

4. 2708

Karya ilmiah berjudul :
Ekosistem Terumbu Karang

UNIVERSITAS TERBUKA

Disusun oleh :
Budi Prasetyo
Nip. 131957296

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TERBUKA
JAKARTA
1997

Daftar Isi

Daftar Isi	.....	i
Latar Belakang	.....	1
Dasar Teori	.....	1
Permasalahan	.....	3
Pembahasan	.....	4
Kesimpulan	.....	27
Pustaka	.....	29

UNIVERSITAS TERBUKA

EKOSISTEM TERUMBU KARANG

Latar belakang

Di belahan tenggara Sulawesi yakni di Buton dan Tukangbesi, terdapat banyak panorama yang dapat menenteramkan jiwa, diantaranya adalah terumbu karang. Untuk mempertahankan kelestariannya, maka Indonesia pada tahun 2000 mencanangkan sebagai tahun dimana luas terumbu karang yang dilindungi tercatat sebagai yang terluas di dunia. Dan di dua daerah inilah Operation Wallacea berlangsung sejak dua tahun lalu. Namun karena terbatasnya sumberdaya yang ada maka masih begitu banyak kekayaan alam yang belum dapat dipelajari, mengingat survei ini tampaknya tidak mungkin selesai dalam 50-100 tahun lagi.

Salah satu tugas yang dapat diselesaikan dengan baik oleh para peneliti relawan adalah menaksir presentasi dari karang hidup di tiap kilometer 100 meter dari seluruh luas karang yang mencapai 600 km. Hasil dari penaksiran ini menunjukkan bahwa karang di Tukangbesi relatif belum rusak dibandingkan dengan karang di wilayah lain di Indonesia. Di seluruh Indonesia, 29% dari karang ditumbuhi oleh terumbu karang yang menutupi 50% dari permukaannya. Sementara 9% dari karang ditumbuhi oleh terumbu yang menutupi 75% dari permukaannya. Di Tukangbesi, angka ini mencapai 77% dan 39% (Republika, 1997).

Tukangbesi termasuk pada kawasan Indo Pacific yang dikenal sebagai daerah dengan keanekaragaman terumbu karang yang paling kaya di dunia. Sebagai contoh, lebih dari 2000 spesies ikan karang tercatat ada di Indo Pacific, apabila dibandingkan dengan daerah Karibia yang hanya memiliki 200 spesies (Republika, 1997). Dan sudah tidak asing lagi diharapkan dengan terjaganya kelestarian terumbu karang kita maka pengikisan pantai-pantai (abrasi) di perairan Nusantara ini akan berkurang minimal terkendali ; demikian juga dengan kelestarian keanekaragaman sumber hayati yang terkandung di dalamnya, khususnya kekayaan berbagai jenis ikan akan terpelihara dari kepunahan.

Penulis menyadari bahwa bahasan ini masih jauh dari jangkauan kesempurnaan, namun ada satu hal yang menenteramkan hati yakni setiap ketidak-cukupan penulis

dalam membahas masalah ini akan dikompensasi oleh teman-teman sejawat yang turut menyumbangkan pandangan mereka dalam karya ilmiah ini.

Dasar teori

Terumbu karang merupakan ekosistem pada perairan dangkal di laut tropis, ditandai oleh banyaknya variasi tanaman, hewan dan jumlah plankton yang banyak, selain itu memiliki laju produksi tinggi pada perairan laut yang miskin nutrisi. Dalam usaha untuk mengidentifikasi hubungan trofik organisme-organisme pada terumbu karang serta menjelaskan jalur-jalur aliran energi adalah sangat kompleks karena pada ekosistem yang berbeda terdapat asosiasi-asosiasi biotik yang tidak terhitung macamnya, sehingga dikawatirkan dapat mengaburkan hubungan trofik tersebut. Organisme-organisme dominan pada ekosistem ini, seperti karang memiliki sifat-sifat autotrof dan heterotrof dalam cara berproduksi, dan cara produksi inilah yang menentukan secara penuh apakah tinggi atau rendah laju produktivitas suatu ekosistem terumbu karang ?.

Kelimpahan dan kesuburan kehidupan pada terumbu karang telah menarik perhatian ahli-ahli biologi sejak jaman Darwin. Suatu gambaran tentang sebuah terumbu di Karibia, ditunjukkan pada gambar 1 (terlampir), namun masih sedikit perhatian untuk memamerkan keindahan nyata terumbu karang ini. Oleh karena terumbu merupakan penampakan konstruksional yang disusun oleh komponen-komponen skeletal dari karang dan organisme-organisme yang mensekresi batu kapur. Kerangka utamanya tersusun oleh karang-karang (terumbu) hermatipik, yang disekitarnya dikelilingi oleh algae-algae kalkareous (penghasil kapur) atau organisme sesil lain yang dilengkapi dengan aktivitas biogenik dan masukan sedimen. Sedimen-sedimen dihasilkan dari degradasi secara organik dan fisik dari penyusun terumbu, hasil pembentukannya dapat menjadi beberapa kali lebih banyak dari kerangkanya sendiri. Jadi suatu terumbu disusun oleh organisme-organisme yang menghasilkan dan mengikat struktur keras secepat yang terjadi pada erosi dan perusakannya. Karang-karang penyusun terumbu di daerah Indo-pasifik memiliki keaneka ragaman yang sangat tinggi yaitu ada 80 genus dan 700 species, sedangkan hewan karang penyusun terumbu di Atlantik jumlahnya terbatas yaitu hanya 26 genus dan ± 50 species (Goreau dan Wells, 1967).

Terdapat 3 (tiga) tipe utama terumbu yang dikenal, yakni terumbu tepi (fringing reefs), tumbuh di sepanjang garis pantai yang dangkal ; terumbu penghalang (barrier reefs), terdapat pada daerah lepas pantai dengan jarak tertentu dari daratan ; terumbu gobah/atol (atoll reefs), terbentuk akibat tenggelamnya puncak gunung berapi.

Temperatur dan cahaya merupakan faktor pembatas dalam pembentukan terumbu. Perkembangan terumbu yang baik ditentukan oleh temperatur air tahunan yang berkisar antara $23^{\circ}C$ sampai dengan $25^{\circ}C$, dan tidak akan terjadi pertumbuhan terumbu bila rata-rata temperatur tahunan berada di bawah $18^{\circ}C$. Cahaya berpengaruh pada proses fotosintesa dan ditentukan atas seberapa jauh kedalamannya dapat menembus air laut. Fotosintesis dapat dilakukan oleh zooxantella yang berada dalam jaringan karang dan pengatur laju kalsifikasi.

