebih menempatkan nilai ekonomi pada suatu biodiversitas dan jasa ekosistemnya akan menentukan pola

kebijakan berdasarkan nilai uang yang ada pada biodiversitas tersebut, membuat keberadaannya dapat disandingkan dengan berbagai sektor pembangunan yang lain. Biodiversitas ikan dan organisme karang lainnya dapat berpengaruh terhadap kondisi sosial ekonomi masyarakat pesisir. Semakin banyak informasi yang tersedia yang menghubungkan biodiversitas terhadap penyediaan barang dan jasa atau fungsi ekosistem, dapat dilakukan jika ada pemahaman sepenuhnya terhadap dampak penurunan biodiversitas kepada masyarakat dan kegiatan perekonomiannya.

Valuasi ekonomi suatu ekosistem akan menjadi sangat penting terhadap kebijakan pembangunan terutama pada pesisir dan pulau-pulau kecil. Hilangnya ekosistem atau sumberdaya lingkungan merupakan masalah ekonomi karena hilangnya ekosistem berarti hilangnya kemampuan ekosistem tersebut untuk menyediakan barang dan jasa. Hilangnya ekosistem ini tidak dapat dikembalikan seperti sedia kala atau bersifat *irreversible*. Sehingga, tujuan valuasi ekonomi pada dasarnya dapat membantu pengambil keputusan untuk menduga efisiensi ekonomi dari berbagai pemanfaatan yang mungkin dilakukan terhadap ekosistem yang ada pada suatu kawasan.

Teknik valuasi memiliki keterbatasan teknik dan penambahan metode baru. Hal ini disebabkan oleh masalah pengelolaan ekosistem yang rumit, multi-sektor, keberlanjutan sosial dan penuh dengan ketidakpastian. Oleh karena itu, untuk dapat dipahami oleh para pemangku kepentingan dan pembuat kebijakan, konsep valuasi ekonomi haruslah sederhana dan mudah dimengerti. Mempertahankan kapasitas terumbu karang untuk meningkatkan jasa produksinya membutuhkan pengelolaan yang bersifat *seascape-landscape* dimana kesemuanya dilakukan sebagai bagian yang terintegrasi.

Ada dua dasar paradigma yang digunakan dalam menganalisa sistem sumberdaya pesisir, yaitu (1) Nilai Total Ekonomi (*TEV - Total Economic Value*) yang digunakan untuk mengenali berbagai sumber nilai yang berbeda yang berasal dari keragaman sumberdaya pesisir, dan (2) pendekatan sistem (*system approach*) untuk menganalisa keseluruhan sistem, baik itu komponennya maupun interaksinya. Pada sumberdaya pesisir, nilai ekonomi total dibagi atas nilai langsung dan nilai tak langsung.

Masing-masing fungsi tersebut memiliki nilai ekonomi (*economic value*) dan dikelompokkan menjadi:

1. *Extractive direct use values* (nilai guna langsung ekstraktif);

2. *Non-extractive direct use values* (nilai guna langsung non ekstraktif);
3. *Indirect use values* (nilai guna tak langsung); dan
4. *Non-use values* (nilai guna tak pakai).

Perlu diketahui bahwa Nilai Non-Guna mencakup *known* dan *unknown future value*, yaitu nilai diketahui dan tidak diketahui di masa depan, pada kegunaan langsung dan tak langsung. Melalui semua itu kemudian dapat dikalkulasi total nilai ekonomi pada terumbu karang. Konsep valuasi yang digunakan pada kawasan ekosistem terumbu karang yaitu dengan menggunakan konsep *Total Economic Value (TEV)* sedangkan teknik untuk valuasi sosial ekosistem tersebut menggunakan pendekatan *conventional market* yang berdasarkan *market category*. 3 kategori teknik valuasi berdasarkan pendekatannya, yaitu:

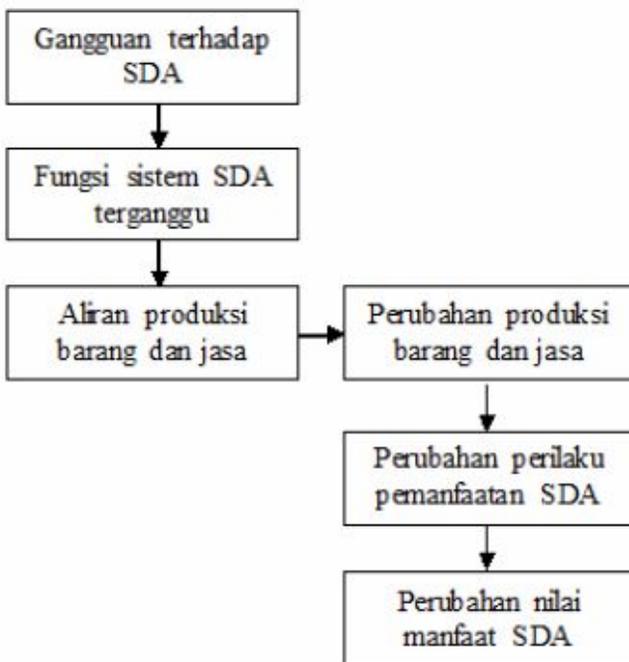
1. *Approach Based on Market Values*, yang menggunakan teknik pendekatan nilai pasar dan barang, pendekatan produktivitas dan *Cost-Based Method*.
2. *Refealed reference approach*, yang menggunakan teknik *Travel Cost Method*. *Travel Cost Method* merupakan metode yang dikenal dan dapat dikembangkan untuk mengukur nilai ekonomi rekreasi yang bersifat *outdoor*, yang meskipun memiliki tingkat kesulitan namun dapat menduga nilai dari kebiasaan seseorang.
3. *State reference approach*, yang menggunakan teknik *Contingen Valuation Method (CVM)*.

Teknik valuasi dalam biodiversitas dapat dilakukan ketika total valuasi dari aset yang dapat dinilai dan terhubung dengan jasa lingkungannya, maka pengukuran seperti bahan obat-obatan dapat dimasukan kedalam komponen *TEV (Total Economic Value)* atau yang lebih lanjut disebut sebagai Nilai Ekonomi Total (NET). Konsep perhitungan nilai ekonomi pada kawasan ekosistem terumbu karang dilakukan dengan menggunakan teknik yang dijabarkan melalui tipologi nilai ekonomi total yang sebelumnya telah dijabarkan dengan beberapa teknik valuasi berdasarkan definisinya. Pada dasarnya, penilaian ekonomi pada kawasan ekosistem terumbu karang terdiri atas nilai guna dan non guna. Nilai guna terbagi atas nilai langsung yang ekstraktif dan non ekstraktif, serta nilai tak

langsung dan nilai pilihan. Nilai non guna mencakup nilai warisan dan nilai keberadaan.

Suatu kawasan konservasi laut, memiliki kriteria ekonomi, yaitu (1) Spesies ekonomi penting, (2) Ancaman alam, dan (3) Keuntungan ekonomi. Penilaian spesies yang mempunyai nilai ekonomis penting tergantung kepada daerahnya. Terumbu karang merupakan habitat yang kritis untuk spesies tertentu sebagai tempat berkembangbiak, perlindungan atau mencari makan. Beberapa habitat memerlukan pengelolaan untuk mendukung kestabilan stok sumberdaya. Penilaian terhadap daerah perlindungan harus mewakili keberadaan ekonomi lokal untuk jangka panjang.

Secara konseptual, pendekatan produktifitas beranjak pada pemikiran bahwa apabila ada gangguan terhadap sistem sumberdaya alam, maka kemampuan sumberdaya alam untuk menghasilkan barang atau jasa menjadi terganggu. Gangguan ini menyebabkan perubahan produksi barang dan jasa yang dihasilkan oleh sumberdaya alam tersebut, yang pada akhirnya akan mengubah pula perilaku pemanfaatannya. Perubahan perilaku pemanfaatan ini akan merubah nilai dari sumberdaya alam tersebut (Gambar 73).



Gambar 73. Perubahan nilai sumberdaya alam

Sumberdaya alam dipandang sebagai input dari produk akhir yang kemudian digunakan oleh masyarakat luas. Pendekatan yang dilakukan yaitu dengan menentukan aliran jasa dari sumberdaya alam yang dinilai kemudian dianalisis hubungannya dengan produk akhir yang dikonsumsi oleh masyarakat.

2.9 Kawasan Ekosistem Berkelanjutan

Dari berbagai macam bentuk pertumbuhan, bentuk karang yang keras dan berstruktur kasar (didominasi oleh karang *acropora* dan bercabang) dan yang monospesifik (dominasi karang *self-stand*, *foliose* dan bercabang) memiliki tingkat toleransi *stress* yang rendah dibandingkan dengan karang dari pertumbuhan *massive* dan *sub-massive*. Bentuk pertumbuhan *massive* dan *sub-massive* umumnya berada lebih dekat dengan pantai sehingga tekanan terhadapnya tergolong tinggi namun juga memiliki tingkat toleransi tinggi terhadap tekanan. Sumberdaya terumbu karang dapat bertahan dengan nilai yang lebih tinggi jika masyarakat pemanfaat terumbu karang bekerja pada kegiatan non-ekstraktif, yaitu pada kegiatan yang berorientasi pada jasa.