Terumbu karang sangat sensitif terhadap berbagai faktor penting di lingkungan laut, seperti terhadap salinitas, suplai oksigen & nutrisi, turbiditas, sirkulasi (arus) dan sedimentasi. Sebagai respon terhadap gradient faktor lingkungan, pada terumbu karang terbentuk zona-zona yang jelas seperti pita-pita paralel menyolok di pantai. Sisi yang menghadap ke laut dan sering menerima bentaman gelombang langsung, pada umumnya pertumbuhan terumbu lebih aktif serta ditandai oleh profil yang curam dengan perkembangan taji-taji dan rongga-rongga. Bagian sisi dalam tepatnya pada daerah pasang surut yang rendah (gelombang air laut lebih pelan), biasanya tersusun oleh pecahan-pecahan karang dan sedimen kapur. Aliran air yang melalui permukaan terumbu sangat penting artinya dalam mensuplai air ke dalam terumbu maupun sebagai alat transpor nutrisi dan bahan-bahan organik.

Permasalahan

Berkaitan dengan uraian di atas, tidaklah berlebihan apabila penulis mengemukakan beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Mengingat pentingnya untuk melestarikan dan memelihara kehidupan yang terdapat pada terumbu karang di perairan Nusantara, maka aspek-aspek apa saja yang membuat ekosistem terumbu karang memperlihatkan kenampakan yang subur (kaya) oleh organisme-organisme yang hidup di dalamnya ?.

2. Berkaitan dengan permasalahan nomer 1, maka sumber-sumber apa saja yang mendukung produktivitas primer dan sekunder, sehingga memperlihatkan dominasinya pada produksi yang terjadi dalam terumbu karang ?
3. Apakah yang menyebabkan produktivitas primer tinggi pada terumbu karang ?
4. Berapa besar biomasa yang mendukung laju produksi sekunder pada terumbu karang ?
5. Bagaimanakah hubungan trofik (makanan) diantara organisme-organisme yang hidup di dalam terumbu karang ?

Pembahasan

1. Beberapa aspek yang membuat kondisi ekosistem terumbu karang memperlihatkan kenampakan yang subur adalah sebagai berikut.

1.A. Produktivitas primer terumbu

Perkiraan produktivitas kotor yang dihasilkan air dipermukaan terumbu kira-kira antara $300-5000 \text{ gcm}^{-2}\text{th}^{-1}$. Suatu perbandingan laju produksi dari sejumlah terumbu karang yang berbeda ditunjukkan pada tabel 1. Nilai tertinggi untuk produktivitas kotor yang dilaporkan (Gordon dan Kelly, 1962) yakni $11.680 \text{ gcm}^{-2}\text{th}^{-1}$ dari sebuah terumbu di Hawaii. Secara umum laju produksi (P) dibandingkan dengan respirasi komunitas (R) adalah lebih besar, artinya secara umum terumbu memproduksi lebih banyak bahan organik dari pada yang digunakannya dalam sistem. Dari seluruh hitungan-hitungan terjadi tingkat produksi yang tinggi namun sebaliknya nilai nutrisi rendah di perairan sekitarnya. Jika laju-laju produksi primer pada terumbu karang dibandingkan dengan ekosistem yang lain, terumbu karang tampaknya memiliki nilai produksi primer setinggi kebanyakan perairan fertil (Westlake, 1963).

Bagaimana produksi ini dicapai, telah diperhatikan oleh Sargent dan Austin (1949) pada Atoll Rongelap di Pasifik. Demikian juga studi serupa oleh penulis yang lain seperti tertera pada tabel 1, sehingga telah dikonfirmasi menjadi kesimpulan umum oleh Sargent dan Austin (1954), bahwa perkembangan produksi pada air yang mengalir dipermukaan terumbu melebihi produksi di air laut sekitarnya. Laju produksi kotor fitoplankton adalah 10-100 kali lebih rendah dibandingkan produksi yang terukur di atas terumbu. Doty dan Ogury (1956) mencatat laju-laju produksi kotor $21-37 \text{ gcm}^{-2}\text{th}^{-1}$

pada perairan laut di sekitar Hawaii. Steemann - Nielson (1954) mencatat laju 28 $gcm^{-2}th^{-1}$ pada Rongelap di Pasifik, sedangkan Beers dkk. (1963) mendapatkan laju produksi 139 $gcm^{-2}th^{-1}$ pada Barbados di Karibia. Sournia dan Ricard (1976) mendapatkan nilai 37-153 $gcm^{-2}th^{-1}$ di Polinesia - Perancis (French Polynesia) pada sebuah laguna dalam sampai ke daerah yang dekat dari daratan. Jadi jelas bahwa sumber produksi autoktonus lebih banyak dari pada sumber dari input aloktonus dari sistem plankton. Sumber produksi internal ini adalah berupa tegakan alga benthik yang banyak.

Table 1. Comparison of estimates of primary production of coral reefs made by different authors*

Locality	Gross production ($gcm^{-2}yr^{-1}$)	Community respiration ($gcm^{-2}yr^{-1}$)	P/R	Ref.
Hawaiian coral reef, Coconut Islands	7300	12 370	0.59	Gordon and Kelly (1962)
Fringing coral reef, North Kapaa, Hawaii	2427	2200	1.1	Kohn and Helfrich (1957)
Eniwetok Atoll, Marshall Islands	4200	4200	1.0	Odum and Odum (1955)
El Mario reefs, Puerto Rico	4450	4100	1.1	Odum et.al (1959)
Eastern Reef. Rongelap Atoll, Marshal Isl.	1250	1090	1.1	Sargent and Austin (1954)
Kavaratti reef, Laccadives (not corrected for diffusion)	2250	880	2.5	Qasim et.al (1972)
Eniwetok Atoll, algal flat	4234	2190	1.9	Smith and Marsh (1973)
One Tree Island, lagoon reef	1387	1314	1.1	Kinsey (1972)
Eniwetok Atoll, coral algal flat	2190	2190	1.0	Smith and Marsh (1973)
Guam, reef flat	6900	2600	2.6	Marsh (1974)
Eniwetok Atoll, windward reef flat	3285	2190	1.5	Smith (1974)
Eniwetok Atoll, algal flat	5329	2190	2.4	Smith (1974)
Moorea, French Polynesia, fringing reef	2628	3052	0.86	Sournia (1976)

* Estimates of production and of biomass are given in $gcm^{-2}yr^{-1}$ wherever possible, throughout this article. Data given by authors in others units have been converted by factors contained in the International Biological Programme Report by Winberg (1971)

1.B. Produktivitas sekunder terumbu

a. Invertebrata bentik

Meskipun tersedia informasi diskriptif tentang fauna terumbu karang, namun hanya sedikit data kuantitatif yang dapat digunakan sebagai dasar untuk memperkirakan produktivitas, oleh karena kita lebih banyak memiliki data informatif tentang produktivitas primer dari pada produktivitas sekunder.