Biomasa ikan karang pada kawasan dengan tingkatan ekonomi menengah cenderung lebih rendah daripada wilayah dengan tingkat ekonomi yang rendah dan tinggi. Sebaliknya, biomas rata-rata dalam kawasan perikanan tiga kali lebih tinggi daripada di wilayah penangkapan dan yang tidak terkait dengan perkembangan sosio-ekonomi. Perikanan pada pulau-pulau kecil umumnya memiliki skala yang kecil. Perikanan skala kecil ditegaskan oleh FAO (*Food and Agriculture Organisation*) sebagai perikanan tradisional yang melibatkan rumah tangga dalam skala usahanya dan mencakup wilayah pesisir dengan pekerjaan yang intensif menggunakan alat tangkap tradisional seperti tali pancing, jaring kecil, perangkap dan tombak. Istilah konservasi (*conservation*) sering dianalogikan dengan preservasi (*preservation*) yang memiliki makna kebalikan dari pemanfaatan (*utilization*). Semakin beragamnya tingkat antropogenik yang mengancam kesehatan karang, makin membahayakan alur manfaat barang dan jasa yang dihasilkan.

Berdasarkan hal tersebut, diperlukan suatu penataan lokasi dalam wilayah tersebut untuk mempertahankan kondisi biofisik dengan berbagai potensi yang dikandungnya serta mendukung keberadaan kearifan lokal yang senantiasa menjadi faktor pembatas terhadap kegiatan yang merugikan dan membahayakan kondisi biofisik tersebut. Hal yang paling tepat untuk itu adalah dengan

melakukan pemintakan atau zonasi pada wilayah-wilayah tertentu. Dalam konteks keberlanjutan pulau-pulau kecil, arah pembangunan berkelanjutan memiliki dua tujuan yaitu manfaat sosial ekonomi dan kelestarian sumberdaya alam dan lingkungan.

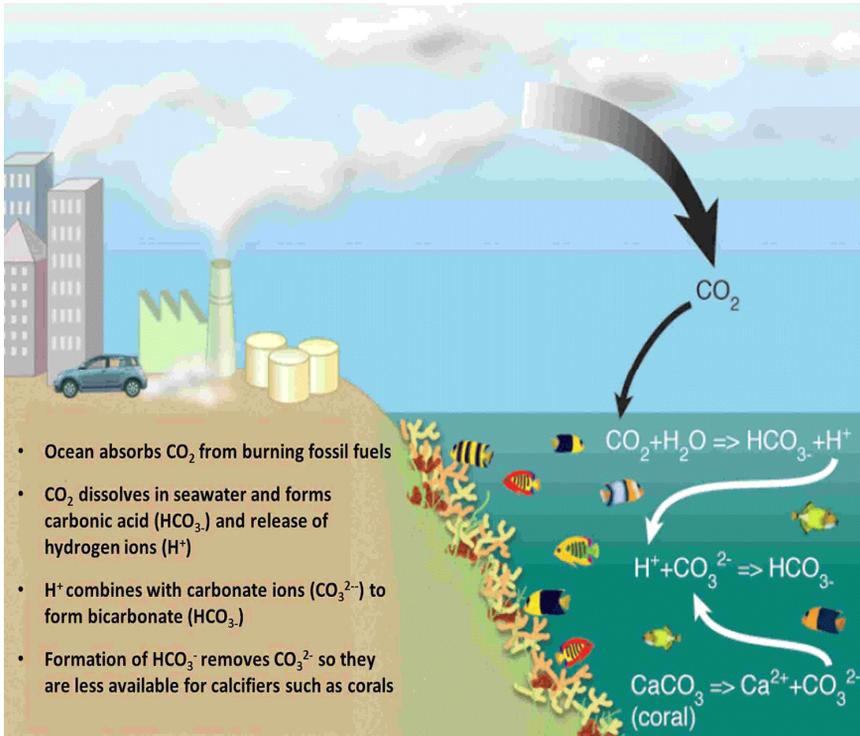
Pengaruh yang menonjol pada degradasi ekosistem terumbu karang adalah berasal dari kegiatan manusia (antropogenik) berupa kegiatan penangkapan ikan yang tidak ramah lingkungan. Pemanfaatan langsung yang sering dilakukan oleh masyarakat pada umumnya yaitu mengambil karang untuk keperluan bangunan. Disamping itu pegeboman dan pencungkulan karang juga sering dilakukan saat menangkap ikan dan gurita yang bernilai ekonomis tinggi.

Dalam suatu kawasan pemanfaatan ekosistem, penilaian ekonomi terumbu karang saat ini dipandang sebagai pendekatan yang baik untuk menunjukkan manfaat dari pengelolaan ekosistem terumbu karang dalam pembuatan kebijakan dan memberikan informasi yang berguna untuk peningkatan keputusan. Selain itu kurangnya perhatian konsumen terhadap aliran barang dan jasa yang dihasilkan sumberdaya menyebabkan pendekatan ini penting untuk dikaji dan diterapkan.

2.10 Pemanfaatan Sebagai Penyerap Karbon

Terumbu karang juga berperan dalam penyerapan karbon, karena terumbu karang menghasilkan produktifitas primer yang sangat tinggi, sekitar 1500-3500 gC/m²/tahun. Produktifitas primer tersebut berasal dari tumbuhan dan *Zooxanthelae* yang berasosiasi dengan terumbu karang, yang memiliki kemampuan untuk berfotosintesis sangat besar. *Zooxanthelae* juga berfungsi menjaga terumbu karang dari berbagai faktor yang merusaknya.

Demikian juga organisme kecil yang bernama plankton (fitoplankton) juga memiliki peran dalam siklus karbon di laut, karena kebutuhannya untuk melakukan fotosintesis. Dari hasil-hasil temuan para ilmuwan tersebut, kini dicetuskan konsep “karbon biru”. Dari seluruh karbon biologis yang tersimpan di dunia, lebih dari separuh (55%) disimpan oleh organisme atau ekosistem pesisir dan laut, oleh karena itu disebut karbon biru (“blue carbon”). Skema atau proses penyerapan karbon oleh terumbu karang dapat dilihat pada Gambar 74 di bawah ini.



Gambar 74. Skema penyerapan karbon oleh terumbu karang

Karbon biru dalam wujud vegetasi pesisir juga menyerap karbon jauh lebih efektif-hingga 100 kali lebih cepat dan lebih permanen dibandingkan hutan daratan. Substrat sedimen tempat pada vegetasi ini tumbuh, dapat menyimpan karbon dalam lapisan vertikal yang menebal. Sedimen di dasar habitat ini umumnya *anoksik* (minim atau tidak ada oksigen). Dalam keadaan ini, kandungan karbon organik tidak terurai dan hanya dilepas oleh mikroba di dalam sedimen itu sendiri. Keadaan ini berlawanan dengan hutan daratan dimana karbon hanya terpusat di pohon. Apabila tidak dirusak, sedimen pesisir mampu menahan karbon hingga ratusan bahkan ribuan tahun.

Jika dilindungi dan diperbaiki, ekosistem pesisir dan laut akan mampu menyerap dan menyimpan karbon. Tetapi jika dihancurkan atau dirusak, ekosistem ini akan menjadi sumber karbon (*carbon source*), melepas kembali karbon yang telah disimpan berabad-abad ke atmosfer dan laut, dan menjadi sumber gas rumah kaca sehingga justru berkontribusi terhadap terjadinya perubahan iklim. Sayangnya, ekosistem ini termasuk yang paling terancam

keberadaanya. Merupakan ekosistem dengan laju perusakan tercepat saat ini, dikesampingkan oleh aktifitas manusia yang tidak ramah lingkungan. Secara global 30% ekosistem pesisir telah mengalami kerusakan.

Apabila perusakan ekosistem ini terus berlanjut, tidak saja karbon yang mereka simpan otomatis terlepas, tetapi juga menyempitnya kawasan ekosistem tersebut berarti hanya sedikit karbon yang mampu diserap dari atmosfer bumi kedepannya. Ekosistem pesisir dan laut yang sehat menyediakan berbagai manfaat kepada manusia sekarang dan di masa depan. Ini menunjukkan bahwa manusia dan laut harus hidup berdampingan, karena keberadaan dan aktivitas manusia mempengaruhi hampir semua aspek dan kehidupan organisme laut, demikian pula sebaliknya.

Oleh karena itu, diharapkan kelestarian ekosistem pesisir dan laut ini tetap terjaga, karena banyak hal yang disumbangkan oleh laut kepada kita, baik yang kita sadari maupun tidak. Selain itu, dengan terjaganya kelestarian laut diharapkan mekanisme siklus karbon dapat seimbang secara alami. Itu semua tergantung kita, manusia. Pendapat lain mengenai laut menjadi penyimpan karbon, salah satunya dilatarbelakangi oleh peran terumbu karang yang menghasilkan produktifitas primer sangat tinggi, sekitar 1500-3500 gC/m²/tahun. Produktifitas primer tersebut berasal dari tumbuhan dan *Zooxanthellae* berasosiasi dengan terumbu yang memiliki kemampuan untuk berfotosintesis sangat besar.

Zooxanthellae juga berfungsi menjaga terumbu dari berbagai faktor yang merusaknya. Proses fotosintesis tersebut merupakan aktivitas *carbon sink*, sebaliknya proses respirasi (penguraian gula menjadi zat lain untuk menjalankan metabolisme tubuh) oleh organisme lainnya di laut, merupakan aktivitas *carbon source*. Selain terumbu karang, hewan kecil yang bernama plankton juga memiliki peran dalam siklus karbon di laut karena kebutuhannya untuk melakukan fotosintesis. Sedangkan di dalam perairan, kebutuhan karbon diperoleh dari hasil pengendapan organisme yang mengendap dan terdekomposisi. Hasil dekomposisi tersebut akan terangkat kembali ke permukaan laut akibat upwelling, ditemukan adanya kenaikan rata-rata CO₂ secara alamiah di atmosfer terhadap total tingkat pelepasan karbon.

Untuk mengetahui potensi penyerapan karbon tersebut yang lebih akurat, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Kelautan dan Perikanan (Balitbang KKP) dengan *United Nations*

Environment Programme (UNEP) bekerjasama dalam program karbon biru (*blue carbon*) sejak 2010 untuk meneliti potensi karbon secara menyeluruh pada ekosistem pesisir dan laut. Hasil penelitian tersebut nantinya digunakan untuk pengelolaan sumber daya kelautan yang berkelanjutan termasuk dalam hal adaptasi dan mitigasi perubahan iklim kawasan pesisir.

Pada kesempatan yang sama, Jerker Tamelander, *Head of Coral Reef osystem* UNEP melihat karbon biru belum sepenuhnya diperhatikan dalam program mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Jerker melihat ekosistem laut dan pesisir memang berpotensi menyerap karbon dan yang paling penting adalah bagaimana potensi tersebut memang digunakan untuk penanganan perubahan iklim. Rusaknya ekosistem laut dan pesisir akan turut mengemisikan karbon ke udara, dan akhirnya berpengaruh terhadap perubahan iklim.

2.11 Pemanfaatan Reefball (Wadah karang buatan)

Pemecah gelombang menggunakan batu besar telah menjadi pendekatan tradisional yang digunakan ketika membentuk dan melestarikan garis pantai berpasir. Contoh kasus ketika pengembang Pulau Maiden, dan Pulau Antigua, Departemen Perikanan setempat mengajukan izin untuk memasang pemecah batu, Departemen Perikanan Antigua khawatir bahwa metode konvensional ini akan berdampak kritis terhadap habitat lamun Keong Karibia (*Strombus gigas*) yang terancam punah. Namun struktur terumbu buatan tiruan *Reef Ball* alternatif dengan adaptasi yang sudah dirancang juga untuk melestarikan habitat keong.

Metode *reefball* juga ditempatkan dengan ruang di antara beton untuk membuat koridor bagi penghuni dasar laut. Delapan ukuran yang berbeda dan lebih dari 100 gaya desain yang berbeda dari modul Bola Karang dimasukkan ke dalam proyek ini untuk lebih mirip meniru terumbu alami. Dirancang secara ilmiah untuk menarik dan menyediakan habitat bagi ikan, lobster, dan kehidupan laut lainnya, setiap *Reefball* rata-rata menghasilkan sekitar 180 kilogram (400 lbs) biomassa (kehidupan hewan atau tumbuhan) setiap tahun. Lebih dari 3.500 *Reefball* dibangun di Pulau Antigua. Situs konstruksi memiliki rata-rata 100 pekerja membangun *Reefball* 24 jam per hari, 7 hari seminggu untuk jangka waktu 2 bulan. Contoh peletakan reefbaal dapat dilihat pada Gambar 75 di bawah ini.



Gambar 75. Contoh peletakan reefbaal (*artificialreefs.org*)

Menggunakan *Reef Ball Foundation* dan para ahli beton lokal, campuran beton khusus dikembangkan yang memungkinkan Reef Ball digunakan dengan cepat, kadang-kadang dalam waktu 18 jam setelah dilemparkan, sambil tetap mempertahankan formulasi ramah lingkungan laut yang membuat pH beton cocok dengan air laut alami. Penyeimbangan pH dan permukaan bertekstur unik dari Bola Karang dilakukan sehingga larva karang dan biota laut lainnya dapat dengan mudah menempel sehingga memungkinkan modul untuk berkembang menjadi terumbu karang alami. Contoh setelah peletakan reefbaal dapat dilihat pada Gambar 76 di bawah ini.



Gambar 76. Contoh setelah peletakan reefbaal (artificialreefs.org)

Terumbu tepi asli disisi pinggiran Pulau Antigua telah hancur menjadi puing-puing karang ketika badai Luis menyerang di daerah Antigua delapan tahun lalu. Dengan menggunakan teknik survei lanjutan, *Reef Ball* dirancang untuk membuat *breakwater* saat ditempatkan didepan terumbu karang tepi, tidak menempati formasi karang secara berdampingan. Seribu dua ratus modul *Reefball* ini dikerahkan dari sebuah tongkang di sisi terluar Pulau Maiden untuk membentuk jalur *breakwater reef/dive snorkeling*. 2.000 beton yang tersisa dibangun untuk pemecah gelombang “sisi kiri”, dan sisi barat proyek penanaman bakau merah *Reefball* di pulau itu. Bekerja dengan para ilmuwan karang dan banyak tenaga ahli lainnya, Tim Terumbu Karang *Foundation Reefball* telah mengembangkan metode

khusus untuk mereproduksi secara aseksual baik karang keras maupun lunak dan menanamnya ke dalam modul Bola Karang.

Setiap spesies karang memerlukan teknik yang sedikit berbeda untuk keberhasilan yang optimal tetapi hasil akhirnya sama, siap untuk dicangkokkan dan disumbat ke dalam beton karang buatan. Sebagian besar sumbat karang ditanam pada Bola Karang dalam beberapa jam setelah diletakkan dalam perairan. Namun pada awal proyek, proses perlengkapan penyumbatan atau penyematan karang diproduksi lebih cepat daripada *Reefball* disusun untuk ditempatkan, maka bibit karang diletakkan di sepanjang tepian pantai untuk proses penanaman pada hari-hari berikutnya.

Lubang atau wadah yang tersedia pada *reefball* tanpa perlu memodifikasi lagi untuk menyesuaikan dengan bibit karang. Sementara para ilmuwan sebelumnya telah menunjukkan teknik perbanyakan dan transplantasi karang aseksual dalam skala kecil, fitur desain adaptor pada *reefball* cukup inovatif yang dikembangkan oleh Reefball Foundation sangat meningkatkan efisiensi transplantasi fragmen karang hidup. Proyek di Antigua berhasil menunjukkan bahwa perbanyakan dan transplantasi karang skala besar dapat dilakukan secara ekonomis dan aman menggunakan teknik ini. Verifikasi efektivitas teknologi terapan ini terlihat dalam proyek ini, di mana lebih dari 5.000 koloni karang disebarkan dan ditransplantasikan hanya dalam empat belas hari oleh tenaga kerja Yayasan Reefball Foundation yang kebanyakan terdiri atas 15 orang. Tiga puluh spesies berbeda dari karang keras dan lunak yang terancam punah termasuk 3.000 karang mawar yang hidup bebas.

Secara harfiah berton-ton karang otak, karang lunak Gorgonian, karang Tanduk Rusa, dan beberapa spesies lainnya. Diselamatkan dari operasi pengerukan di sekitar Pulau Antigua. Beberapa spesies karang ini terfragmentasi menjadi segmen yang lebih kecil (mereplikasi reproduksi karang aseksual alami) termasuk terumbu karang Laut yang terancam (*Gorgonia spp*), Karang Elkhorn (*Acropora palmata*), Karang Staghorn (*A. cervicornis*), dan juga Staghorn Fused yang kurang umum (*A. prolifera-robusta*). Spesies terfragmentasi lainnya termasuk karang jari (*Porites porties* dan *P.devaricata*), karang Pilar (*Dendrogyra cylindricus*), karang pohon gading (*Oculina diffusa*), dan karang Pensil Kuning (*Madracis mirabilis*), dan beberapa spesies lainnya. Contoh hasil penempelan karang baru dapat dilihat pada Gambar 77 di bawah ini.



Gambar 77. Contoh hasil penempelan karang baru (*artificialreefs.org*)

Selain ribuan beton penyumbat karang, 4,5 ton batuan hidup yang sudah ada sebelumnya yang tidak stabil atau tidak cocok yang dipindahkan dan gabungan ke model *Reef Ball* sehingga batuan itu tidak akan merusak terumbu karang jika terjadi kembali kunjungan angin topan di masa depan. *Reefball* juga teknik *aquascaped* akan ditanam dengan spesies karang yang tidak cocok untuk fragmentasi (yaitu *Diploria sp.*, *Colpophyllia sp.* Dan *Meandrina sp*) Yang biasa disebut sebagai karang otak bersama dengan Bukit Mustard (*asteroid Porites*, dll), anemon, ganggang makro yang diinginkan dan spons.