Jika satu kelompok hewan bentos pada terumbu dikelompokkan secara konvensional, maka akan dapat dibedakan menjadi 2 golongan yaitu epifauna dan infauna. Yang termasuk dalam golongan epifauna adalah karang serta organisme-organisme sesil seperti kelompok alcyonaria (karang lunak) dan spons masif. Sedangkan yang termasuk dalam golongan infauna adalah hewan-hewan yang menggali dalam substrat berbatu yang keras, seperti cacing, bivalvia, moluska dan bentuk-bentuk hewan substrat lain yang menggali sedimen-sedimen dekat terumbu. Walaupun sangat bervariasi dan beraneka ragam keduanya merupakan komponen khas dari terumbu, ini pula yang menyebabkan karang menjadi organisme-organisme dominan.

Dengan sedikit pengecualian karang merupakan pengkoloni substrat keras yang penting. Bentuk-bentuk koloni padat (encrusting), bercabang dan masif merupakan sebuah mosaik (cara/model adaptasi) spesies dalam menanggapi faktor-faktor lingkungan dan biotik. Perkiraan penutupan substrat berkisar antara 10%-90%. Apabila satu katagori terumbu karang sebagai pemakan suspensi yang sesil, maka mereka tergolong salah satu kelompok yang sukses secara ekologis dari invertebrata perairan dangkal. Crips (1975), mengemukakan bahwa populasi pemakan suspensi memiliki ciri biomasa dan produktivitas tinggi sehingga dikatakan efisien dalam mengkonversi makanan. Kenyataan menunjukkan bahwa kebanyakan pertumbuhan karang yang baik terdapat di bagian terumbu yang mengarah ke laut dan terdedah pada arus yang kuat, sehingga diyakini bahwa strategi makannya merupakan dasar bagi kesuksesannya.

Selanjutnya koloni-koloni karang menyediakan suatu substrat dan perlindungan bagi organisme yang hidup secara permanen maupun temporal. Suatu perbedaan dapat disebutkan antara bentuk-bentuk infauna penggali kerangka karang dan bentuk-bentuk

kriptik (pewarnaan tubuh yang menyerupai corak lingkungannya) yang hidup secara eksternal dalam perlindungan yang disediakan oleh koloni-koloni bercabang. Organisme-organisme penggali menyebabkan kerusakan karang, bukan hanya oleh degradasi karbonat tetapi juga oleh pendedahan kerangka muda pada dissolusi kimia dan pelemahan struktur. Seperti Spons-spons, Sipunculidae, Cacing Polychaeta, Mollusca, dan Crustacea, semua hewan tersebut dapat menggali batu karang secara kimiawi atau mekanik. Dan diperkirakan jumlah kerusakan kerangka karang serta pemulihannya kembali oleh hewan pengebor dapat mencapai 60% dari seluruh badan karang (Mac Gaechy dan Stearn, 1976). Jumlah spesies dari sebuah karang batu, yang dicatat oleh Gibbs (1971) sampai 2000 individu yang tersebar dalam 220 spesies. Bahkan seorang ahli telah meneliti ada 1517 individu dari 37 spesies dari beberapa koloni.

Menurut Patton (1976) menerangkan bahwa terdapat asosiasi fauna dengan karang, yang selanjutnya terjadi interaksi antara karang dengan penghuni-penghuninya, interaksi yang dimaksud adalah pada penekanan frekuensi simbiotik dan hubungan obligatori.

Simbiosis-simbiosis yang melekat atau menggali sering kali mengalami perubahan struktur untuk dapat hidup dalam koloni karang dan ini dapat menginduksi perubahan-perubahan dalam pertumbuhan kerangkanya. Beberapa contoh antara lain : spons *Karibia Mycale* yang tumbuh di bawah permukaan menyebabkan pembentukan lekukan perifer yang cekung pada osikel bagian atas dari spons. Sejumlah *Crustacea* seperti barnacles dari genus *Pyrgoma* dan *Ketam hapalocarinida* yang tertutup oleh kerangka karang akan membentuk cangkang seperti pundi-pundi (galls) dan beberapa macam *Gastropoda* vermetid, membentuk tabung disekitar kerangka karang atau jaringan.

Asosiasi karang sangat beragam dan secara numerik meliputi banyak kelompok, termasuk “filter feeder” (memakan partikel dengan penyaring) dan pemakan suspensi yang tidak menggunakan tegakan produsen primer bentik. Alga bentik pada dasarnya dikonsumsi oleh beberapa kelompok Landak laut, Crustacea, Moluska serta *Gastropoda*. Pemakan berbagai jenis alga yang menunjukkan jumlah berlimpah dan bersifat herbivora adalah jenis landak laut berduri panjang dari genus *Diadema* yang banyak terdapat di laut Atlantik, Pasifik dan India. Menurut Stearn dan Scoffin (1977) menerangkan bahwa,

Diadema dapat merusak terumbu secara lebih cepat dari pada penyusunan kembali calsium carbonat.

Dalam memperhatikan invertebrata tingkatan trofik ketiga, pada umumnya contoh yang paling jelas dari karnivora adalah bintang laut *Acanthaster*. Dengan semua hasil-hasil perhitungan predator karang ini dapat merusak dengan cepat area terumbu, dari hasil penelitian diketahui memiliki kepadatan sampai 14000/km. Berbagai cara telah diambil untuk menghitung terjadinya kerusakan oleh populasi *Acanthaster* yang besar, namun sampai sekarang juga belum dapat diprediksi secara tepat jumlah kerusakan tersebut. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa melimpahnya *Acanthaster* ini kemungkinan disebabkan interferensi manusia karena keinginan untuk mengkolleksi atau karena adanya pencemaran air laut.

Walaupun data pendukung tersebar luas, ada satu kesan bahwa, dengan mengecualikan *Echinoidea herbivor* serta Bintang laut *Acanthaster herbivor & karnivor*, epifauna tidak memberikan proporsi yang signifikan dalam hal biomasa dan produktivitas sekunder pada terumbu karang. Pada umumnya biomasa disini, tampaknya ditentukan oleh pemakan filter dan pemakan suspensi yang hidup secara infauna atau berasosiasi dengan koloni-koloni bercabang. Bagaimanapun informasi yang cukup tentang biomasa kelompok ini didasarkan pada jumlah hewan saja. Terdapat keperluan yang besar untuk mengkuantifikasi biomasa invertebrata pada terumbu dan juga informasi tentang ekologi makannya. Dan sumber-sumber makanan untuk kelompok ini tampaknya harus datang dari produksi primer dan juga dari sumber-sumber allochthonous.

b. Ikan terumbu karang

Ikan memainkan peranan penting dalam ekonomi terumbu karang, sebagai herbivor dan predator dan juga dalam proses-proses erosi karbonat dan produksi sedimen. Umumnya studi-studi yang telah dilakukan selama ini menekankan keanekaragaman spesies ikan terumbu, jumlah maksimum spesies ± 3000 ditemukan di Laut Indo Pasifik barat.