Transplantasi terumbu karang yang diselamatkan bersama dengan batu *reefball* dan invertebrata lainnya sangat mempercepat pembentukan dan keanekaragaman hayati terumbu dan restorasi terumbu karang, meningkatkan kualitas air dan habitat kehidupan di laut (terutama untuk ikan remaja). Teknik ilmiah terbaru juga digunakan selama pemulihan dan perluasan sistem karang hidup. Sebagai contoh, lebih dari 500 landak laut (*Echinometra lucunter*) dipindahkan ke terumbu baru untuk berfungsi sebagai biota pembersih, menjaga transplantasi karang baru bebas dari pertumbuhan berlebih alga.

Matriks media hidup untuk lobster berduri yang dirancang secara ilmiah (*Panulirus argus*) juga dimasukkan ke dalam terumbu untuk meningkatkan kemampuan bertahan larva lobster. Matriks permukiman ini sebelumnya terbukti sangat sukses dalam kondisi yang tepat. Selain itu mahasiswa pascasarjana dari NOVA Southwestern College sedang menguji versi yang sedikit dimodifikasi dalam bagian kontrol ilmiah terumbu. Matriks penambah invertebrata ini dimasukkan pada 8 dari 16 Reef Ball sebagai bagian dari studi ilmiah jangka panjang. Tepian pantai adalah habitat utama bagi *amphipoda* dan lainnya seperti invertebrata mikro, penghubung penting dalam rantai makanan ikan remaja.

Berdasarkan hasil positif untuk rekrutmen ikan remaja dari penelitian sebelumnya, pusat berlubang dari beberapa *Reefball* diisi 1/3 penuh dengan campuran batu dan cangkang keong kosong untuk menciptakan habitat tambahan yang kompleks untuk ikan muda dan ikan kecil. Koridor ikan dipetakan ke dalam denah lantai untuk membantu ikan muda dalam migrasi dari perlindungan terumbu air dangkal ke perairan dalam. Model Bola Karang terletak di lokasi strategis tepat di atas arus karang di ujung koridor untuk dijadikan lokasi pemijahan bagi *Grey Snapper* (*Lutjanus griseus*) dan spesies sejenis lainnya.

The Reefball Foundation juga bekerja sama dengan staf hortikultura pengembang Pulau Antigua untuk melakukan proyek penanaman bakau. Lebih dari 4.000 bibit Mangrove Merah yang dibudidayakan diimpor dari sebuah universitas di Florida Selatan. Dibandingkan dengan penilaian lingkungan yang disiapkan oleh pihak ketiga yang independen sebelum dimulainya proyek, pemecah terumbu karang yang baru telah memiliki pengaruh yang sangat positif terhadap kehidupan laut di daerah tersebut.

Awalnya ada 11 spesies ikan yang diamati selama periode persiapan penilaian (penelitian pendahuluan). Tenaga kerja sukarela mendokumentasikan peningkatan 76 spesies ikan yang mengesankan, 71 invertebrata bersama dengan penyu dan lumba-lumba didorong cepat beradaptasi pada habitat baru. Kombinasi tim yang sangat berbakat dan teknik restorasi laut terbukti yang digunakan dalam proyek ini secara efektif menciptakan ekosistem alami yang kompleks dan beragam. Konsep restorasi ekosistem berhasil diselesaikan sehingga Departemen Perikanan Antigua sekarang mempertimbangkan perlindungan terumbu karang baru dan yang berdekatan, tegakan bakau, hamparan lamun, tempat bertelurnya "Pinnacle" dan cadangan stok karang.

Kabar baiknya bagi pengembang adalah bahwa seluruh biaya proyek bola karang lebih murah daripada yang harus dilakukan oleh pemecah gelombang pada umumnya. Kabar baiknya dampaknya juga dapat dirasakan bagi lingkungan adalah bahwa pemecah gelombang terumbu karang jauh lebih sensitif terhadap lingkungan dan menghasilkan produk akhir dengan keindahan dan fungsi yang jauh lebih besar. Bagi kepulauan Antigua proyek berbasis kelautan seperti ini menjadi lebih sesuai terhadap lingkungan dan menjaga ekosistem terumbu karang dalam keadaan yang lebih baik setelah adanya pembangunan pemecah gelombang.

Sedangkan di Pulau Maiden, restorasi karang dan proyek pengendalian erosi hanyalah salah satu dari 3.500 proyek di 43 negara yang telah menggunakan lebih dari setengah juta Bola Karang dalam upaya meningkatkan ekosistem laut. Tim Propagasi dan Penyelamatan Terumbu Karang dari Reef Ball Foundation terdiri dari para ahli dan penggemar terumbu karang yang peduli dari seluruh dunia. Contoh dari daerah yang menerapkan metode *Reefball* dapat dilihat pada Gambar 78 di bawah ini.



Gambar 78. Daerah yang menerapkan metode *Reefball* (*artificialreefs.org*)

*

DAFTAR PUSTAKA

- AIMS. 2013. <http://coral.aims.gov.au/f>. Australia
- Adityawan Ahmad. 2011.
Coralogy; <http://ahmadadityawan.blog.com/>
- Adrianto L. 2013. Pengembangan *Frontier Sciences* dan Penguatan Jejaring Tata Kelola Terumbu Karang (*Coral Governance Networks*) dalam Kerangka Pengelolaan Terumbu Karang di Indonesia *dalam Coral Governance*. IPB Press. Bogor. Hlm 491-497.
- Afyudi B, 2014. Nilai Sumberdaya Ikan Karang Di Perairan Pulau Sagori Kabupaten Bombana Sulawesi Tenggara. [Tesis]. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Anthony KRN, Connolly SR. 2004. Environmental Limits to Growth: Physiological Niche Boundaries of Corals a long Turbidity-Light Gradients. *Oecologia* (141):373-384.
- Arifin T. 2008. Akuntabilitas dan Keberlanjutan Pengelolaan Kawasan Terumbu Karang Di Selat Lembeh, Kota Bitung. [Disertasi], Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. 174 hlm.
- Aswani S, Lauer M. 2006. Incorporating Fishermen's Lokal Knowledge and Behavior In to Geographical Information Systems (GIS) for Designing Marine Protected Areas in Oceania. *Human Organization*. 65(1)
- Bengen DG. 2000. Sinopsis ekosistem dan sumberdaya alam pesisir dan lautan. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan, Institut Pertanian Bogor.
- Bengen DG. 2013. Bio-Ekologi Terumbu Karang Status dan Tantangan Pengelolaan. *Dalam Coral Governance*. IPB Press. Hlm 61-73.
- Burke L, Selig E, Spalding M. 2002 Terumbu Karang Yang Terancam Di Asia Tenggara (Ringkasan untuk Indonesia). World Resources Institute. Amerika Serikat. 40 hlm.
- 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.

- Carribbean Reefs. <http://reefguide.org/carib/branchingfire.html>.
- Ceballos-Lascurain H. 1993. Ecotourism as a worldwide phenomenon. In: Lindberg, K., Hawkins, D.E. (Eds.), *Ecotourism: A Guide for Planners and Managers*. The Ecotourism Society, North Bennington, Australia. 175p.
- Christie P, White AT. 2007. Best Practices for Improved Governance of Coral Reef Marine Protected Areas. Springer-Verlag (26): 1047-1056.
- Cicin-Sain B, Knecht R. 1998. *Integrated Coastal Ocean Management: Concepts and Practises*. Island Press. Washington DC. 39 p.
- Coles SL, Jokiel PL. 1978. Synergistic Effects of Temperature, Salinity and Light on The Hermatypic Coral *Montipora verrucosa*. *Marine Biology* (49):187-195.
- Costanza R, D'Arge, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill RVO, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P, Van den Belt M. 1997. The Value of The World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature* (387): 253-260.
- Dahuri R. 1999. Kebijakan dan Strategi Pengelolaan Terumbu Karang Indonesia. Makalah disampaikan pada Lokakarya Pengelolaan dan Iptek Terumbu Karang Indonesia. Jakarta, 22-23 November 1999. Hlm 1-16.
- Dahuri R. 2003. *Keanekaragaman Hayati Laut, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta. 412 hlm.*
- Djamali A dan Darsono P. 2005. Petunjuk teknis lapangan untuk penelitian ikan karang di Ekosistem terumbu.
- English. S., Wilkinson. C., Baker. V., 1994. *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. ASEAN-Australia Marine Science Project Living Coastal Resources. Australia.
- Estradivari, Setyawan E dan Yusri S. 2009. Terumbu karang Jakarta: Pengamatan jangka panjang terumbu karang Kepulauan Seribu (2003-2007). Jakarta (ID): Yayasan TERANGI.viii +102 hlm.
- Fandeli C. 2001. Pengertian dan Kerangka Daras Pariwisata *dalam* Fandeli, C (Ed). 2001. *Dasar-Dasar Manajemen Kepariwisata Alam*. Yogyakarta (ID): Liberty. 35hlm.