Herbivora-herbivora penting yang umum adalah *Scaridae* (Parrot fish) dan *Acanthuridae* (Surgion fish). Mereka umumnya mengkonsumsi lembaran-lembaran alga

filamen dan alga-alga lain yang memiliki pertumbuhan lambat, serta Diatomae yang ada di permukaan. Bakus (1966) beranggapan bahwa herbivora-herbivora disini sangat dipengaruhi oleh struktur komunitas alga dan struktur komunitas produsen sekunder.

Beberapa ikan karnivor memanfaatkan sumber makanan yang berbeda pada tahap pertumbuhan yang berbeda pula. Dan diantara spesies yang benar-benar karnivor adalah Chaetodontidae (Angel fish dan Butterfly fish) yang memakan organisme sesil. Pada umumnya pemangsaan ikan terhadap polip karang adalah rendah.

2. Sumber-sumber yang mendukung produktivitas primer dan sekunder, sehingga memperlihatkan dominasinya pada produksi yang terjadi dalam terumbu karang

2.A. Basis untuk produksi primer

Besarnya jumlah bentos produsen primer yang melebihi fitoplankton merupakan ciri khas dari ekosistem terumbu. Produsen-produsen bentos sangat beraneka ragam dan khas pada setiap habitat. Katagori-katagori yang bervariasi dari alga bentik meliputi :

1. makrofita berdaging,
2. alga filamen endolitik,
3. alga epilitik berfilamen dan alga penghuni pasir,
4. alga yang menempel pada batu karang,
5. zooxantella simbiotik, serta
6. rumput laut.

Makrofita berdaging secara umum merupakan elemen yang tidak jelas sebagai produsen pada terumbu karang, tetapi biasanya berlimpah di habitat air dangkal yang ada di belakang terumbu dan memberi sumbangan penting terhadap jumlah total produksi terumbu secara lokal.

Alga filamen biru-hijau pengebor membentuk suatu pita atau lapisan pada permukaan kerangka dari karang-karang hermatipik yang hidup dan juga menempati permukaan batu-batu terumbu yang mati, serta merupakan penyusun material tanaman (94%) dari kerangka karang (Odum and odum, 1955). Namun demikian tampaknya

bahwa alga ini tidak memberikan sumbangan penting terhadap produksi primer terumbu, karena hanya meliputi persentase yang kecil (0.001%), yakni pada saat cahaya dapat menembus lapisan filamen (Halldal, 1968), sementara beberapa ahli tetap menganggap penting kelompok produsen primer ini.

Alga epilitik berbentuk filamen, termasuk alga hijau dan alga biru-hijau yang membentuk lapisan tebal pita pada permukaan batu terumbu dan dapat mengikat partikel-partikel sedimen. Pada sela-sela pasir di bagian struktur dasar terumbu karang, disini banyak ditemukan lapisan/kumparan tebal Cyanophyta seperti *Oscillatoria*.

Alga merah koralin banyak berlimpah pada substrat berbatu di terumbu dan daerah pasang-surut di iklim tropik dan bertanggung jawab dalam pembentukan gundukan/punggung alga (algae ridge), sehingga merupakan suatu penampilan konstruksional yang menyolok, seperti terumbu karang di perairan Pasifik. Alga ini tumbuh subur pada lingkungan yang berenergi gelombang tinggi.

Zooxantella simbiotik ditemukan pada jaringan karang-karang hermatipik. Pendapat tentang hubungan fungsional antara karang hermatipik dengan Zooxantella sampai sekarang tetap masih kontroversial namun demikian kesepakatan pendapat menyebutkan bahwa Zooxantella mempunyai peranan mampu menyumbangkan karbon organik pada hospesnya, mempengaruhi daur ulang nutrisi, dan mengatur penumpukan kalsium pada karang.

Rumput laut seperti *Thalassia* dan *Cymodocea* sering berasosiasi keberadaannya dengan terumbu karang pada habitat di belakang terumbu atau di laguna. Keberadaan rumput laut juga penting dalam stabilisasi sedimen (Gisburg dan Lowenstam, 1958), menciptakan habitat bagi organisme-organisme bentos yang lain, serta penting sebagai penangkap/penyerap nitrogen.

Produksi secara kualitatif oleh berbagai produsen bentos sudah pasti berbeda di setiap tempat. Laju produksi kotor dan bersih dari setiap jenis tertera pada tabel 2 dan dinyatakan dalam satuan gcm^{-2} penutupan tanaman. Laju produksi bersih umumnya bervariasi antara 200-1000 $gcm^{-2}th^{-1}$.

2.B. Basis untuk produksi sekunder

Adanya laju produksi primer yang tinggi merupakan ciri khas dari terumbu karang, selanjutnya kita harus mengetahui seberapa jauh mobilisasi produksi primer ini untuk mendukung tingkatan trofik yang lebih tinggi. Kebanyakan setiap studi produksi kotor oleh produsen primer melebihi respirasi komunitas, tetapi bagaimana hubungan (masuknya) energi ini dalam pembangunan terumbu karang. Disamping itu penggunaan langsung produksi primer oleh herbivor dalam rangka untuk mendukung produksi sekunder dapat berlangsung dengan beberapa cara, termasuk translokasi materi organik ke dalam karang itu sendiri, dekomposisi detritus dari produsen sekunder, serta pemanfaatan partikel tersuspensi dari sumber-sumber autochthonous dan allochthonous.

a. Fitoplankton

Dengan mengecualikan beberapa laguna Atol yang terisolasi, produksi kotor fitoplankton dalam perairan terumbu adalah rendah untuk dapat mendukung beberapa substansi tegakan produksi sekunder. Catatan khusus oleh Sournia dan Ricard (1975) menunjukkan laju produksi $37-154 \text{ gcm}^{-2}\text{th}^{-1}$ di Pasifik. Bagaimanapun nilai ini tetap jauh di bawah produksi Alga bentik. Nilai produksi fitoplankton yang rendah tampaknya menghasilkan populasi herbivora-herbivora planktonik yang kecil. Qasim (1970) menemukan bahwa produksi primer bersih rata-rata tahunan adalah $124 \text{ gcm}^{-2}\text{th}^{-1}$ hanya kira-kira 30% diperlukan oleh herbivora planktonik di Estuaria.

b. Zooplankton

Suplai zooplankton dalam perairan yang melintas di atas terumbu karang telah dianggap cukup untuk mensuplai kebutuhan nutrisi karang dan invertebrata bentik yang lain. Johannes dan Tepley (1974) mendapatkan bahwa biomasa zooplankton yang ada hanya dapat mensuplai 20% kebutuhan respirasi *Porites lobata*, sedangkan Porter (1974a) telah mengati bahwa karang *Karibia Montastrea annularis* hanya memperoleh sejumlah persentase kecil untuk kebutuhan pemeliharaannya dari plankton.

Laju pemangsaan karang pada zooplankton di lapangan belum pernah terukur. Namun pada salah satu studi dalam laboratorium ditunjukkan bahwa karang-karang dapat menangkap cukup zooplankton untuk memenuhi kebutuhan respirasinya. Plankton-plankton laut secara pasti ditangkap oleh karang untuk menurunkan biomasa plankton sampai antara 23%-60% menurut hitungan Tranter dan George (1972).

Penelitian yang terbaru telah menunjukkan bahwa terdapat sumber-sumber tambahan zooplankton yang tidak pernah dihitung sebelumnya. Hal ini sekarang telah diterima secara umum bahwa terumbu karang merupakan tempat berbagai populasi, tempat berbagai taksa yang merupakan komponen-komponen dari terumbu itu sendiri, karena tidak terdapat pada laut yang tidak berterumbu. Fauna terumbu ini terdiri dari komponen-komponen seperti bentuk-bentuk epibentik dan holoplanktonik. Keduanya selama siang hari berada pada substrat dasar dan bermigrasi ke bagian permukaan pada malam hari. Sedangkan sumbangan dalam bentuk biomasa plankton untuk sebuah terumbu oleh takson-takson yang ada (penghuni) belum pernah dihitung atau diperkirakan kontribusinya terhadap produktivitas sekunder. Dari sini tampaknya bahwa tegakan zooplankton lebih tinggi dari pembicaraan sebelumnya. Hamner dan Carelton (1979) telah mencatat suatu nilai kepadatan Copepoda berkelompok yang sangat tinggi (500.000-1.500.000 individu/m³) di Terumbu Australia dan Palau.

c. Materi partikel organik

Sejumlah studi telah menunjukkan bahwa air yang melintasi permukaan karang menjadi kaya dengan partikel-partikel, yang dapat berasal dari fragmen-fragmen alga, pelet feses, mucus karang maupun dari agregasi miscellaneous materi organik (Gerber dan Marshall, 1974). Fluktuasi bahan organik ini dalam berbagai bentuknya diperkirakan dapat mencapai $20-40 \text{ gdw} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ (Glynn, 1973a). Materi autochthonous ini merupakan sumber energi bagi produksi sekunder, yang secara jelas dihasilkan dari produksi primer serta dari materi yang didaur ulang oleh tingkatan trofik kedua. Sournia (1977) mengamati bahwa pada umumnya penyusun organik yang tersuspensi di daerah terumbu adalah berasal dari detritus di alam. Pada terumbu dimana kondisi herbivora berlimpah dalam jumlah yang besar maka materi detritus dihasilkan dari bahan feses.

Hawkins (1979) memperkirakan bahwa *Diadema* mampu mengkonsumsi 20% produksi primer, dan 18% makanan yang dikonsumsi tersebut dilepaskan sebagai feses, dan jumlah ini kira-kira mencapai $26 \text{ kcal.m}^{-2}\text{th}^{-1}$. Materi ini tentunya akan digunakan oleh pemakan filter dan pemakan suspensi yang ada di terumbu.

d. *Produksi mikrobial*

Mikroorganisme terumbu karang baru belakangan ini dipelajari secara lebih detail, walaupun mikrobial ini jelas sangat penting. Yang pasti tidak mungkin suatu ekosistem beroperasi tanpa fungsi dari mikroorganisme sebagai pengurai dan pemfiksasi nitrogen dan peranannya dalam proses-proses biogeokimia. Salvo (1973) telah mengamati bahwa bakteri memiliki suatu fungsi regeneratif dalam ekosistem terumbu dan menyediakan mekanisme-mekanisme aktif untuk penyimpanan nutrisi. Pada umumnya populasi mikrobial terdapat dalam air yang mengalir di atas permukaan terumbu, di dalam sedimen-sedimen, di dalam rongga internal terumbu serta pada detritus tersuspensi. Perkiraan biomassa mikrobial dan produksi dalam berbagai habitat terumbu pada air yang mengalir di atas terumbu ditunjukkan pada tabel 3.

Perbandingan produksi mikrobial dan produksi mikroalga dalam sedimen-sedimen dan fitoplankton dicantumkan pada tabel yang sama. Dari tabel 3 dapat dilihat suatu keadaan bahwa produksi oleh bakteri memiliki urutan yang sama seperti fotosintesis dan produksi mikrobial yang lebih tinggi ditemukan pada sedimen cucian dari karang yang mati. Produksi oleh bakteri dalam air yang mengalir dipermukaan terumbu sebanyak 70 kali dari produksi fotosintesis di perairan sekitarnya. Jika gambaran ini dihitung dalam satuan meter persegi, dari perbandingan dengan data produksi yang lain dalam tabel 1 dan tabel 2 kita menemukan bahwa produksi oleh mikrobentos kira-kira $300 \text{ gcm}^{-2}\text{th}^{-1}$. Sedangkan produksi oleh fitoplankton hanya mencapai kira-kira $11 \text{ gcm}^{-2}\text{th}^{-1}$. Data ini mirip dengan laju-laju yang telah diketemukan oleh Sournia (1976) yaitu telah mengukur produksi kira-kira $400 \text{ gcm}^{-2}\text{th}^{-1}$ di substrat pasir pada Laguna Takapoto di Pasifik.

Sorokin (1975) menyimpulkan bahwa konsentrasi normal bakteri dalam perairan terumbu dan dalam sedimen telah cukup untuk mencukupi kebutuhan pemeliharaan harian

konsumen bentik termasuk karang. Jadi bakteri merupakan sebuah sumber makanan potensial untuk pemakan filter dan pemakan suspensi dan memiliki fungsi penting dalam metabolisme internal terumbu dengan cara meniralisasi dan regenerasi nutrisi.