- Fauzi A, Buchary EA. 2002, a socioeconomic perspective of environmental degradation at Kepulauan Seribu Marine National Park, Indonesia. *Coastal Management*. 30(2):167-181.
- Ferreira HM, Reuss-Strenzel GM, Alves JA, Schiavetti A. 2014. Lokal ecological knowledge of the artisanal fishers on *Epinephelus itajara* (Lichtenstein, 1822) (Teleostei: Epinephelidae) on Ilhéus coast-Bahia State, Brazil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*.
- 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.
- Harriot VJ, Davis D, Banks SA. 1997. Recreational Diving and Its Impact in Marine Protected Areas in Eastern Australia. Lismore (AU): School of Resources Science and Management. Southern Cross Univ. Lismore Australia.
- Hutabarat AA, Yulianda F, Fahrudin A, Harteti S, Kusharjani, Adrianto L. 2009. *Konservasi Perairan Laut dan Nilai Valuasi Ekonomi*. Bogor (ID): Pusdiklat Kehutanan.
- Jan dan Eunice Messersmith. 2010. <http://www.messersmith.name/wordpress/tag/heliopora-coerulea/>
- Kartawijaya T, Tarigan SA, Ningtias P, Herdiana Y, Hasbi KM, Muttaqien E, Lubis Z, Hotmariyah. 2013. Kajian Dampak dan Daya Dukung Kegiatan Wisata di Taman Wisata Perairan Gili Matra. Bogor (ID): WCS Marine Indonesia Program.
- Khairudi D. 2016. Evaluasi Pengelolaan Zona Inti Berbasis Sistem Ekologi Terumbu Karang Di Kabupaten Biak Numfor. [Tesis]. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Kohler KE, Gill MS. 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCE): A Visual Basic Program for The Determination of Coral and Substrate Coverage Using Random Point Count Methodology. *Elsevier* (32): 1259-1269.
- Lipton D, Lew DK, Wallmo K, Wiley P, Dvarskas A. 2014. The Evolution of Non-Market Valuation of U.S. Coastal and Marine Resources. *Jurnal Ocean and Coastal Economics*. 2014(6):1-25.
- Mudasir <http://tegardanserentak.blogspot.com/2014/10/bentuk-pertumbuhan-karang.html>

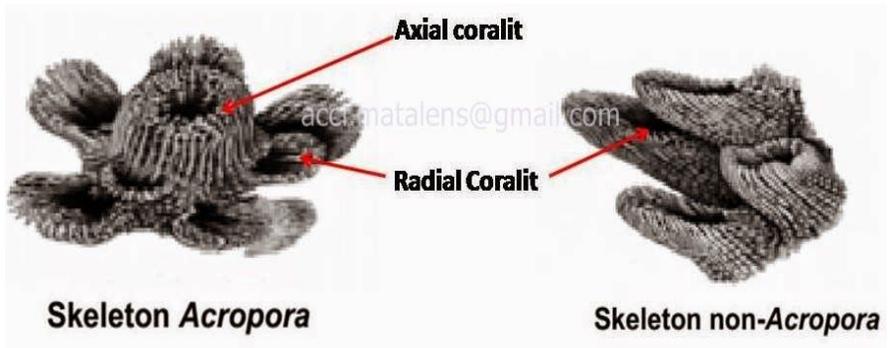
- Mazaya AFA. 2018. Pengembangan Ekowisata Bahari Dengan Pendekatan Penilaian Sumberdaya Terumbu Karang Taman Nasional Karimunjawa. [Tesis]. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- McClanahan TR, McField M, Huitric M, Bergman K, Sala E, Nystrom M, Nordemer I, Elfving T, Muthiga NA. 2001. Response of Algae, Corals and Fish to The Reduction of Macro Algae in Fished and Unfished Patch Reefs of Glovers Reef Atoll, Belize. *Coral Reefs* (19):367-379.
- McManus JW, Menez LAB, Reyes KNK, Vergara SG, Ablan MC. 2000. Coral Reef Fishing and Coral-Algal Phase Shifts: Implication for Global Reef Status. *ICES Journal of Marine Science*, 57(3), 572-578.
- Mojetta, A. 1995. The Barrier Reefs. *A Guide to the World of Corals*. A.A. Gaddis & Sons, Egypt: 168 hlm.
- Mongruela R, Levrela H, Agundeza JAP, Lampleb M, Vanhoutte-Bruniera A, Balle-Begantona J, Rethoret H, Bordenaved P, Vernierd F, Proue J, *et al.* 2010. Economic assessment of the ecosystem services provided by freshwater in the coastal zone: an application to the Charente river catchment. *ICES CM* 2010(19):1-18.
- Moberg F, Carl F. 1999. Ecological Goods and Services of Coral Reef Ecosystem. Elsevier (29): 215-233.
- Muhidin. 2015. Laporan hasil survey ekosistem terumbu karang Kepulauan Seribu. Di dalam: Seminar Edukasi Pemaparan Hasil Monitoring 17 Pulau Guna Menjaga Keindahan Seribu Pulau di DKI Jakarta; 2015 Okt 30-31; Jakarta; Indonesia. Jakarta (ID): BPLHD Jakarta. 27hlm.
- Muhidin. 2017. Kajian Daya Dukung Ekosistem Terumbu Karang Berdasarkan Potensi Dampak Wisata Bahari Di Kelurahan Pulau Panggang Taman Nasional Kepulauan Seribu. [Tesis]. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Najmi N. 2016. Pengelolaan Sumberdaya Terumbu Karang Di Kawasan Konservasi Perairan Daerah Pesisir Timur Pulau Weh Sabang. [Tesis]. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

- Nybakken, J. W. 1992. *Biologi Laut: Suatu Pendekatan Ekologis*. Terj. Dari *Marine Biology: An Ecological Approach*, oleh Eidman, M., Koesoebiono, D.G. Bengen, M. Hutomo, & S. Sukardjo. 1992. Dari. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta: 459 hlm.
- Purwita IH. 2010. Pengelolaan Wisata Bahari dengan Pendekatan Ekosistem Terumbu Karang di Kelurahan Pulau Panggang, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu [Tesis]. Bogor (ID): Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Ramadhani RA. 2015. Analisis Keberlanjutan Pengelolaan Ekosistem Terumbu Karang Di Kecamatan Siantan Tengah Kabupaten Kepulauan Anambas. [Tesis]. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Robin, B., C. Petron, & C. Rives. 1981. *Living Corals*. Les Edition Du Pacifique, (?): 144 hlm.
- Salmin. 2005. Oksigen terlarut (DO) dan kebutuhan oksigen biologi (BOD) sebagai salah satu indikator untuk menentukan kualitas perairan. *Oseana*. 30(3):21-26.
- Setyobudiandi I, Sulistiono, Yulianda F, Kusmana C, Hariyadi S, Damar A, Sembiring A, Bahtiar. 2009. Sampling dan Analisis Data Perikanan dan Kelautan; Terapan Metode Pengambilan Contoh di Wilayah Pesisir dan Laut. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB. Bogor. 312 hlm.
- Shahwahid HO, Richard McNally. 2001. An economic valuation of the terrestrial and marine resources of Samoa. WWF-UK, WWF-SOUTH PACIFIC.
- Suharsono. 2008. Jenis-Jenis Karang Di Indonesia. LIPI; COREMAP Program. Jakarta
- Siregar JSM. 2016. Analisis Pemanfaatan Pengetahuan Ekologi Lokal Dalam Pengelolaan Ekosistem Terumbu Karang Di Kawasan Konservasi Perairan Daerah (Kkpd) Pesisir Timur Pulau Weh (Ptpw) Sabang. [Tesis]. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Suharsono. 1998. Kesadaran Masyarakat Tentang Terumbu Karang (Kerusakan Karang di Indonesia). P30-LIPI, Indonesia: 77hlm.
- Supriharyono. 2007. Pengelolaan Ekosistem Terumbu Karang. Jakarta (ID): Djambatan. 129hlm.