Table 2. Comparison of estimates of primary production of benthic algae, *Thalassia* and corals

Organisms and Locality	Gross production ($gcm^{-2}yr^{-1}$)	Net production ($gcm^{-2}yr^{-1}$)	P/R	Ref.
Corallinaceae, Eniwetok and Hawaii	547	241	1.8	Marsh (1970)
Corallinaceae, Hawaii	2555	2080	5.4	Littler (1973)
Corallinaceae, Curacao	890	370	1.7	Wanders (1976a)
<i>Halimeda</i> , Jamaica	1460	839	2.3	Hillis-Collinvaux (1974)
<i>Oscillatoria</i> , Moorea	416	226	2.2	Sournia (1976)
Fleshy and filamentous algae, Curacao	712	452	2.7	Wanders (1976a)
<i>Sargassum, platycarpum</i> , Curacao	3840	2550	2.9	Wanders (1976b)
Chlorophyceae, Laccadives	1402	693	1.9	Qasim <i>et al</i> (1972)
Fleshy and filamentous algae, Virgin Islands	10950	6278	2.3	Connor and Adey (1977)
<i>Thalassia</i> , Jamaica	-----	704	----	Greenway (1974)
<i>Thalassia</i> , Cuba	-----	585	----	Buesa (1974)
<i>Thalassia</i> , Barbados	-----	368	----	Patiquin (1973)
<i>Thalassia</i> , Florida	-----	534-712	----	Zieman (1968)
<i>Thalassia</i> , Puerto Rico	-----	800	----	Burkholder <i>et al.</i> (1959)
Gorgonacea, Fla.	2080	533	3.9	Kanwisher and Wainwright (1967)
Scleractinia, Fla.	2385	769	3.1	Kanwisher and Wainwright (1967)

Table 3. Biomass and production of bacteria in (a) coral sediments and (b) reef waters and in the open ocean. (From Sorokin, 1974)

(a) Biomass and production of bacteria in coral sediments

Position of sampling and character of sediment	Total number of bacteria (10 gm^{-1})	Biomass of bacteria (mgCgm^{-1})	Production of bacteria ($\text{mgCgm}^{-1}\text{day}^{-1}$)	Photosynthetic production ($\text{mgCgm}^{-1}\text{day}^{-1}$)
Kanchoe Bay. Hawaii internal reef, sand among dead corals	2.6	66	30	18.5
Kanchoe Bay. external reef, coarse sand	0.3	4	0.8	3.2
Kanchoe Bay. detrital sediment washed from dead coral	9.7	910	436	550
Majuro Atoll, internal reef, fine sand among corals	3.5	88	35	74
Majuro Atoll, scraped material from dead corals	0.32	17	11	18
Fanning Atoll, corall sand	3.1	91	23	38
Great Barner Reef (Australia), Heron Island, coral sand	1.68	52	28	61

UNIVERSITAS TERBUKA

(b) Biomass and production of bacteria in reef waters and in the open ocean

Place of sampling	Total number of bacteria ($10^3 ml^{-1}$)	Biomass of bacteria ($mgCm^{-3}$)	Production of bacteria ($mgCm^{-3} day^{-1}$)	Photosynthetic of phytoplankton ($mgCm^{-3} day^{-1}$)
Surface tropical waters, north trade-wind current Pacific Ocean	68	1.7	2.6	0.5
Kanoho Bay, Hawaii, water over the reef	1070	43	28.0	36
Majuro Atoll, water over the reef	490	19	7.4	4
Butaritari Atoll, water over the reef	2830	170	41.5	37
Same, water in lagoon	1970	79	24.0	17
Ninigo Atoll, water over the reef low tide	620	32	21.0	9
Same, high tide	290	13	7.2	4
Saint Andrew reef, (Admiralty Islands) water over the reef, low tide	740	21	14.1	7
Same, high tide	370	11	7.4	3

3. Alasan-alasan mengapa produktivitas primer dapat tinggi

Sebuah alasan mendasar untuk laju produksi primer yang tinggi adalah disebabkan oleh banyaknya energi cahaya yang dapat dipakai oleh produsen bentik di perairan hangat, dangkal dan jernih. Tingkat produktivitas tinggi dari vegetasi-vegetasi yang tergenang dan terdedah di perairan dangkal, merupakan ciri dari rawa payau, daerah intertidal dan daerah litoral yang lain. (Odum, 1971)

Alasan kedua yang penting adanya penekanan pada adanya fiksasi nitrogen di atmosfer. Menurut Johannes, dkk (1972) mengatakan, bahwa air miskin nutrisi yang melintasi permukaan terumbu menjadi sangat kaya dengan bentuk-bentuk nitrogen. Sumber yang paling kecil dari produksi nitrogen telah diketemukan oleh seorang ahli yakni fiksasi nitrogen oleh Alga biru-hijau *Calothrix crustacea*, tampaknya terdapat

spektrum luas (macam) pemfiksasi nitrogen pada terumbu dan pada sedimen terumbu. Patriquin dan Knowles (1972) berpendapat, bahwa fiksasi nitrogen oleh bakteri anaerob dalam penguraian substrat dari lapisan akar *Thalassia*. Bahkan ada yang berpendapat fiksasi nitrogen dilakukan oleh epifit yang tumbuh pada *Thalassia* yaitu pada pecahan-pecahan karang. Tampaknya bahwa nitrogen tidak secara keseluruhan menjadi nutrisi pembatas, tetapi akan difiksasi (diikat sendiri) sebesar yang diperlukan oleh produsen primer. Wiebe dkk. (1975), mendapatkan laju fiksasi nitrogen yang dilakukan oleh algae *Calothrix* sebesar $65.7 \text{ gNm}^{-2}\text{th}^{-1}$. Sementara fiksasi nitrogen oleh epifit *Thalassia* telah diperoleh oleh Goering dan Parker (1975) dapat mencapai $105 \text{ gNm}^{-2}\text{th}^{-1}$.

Mekanisme ketiga, yakni penyimpanan dan siklus ulang nutrisi dalam sistem terumbu. Dalam beberapa keadaan penyimpanan bisa dengan cara sederhana, yakni dengan sirkulasi hidrografi, sebagai contoh pada Atol Fanning di Pasifik, sirkulasi hidrografi nitrogen dapat terjadi dalam satu bulan untuk merubah secara kompleks di laguna, akibatnya hanya satu porsi kecil berkurangnya nutrien dari produksi harian laguna dibanding perairan disekitarnya. Menurut Kinsey (1974) menjelaskan, bahwa terdapat penyimpanan nutrien dalam perairan fertil buatan, di tempat karang yang terisolasi yaitu pada terumbu penghalang besar. Sebagai akibat fertilisasi dan penyimpanan nutrien daerah percobaan di atur sebagai sistem autotrofik.

Berdasarkan alasan bahwa tidak adanya penurunan konsentrasi nutrient di air yang mengalir di atas permukaan terumbu pada Atol Eniwetok di Pasifik, Johannes dkk. (1972) menyimpulkan bahwa suatu mekanisme siklus ulang terjadi. Hal inipun didukung atas penemuan pada lokasi yang sama bahwa walaupun kadar fosfat secara konsisten rendah ternyata tidak terdapat perbedaan konsentrasi dalam air di stasiun-stasiun pada aliran permukaan dan aliran bawah. Gilmartin (1960) berpendapat bahwa nilai fosfat secara konsisten lebih tinggi pada air di dasar dari pada air di permukaan terumbu karang, akhirnya diyakini bahwa regenerasi nutrien terjadi dalam air di permukaan substrat.