- Tackett, D.N. & L. Tackett. 2002. *Reef Life: Natural History and Behaviors of Marine Fishes and Invertebrates*. T.F.H. Publications, Inc., New Jersey: 224 hlm.
- Telesnicki GJ, Goldberg WM. 1995. Effects of Turbidity on the Photosynthesis and Respiration of Two South Florida Reef Coral Species. *Bulletin of Marine Science* 57: 527-539.
- Thamrin. 2006. *Karang: Biologi Reproduksi dan Ekologi*. Pekanbaru (ID): Minamandiri Press.
- Timotus S. 2003. *Biologi Terumbu Karang*. Jakarta.
- Tomascik, T., A.J. Mah, A. Nontji, & M.K. Moosa. 1997. *The Ecology of the Indonesian Seas, Part One*. Periplus Edition, (?): xiv + 642 hlm.
- Veron, J.E.N., 1986. *Corals of Australia and the Indo-Pacific*, August > Robertson. Publish. 644 pp.
- Veron, J.E.N. 2000. *Corals of the World*. AIMS. Australia. Vol. I, II, III.
- Wood, E.M. 1983. *Reefs of the World. Biology and Field Guide*. T.T.H. Publications, Inc., LTD, Hongkong:
- Yulianda F, Fahrudin A, Hutabarat AA, Harteti S, Kusharjani, Kang HS. 2010. *Ekologi Ekosistem Perairan Laut Tropis*. Bogor (ID): Pusdiklat Kehutanan-SECEM.
- Yulianda F dan Purwita IH. 2010. Pendekatan Ekosistem Terumbu Karang untuk Pengelolaan Wisata Bahari di Kelurahan Pulau Panggang, Kepulauan Seribu, Jakarta. Seminar Nasional Kelautan ke-X. Surabaya (ID): KKP RI.
- Yusnita I. 2014. Kajian Potensi Dampak Wisata Bahari terhadap Terumbu Karang di Kelurahan Pulau Panggang Kepulauan Seribu [Tesis]. Bogor (ID): Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Zamani, NP and H.H. Madduppa. 2011. A standard criteria for assesing the health of coral reefs: implication for management and conservation. *J. of Indonesia Coral Reefs*, 1(2):137-146.
- Zamani NP, Wardiatno Y, Nggajo R. 2011. Strategi Pengembangan Pengelolaan Sumberdaya Ikan Ekor Kuning (*Caesio cunning*) pada Ekosistem Terumbu Karang di Kepulauan Seribu. *J. Saintek Perikanan* 6(2):38-51.

Lampiran 1. Pertumbuhan Karang

Karang keras pada dasarnya hewan yang hidup berkoloni, sedangkan karang keras di tinjau dari segi koralit karang dibagi atas dua yaitu, karang yang hidupnya berkoloni dan karang yang soliter. Karang yang hidupnya berkoloni memiliki variasi bentuk pertumbuhan. Bentuk pertumbuhan karang di bagi atas karang Acropora dan karang non Acropora. Karang Acropora memiliki ciri berupa axial coralit dan radial coralit, sedangkan karang non Acropora hanya memiliki radial coralit, seperti gambar di bawah.



1.1 Bentuk pertumbuhan karang non acropora

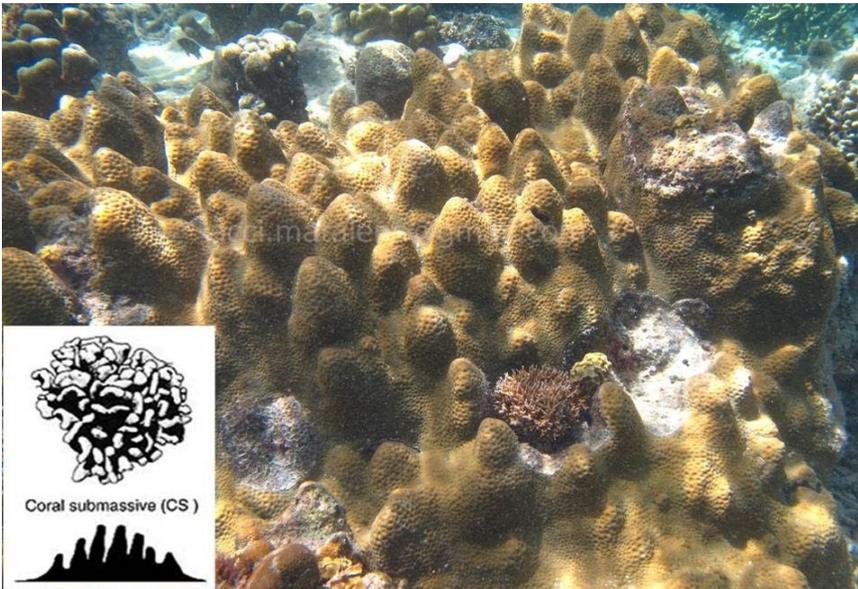
1. Coral Branching (CB); Bentuknya bercabang seperti ranting dimana cabang lebih panjang dari diameter yang dimilikinya.



2. Coral massive (**CM**); Bentuknya padat seperti bola atau bongkahan batu dengan ukuran yang bervariasi, permukaan karang halus dan padat. Ukuran dapat mencapai tinggi dan lebar beberapa meter.



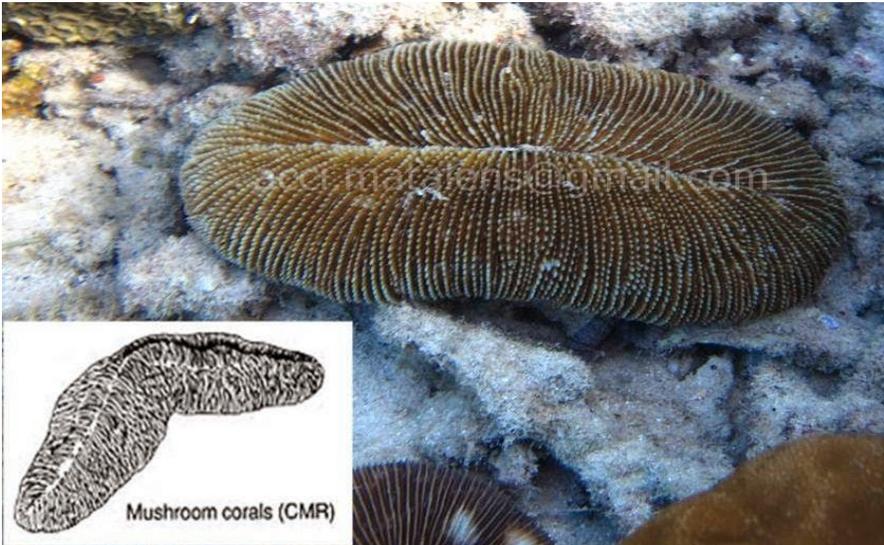
3. Coral encrusting (**CE**); Bentuknya kerak dimana tubuhnya menyerupai dasar terumbu dengan permukaan yang kasar dan keras serta berlubang-lubang kecil.



4. Coral foliose (**CF**); Tubuh bentuk lembaran-lembaran yang menonjol pada dasar terumbu, berukuran kecil dan membentuk lipatan atau melingkar.



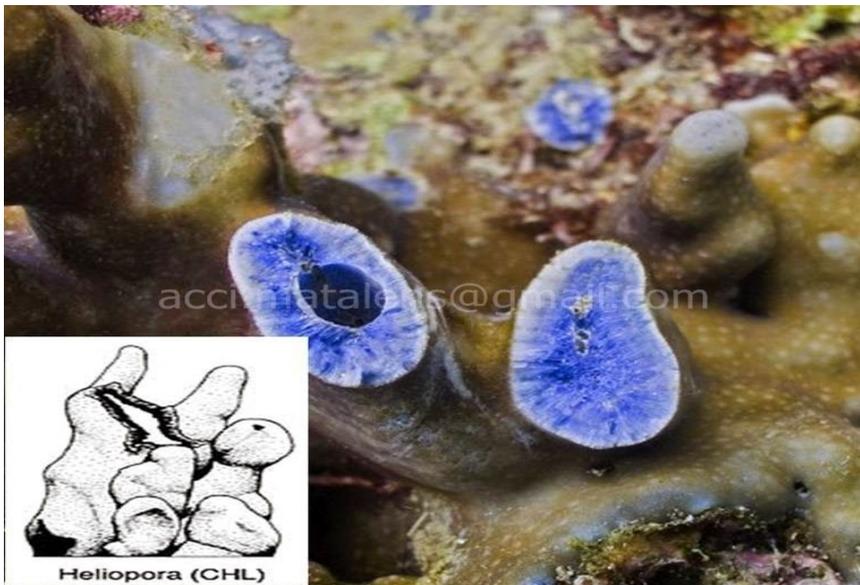
5. Coral mushroom (**CMR**); Bentuknya seperti jamur dimana benbentuk oval memiliki banyak tonjolan seperti punggung bukit beralur dari tepi hingga pusat mulut.



6. Coral millepora (**CML**); Semua jenis karang apa dimana dapat dikenali dengan adanya warna kuning di ujung koloni serta rasa panas seperti terbakar jika tersentuh.