Siklus ulang nutrisi juga terjadi dalam terumbu karang sendiri. Terdapat beberapa peristiwa dimana terumbu karang dapat mengambil nitrat dari air (Franzisket, 1974). Ditemukan juga bahwa, nitrogen terlarut dalam bentuk amonium, diekskresikan oleh

jaringan karang, kemudian amonium ini diambil oleh Zooxantella simbiotik (Kawaguti, 1953 ; Muscatine dan D'Elia, 1978).

Penyerapan dan penyimpanan amonium dipertinggi oleh cahaya, sehingga pengambilan siang hari cukup untuk menyokong penyimpanan amonium bersih selama malam hari. Zooxantella tampak memiliki kemampuan menahan amonium dari hewan yang mensekresi amonium dan mendapatkan amonium dan nitrat dari lingkungan.

Akhirnya Di Salvo (1974) menekankan bahwa bakteri berperanan penting dalam penyimpanan dan siklus ulang nutrisi pada rongga terumbu dan sedimen, sehingga Patriquin (1972) menyimpulkan bahwa sedimen-sedimen pada hamparan rumput laut, *Thalassia* berperan sebagai reservoir dan sumber fosfat organik.

4. Gambaran biomasa yang mendukung laju produksi sekunder pada terumbu karang

Laju-laju produksi sekunder pada terumbu karang sangat sulit untuk diperkirakan dari biomasa ? Glynn (1973b) telah mengumpulkan suatu tabel jumlah individu dan biomasa pada sebuah terumbu di Karibia (Tabel 4). Biomasa karang termasuk skeletonnya, adalah beberapa kali lebih tinggi dibandingkan total seluruh invertebrata yang lain. Bahkan dalam hal ini biomasa jaringan karang meliputi kira-kira 75% dari total dalam satuan m^2 atau kira-kira sama dengan 144 gCm^{-2} , sedangkan biomasa total semua hewan invertebrata adalah $376,7 \text{ g protein } m^2$ atau kira-kira 196 gCm^{-2} .

Odum and Odum (1955) juga telah menentukan biomasa invertebrata dan ikan pada terumbu karang di Pasifik dan telah melaporkan suatu nilai rata-rata sebesar $143 \text{ g dwt. } m^{-2}$ tidak termasuk materi skeletal. Apabila mendapatkan karbon organik sebanyak 20% dari tiap gram berat basah, maka biomasa organik kira-kira 30 gCm^{-2} , dan dari nilai ini kira-kira $10-20 \text{ gCm}^{-2}$ adalah jaringan karang.

Tabel 4. Numbers and biomass of invertebrates per m^2 on Pacific reef (From Glynn, 1973b)

Group	Number of individuals	Biomass (g dry wt and incl. skeletons)	Biomass (g protein)
Scleractinia	several colonies	12002.3	285.5
Zooanthidae	2 colonies	1.1	0.4
Polychaeta	23.160	6.7	3.2
Sipunculidae	20	0.9	0.7
Crustacea	2668	40.3	14.9
Mollusca	137	59.4	10.0
Echinodermata	2002	263.3	52.6
Pisces	15	6.1	3.6

Biomasa Polychaeta dalam kumpulan karang di daerah Bahamas telah dihitung oleh Victor dan Johnson (1970) serta oleh Clausade (1970) dalam satuan volume koloni, dan diperoleh data sebesar 0.19 gCm^{-2} dalam satuan m^2 untuk total Polychaeta. Sedangkan Kohn dan Lloid (1973) menentukan nilai biomasa Polychaeta di laut India antara $2-6 \text{ g dwt. m}^{-2}$.

Menurut Richard (1977) telah mendapatkan laju produksi kerang raksasa *Tridacna* di Pasifik sebesar $0.08 \text{ gcm}^{-2}\text{th}^{-1}$ dengan rasio P/B = 0.23, sedangkan Hawkins (1979) telah menghitung bahwa laju produksi *Diadema* sebesar $61.2 \text{ gcm}^{-2}\text{th}^{-1}$ dengan rasio P/B = 2.

Terdapat sejumlah perkiraan biomasa ikan pada terumbu karang, dan menurut perhitungan Bardach (1959) memberikan gambaran sebesar $22 \text{ kcal m}^{-2}\text{th}^{-1}$ yaitu sebagai produksi energi di Terumbu Bermuda. Dan perkiraan biomasa ikan pada sejumlah terumbu ditunjukkan pada tabel 5. Nilai tertinggi 35 gCm^{-2} diperkirakan oleh Randall (1963) pada terumbu buatan, sedangkan Goldman dan Talbot (1976) memperkirakan bahwa kira-kira nilai 40 gCm^{-2} adalah nilai yang dapat didukung oleh sebagian terumbu.

Beberapa pertimbangan produksi terumbu karang harus dilakukan dalam menghitung perkembangan struktur fisik terumbu, laju pertumbuhan karang, degradasi batu terumbu dan aksi biologi akibat dari masukan dan segmentasi. Berarti laju pertumbuhan terumbu berkaitan dengan tingkat trofik primer dan sekunder.

Tabel 5. Estimates of abundance of fish on reefs. (From Stevenson and Marshall, 1974)

Location	Wet weight		Ref.
	(gm^{-2})	(gCm^{-2})	
Offshore reef, Great Barrier Reef	209	4.2	Talbot and Goldman (1972)
Fringing reef, Hawaii	62	1.2	Brock (1954)
Reef flat, Eniwetok Atoll	9	0.9	Odum and Odum (1955)
Patch reef, Bermuda	49	1.0	Bardach (1959)
Fringing reef, Virgin Islands	160	3.2	Randall (1963)
Fringing reef, Virgin Islands	38	0.1	Dammann (1969)
Artificial reef, Virgin Islands	1750	35.0	Randall (1963)

Chave dkk. (1972) telah berusaha untuk mengkuantifikasi produksi karbonat oleh terumbu karang dan telah memisahkannya menjadi 3 (tiga) katagori yaitu produksi potensial, kotor dan bersih. Produksi potensial adalah jumlah produksi kalsium karbonat oleh organisme peng ekskresi batu kapur per unit area organisme terumbu, yang telah diperkirakan mencapai jumlah 1×10^4 sampai $6 \times 10^5 gCaCO_3 m^{-2}th^{-1}$. Sedangkan produksi kotor adalah jumlah total produksi kalsium karbonat oleh komunitas terumbu per unit area dasar, yang mempunyai rentangan dari 4×10^2 sampai $6 \times 10^4 gCaCO_3 m^{-2}th^{-1}$. Adapun produksi bersih adalah jumlah karbonat yang tertahan oleh terumbu, dan telah diperkirakan sampai kira-kira $10 \times 10^3 gCaCO_3 m^{-2}th^{-1}$.