7. Coral heliopora (**CHL**); Semua karang biru yang dapat ditandai dengan warna biru pada rangka kapur karang.



1.2 bentuk pertumbuhan karang acropora

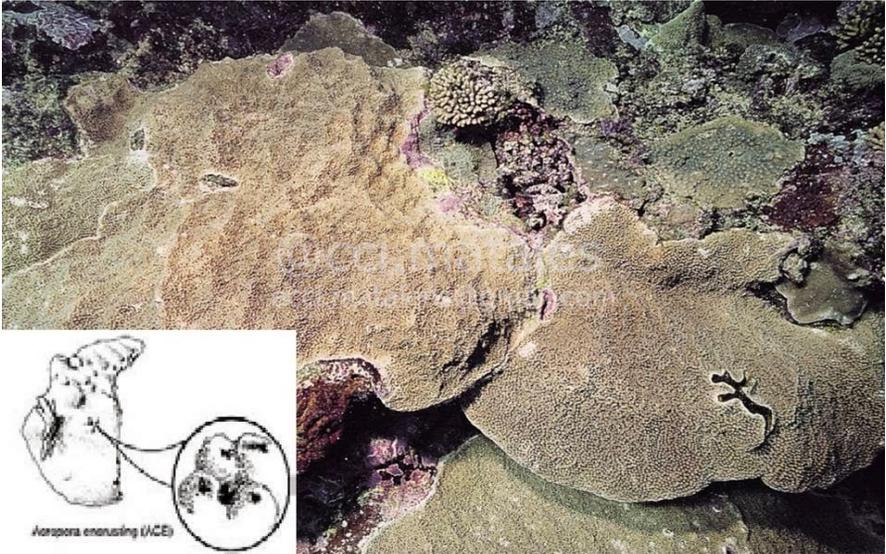
1. Acropora branching (ACB); Acropora yang bentuknya bercabang seperti ranting pohon.



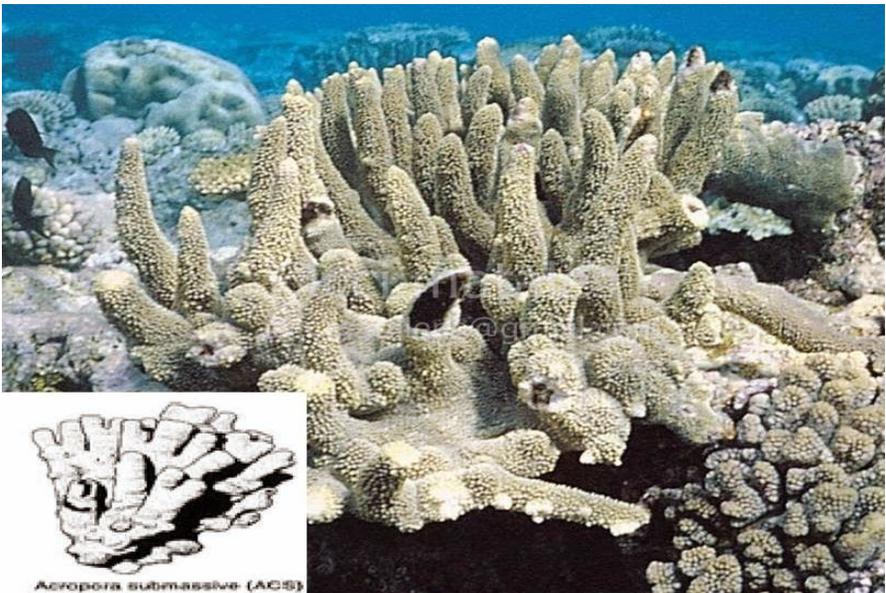
2. Acropora digitate (ACD); Acropora berjari dimana bentuk percabangan rapat dengan cabang seperti jari-jari tangan.



3. *Acropora ecrusting* (**ACE**); *Acropora* yang bentuknya merayap seperti mengerak, biasanya itu terjadi pada *Acropora* yang belum sempurna.



4. *Acropora submassive* (**ACS**); *Acropora* yang percabangannya berbentuk gada/lempeng dan kokoh.



5. *Acropora tabulate* (ACT); *Acropora* dengan bentuk bercabang dengan arah mendatar dan rata seperti meja. Karang ini ditopang dengan batang yang berpusat atau betumbu pada sisi membentuk sudut atau datar.

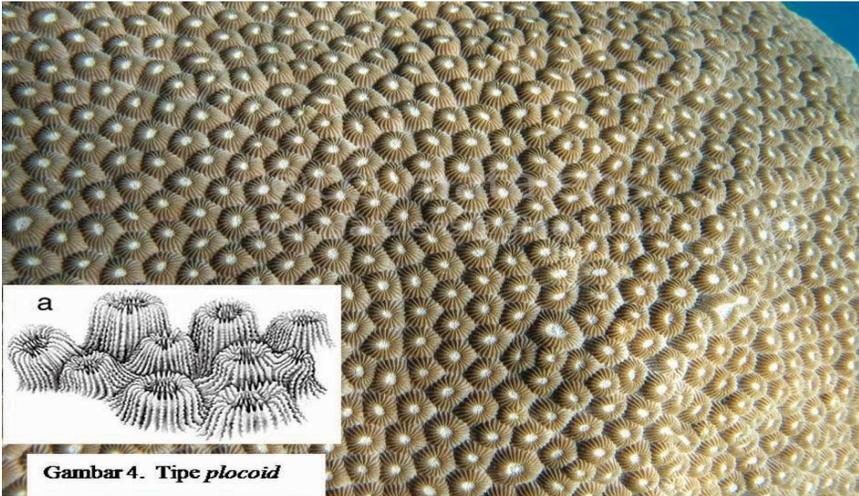


Lampiran 2. Bentuk Korallit Hewan Karang

Suatu korallit karang baru dapat terbentuk dari proses budding (percabangan) dari karang. Selain bentuk korallit yang berbeda-beda, ukuran korallit juga berbeda. Perbedaan bentuk dan ukuran tersebut memberi dugaan tentang habitat serta cara menyesuaikan diri terhadap lingkungan, namun faktor dominan yang menyebabkan perbedaan korallit adalah karena jenis hewan karang (polip) yang berbeda-beda.

1. Dinding terpisah

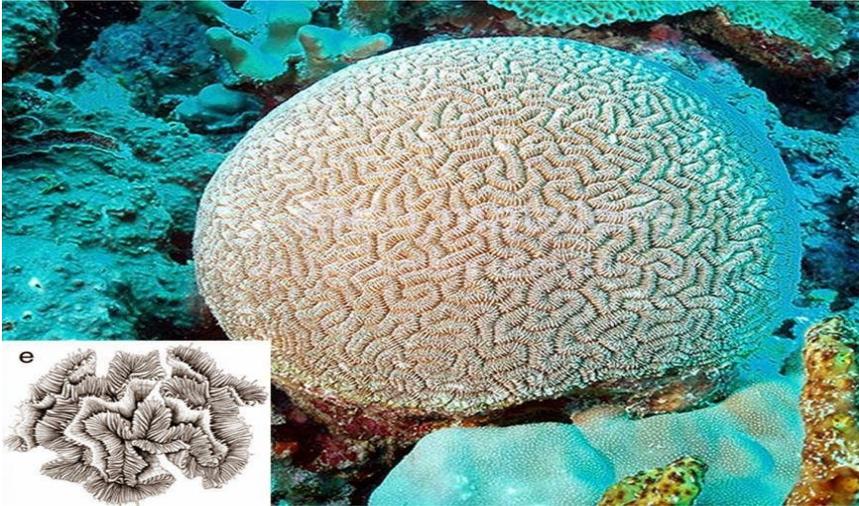
- a. Tipe Placoid; Masing-masing corallite memiliki dindingnya masing-masing dengan tonjolan menyerupai tabung yang dipisahkan oleh Coenosteum.



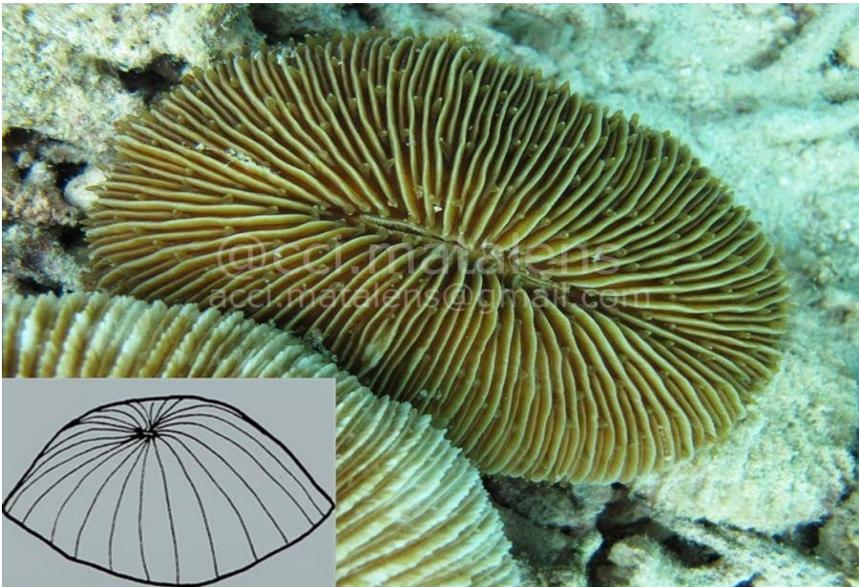
- b. Tipe Phaceloid; Apabila koralit memanjang membentuk tabung dan juga mempunyai corallite dengan dinding masing-masing yang dipisahkan oleh ruang kosong.



- c. Tipe Flabello-meandroid; Seperti meandroid, dimana membentuk lembah-lembah memanjang, namun corallite tidak memiliki dinding bersama.

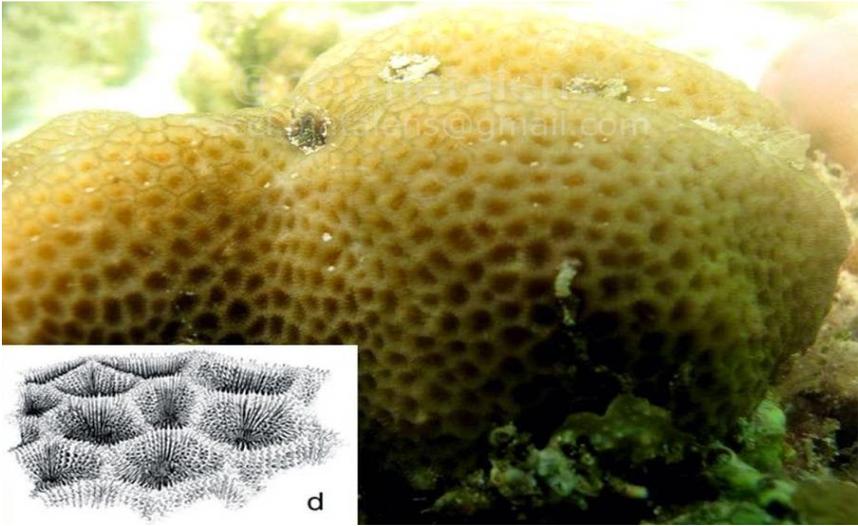


- d. Tipe Soliter; Tipe ini hanya terdiri atas satu corallite (tidak berkoloni). Umumnya memiliki dua bentuk yaitu bulat dan lonjong.

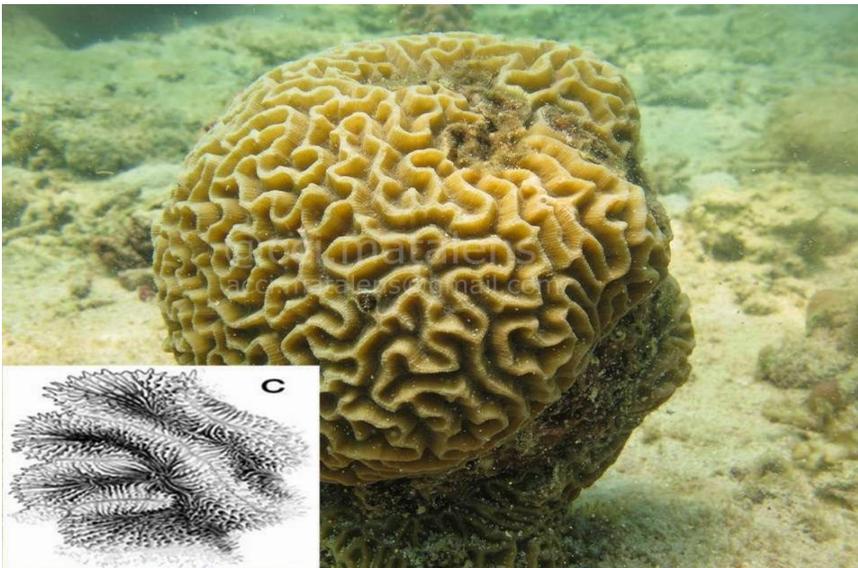


2. Dinding menyatu

- a. Tipe Cerioid; Apabila dinding corallite saling menyatu (bersanding satu sama lain) dan membentuk permukaan yang datar.



- b. Tipe Meandroid; Apabila koloni mempunyai corallite yang membentuk lembah dan corallite disatukan oleh dinding-dinding yang saling menyatu dan membentuk alur-alur seperti sungai.



3. Spesial

- a. Tipe Themnasteroid; Antar corallite tidak memiliki dinding, dimana membentuk kanal-kanal kecil yang terpusat.



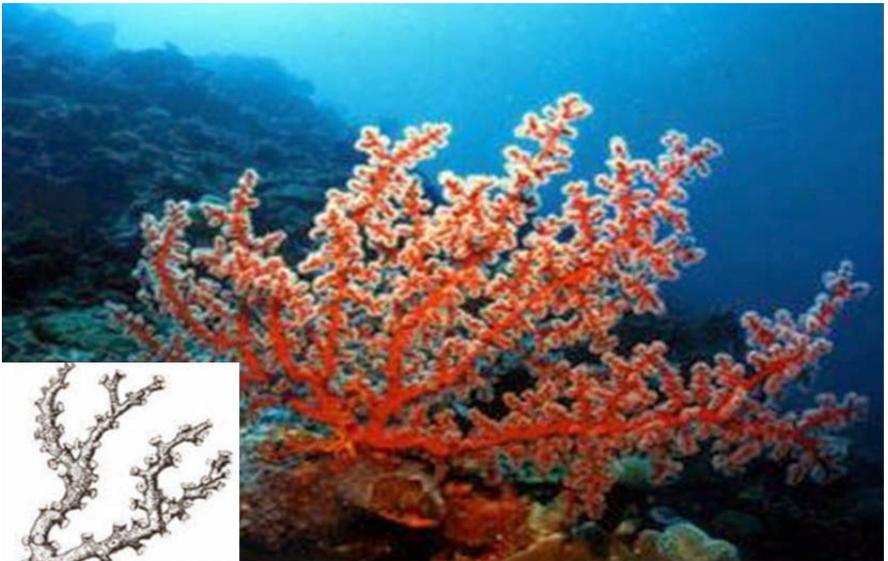
- b. Tipe Hydnochoroid; Corallite terbentuk seperti bukit yang masing-masing memiliki dinding pembatas, tersebar pada seluruh permukaan koloni.



- c. Tipe Flabellate; Bentuk koloni karang yang berlekuk-lekuk atau mempunyai alur yang berkelok dengan masing-masing koralit mempunyai dinding yang terpisah.



- d. Dendroid; Bentuk pertumbuhan koloninya hampir menyerupai pohon, dimana mempunyai cabang-cabang dan di ujung cabang biasanya di jumpai kalik utama.



RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kampung Baro, Sigli, Provinsi Nangroe Aceh Darussalam pada tanggal 18 Januari 1990, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Ir Murdani MP dan Ibu Mardhiah. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 03 Way Kandis, Bandar Lampung tahun 2002, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Lhokseumawe, Aceh tahun 2005 dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Lhokseumawe, Aceh 2008.

Penulis melanjutkan pendidikan S1 di Universitas Malikussaleh, Program Studi Budidaya Perairan dan meraih gelar Sarjana Perikanan (SPi) pada tahun 2012. Selanjutnya pada tahun 2013 melalui bantuan Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN) DIKTI penulis melanjutkan pendidikan pascasarjana Program Magister (S2) pada Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan (SPL) Institut Pertanian Bogor.

Pada tahun 2010 sampai 2013 penulis juga pernah menjadi Asisten Dosen dalam praktikum beberapa matakuliah jurusan Budidaya Perairan Universitas Malikussaleh. Penulis juga aktif mengikuti seminar seminar tentang pengelolaan pesisir dan lautan serta seminar bidang ilmu akuakultur.

*

This page is intentionally left blank

Terumbu karang merupakan salah satu ekosistem khas pada perairan pesisir di wilayah tropis. Terdapat dua penjelasan khusus terhadap terumbu dan karang, yang mana kedua buah kata ini bukan merupakan satu kesatuan, melainkan penggabungan kata dari terumbu dan karang yang akan dijelaskan pada ulasan dibawah ini. Karang merupakan individu-individu berukuran kecil yang disebut polip. Setiap polip seperti kantung berisi air yang dilengkapi dengan lingkaran tentakel yang mengelilingi mulutnya, dan terlihat seperti anemon kecil. Polip di dalam koloni terhubung oleh jaringan hidup dan dapat berbagi makanan. Sedangkan terumbu karang adalah struktur di dasar laut berupa deposit kalsium karbonat yang dihasilkan terutama oleh hewan karang. Karang adalah hewan tak bertulang belakang yang termasuk dalam Filum Coelenterata (hewan berrongga) atau Cnidaria.

Binatang karang terlihat seperti tanaman, padahal sebenarnya karang merupakan sekumpulan hewan-hewan kecil yang bernama polip. Orang yang pertama kali mengklasifikasikan karang sebagai binatang adalah J.A. de Peysonell, seorang ahli biologi dari Perancis pada tahun 1753. Dalam klasifikasi ilmiah, karang berada dalam filum Cnidaria, kelas Anthozoa. Terumbu karang (coral reefs) juga merupakan kumpulan masyarakat (binatang) karang, yang hidup di dasar perairan, yang berupa batuan kapur (CaCO_3), dan mempunyai kemampuan yang cukup kuat untuk menahan gaya gelombang laut. Terumbu terbentuk dari endapan-endapan masif kalsium karbonat yang dihasilkan oleh organisme karang pembentuk terumbu (karang hermatifik) dari filum Cnidaria, ordo Sclerectinia yang hidup bersimbiosis dengan alga zooxanthellae dan sedikit tambahan alga berkapur dan organisme lain yang mengsekresi kalsium karbonat.

UNIMAL PRESS

ISBN 978-602-464-077-4



9

786024

640774