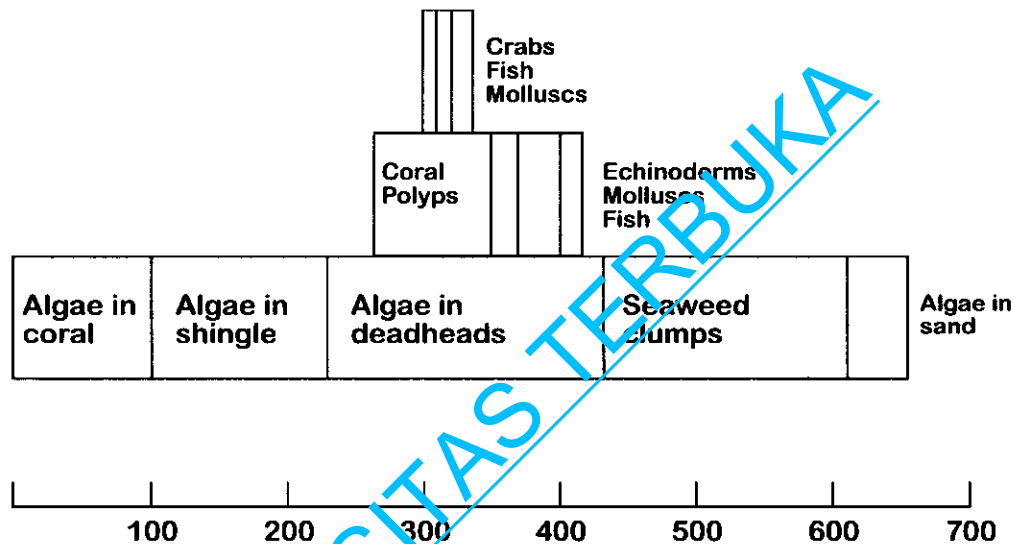
Produksi potensial dan produksi kotor merupakan pertimbangan-pertimbangan biologi penting, mengingat bagaimana organisme-organisme dapat tumbuh dan

menghasilkan kapur ?. Sedangkan produksi bersih merupakan hal yang paling menarik bagi ahli-ahli geologi, namun juga merupakan bagian dari pengukuran stabilitas dari struktur fisik secara meruang dari ekosistem terumbu karang. Struktur ruang dapat meningkat atau menurun tergantung pada laju produksi bersih karbonat, yaitu ditentukan oleh laju produksi organik organisme-organisme terumbu pada tingkat primer dan sekunder. Pertumbuhan dan pengurangan (erosi) terumbu karang, dapat dianggap sebagai suatu penampilan/kenerja ekosistem khusus, karena struktur ruang yang telah dihasilkan akan dirubah oleh organisme-organisme itu sendiri.

Hubungan antara batu terumbu dan produksi kalsium karbonat dan tingkat trofik kedua telah digambarkan oleh Stearn dan Scoffin (1977) pada sebuah terumbu tepi di Barbados dengan diketemukannya perhitungan bahwa karang-karang dan alga padat/keras mampu memproduksi kira-kira $163.3 \times 10^6 \text{ gCaCO}_3 \text{ th}^{-1}$ kalsium karbonat dari tubuhnya. Dari jumlah ini kira-kira $25 \times 10^6 \text{ gCaCO}_3$ telah dirusak oleh organisme penggali seperti Spons, Bivalvia, Sipunculidae dan Polychaeta. Sejumlah kecil mengalami erosi oleh ikan Parrot *Sparisoma viridis* kurang lebih sebesar $1 \times 10^6 \text{ gCaCO}_3 \text{ th}^{-1}$, sedangkan agen bioerosi yang paling penting adalah landak laut *Diadema antillarum*, dengan jumlah pengurangan sebesar $163 \times 10^6 \text{ gCaCO}_3 \text{ th}^{-1}$ pada keseluruhan terumbu. Gambaran ini menunjukkan suatu pengurangan $26 \times 10^6 \text{ gCaCO}_3 \text{ th}^{-1}$ dan diyakini bahwa terumbu akan mengalami kerusakan lebih cepat dari pada pertumbuhannya.

5. Hubungan trofik (makanan) diantara organisme-organisme yang hidup di dalam terumbu karang dijelaskan sebagai berikut

Dari banyak studi tentang masukan plankton ke dalam ekosistem terumbu karang, tampaknya secara normal sumbangan fitoplankton dalam produksi bentos hanya sedikit, oleh karena dalam sistem ini terjadi pengisian sendiri, dimana jumlah produksi sekunder tergantung dari peranan penting bentos pada produsen primer. Hal ini dapat dipercaya karena ada kemiripan dengan komunitas estuari. Dari kepentingan pandangan ini, Odum and Odum (1955) telah menggambarkan hubungan-hubungan biomasa komponen-komponen terumbu pada Atol Eniwetok di Pasifik (Gambar 1.)



Gambar 1 Biomass pyramid of weights of living organisms from a coral reef, Eniwetok Atoll (from Odum and Odum, 1955)

Sepuluh macam produsen primer yang berbeda telah dihitung, dan besarnya rata-rata biomasa total adalah 703 g dwt.m^{-2} , sedangkan besarnya tegakan herbivora (termasuk karang) adalah 132 g dwt.m^{-2} atau kira-kira 18.9% dari biomasa produsen primer. Karnivora meliputi 8.3% dari biomasa herbivora. Jika hitungan struktur trofik ini sesuai dengan teori-teori ekologi umum, maka komponen-komponen dekomposer tidak termasuk dalam tingkat herbivora tunggal.

Menurut Odum dan Odum (1955) menjelaskan bahwa terumbu dapat dianggap sebagai ekosistem yang stabil dan komunitas klimaks, dalam artian selalu terjadi peningkatan kecil biomasa hidup, dan sebaliknya akan terjadi akumulasi kalsium

karbonat dalam jumlah yang besar. Sehingga dapat pula dikatakan sebagai ekosistem terbuka dengan sistem yang dalam keadaan seimbang karena jumlah produksi hampir selalu seimbang dengan respirasi komunitas. Anggapan bahwa terumbu karang merupakan ekosistem yang seimbang juga dikemukakan oleh Wangersky (1978), yang membandingkan sebuah terumbu atol dengan memakai teknik/metode kromatografi kolom. Dimana nutrisi organik dan materi anorganik dibawa ke dalam sistem terumbu oleh aliran air yang datang, kemudian diproses dan di daur ulang oleh produsen primer dan sekunder, serta dikeluarkan kembali dari sistem terumbu sesuai dengan jumlah yang dimasukkan. Bagaimanapun analogi dengan kromatografi kolom dapat sama sekali tidak tepat, apabila kita menganggap bahwa kandungan materi partikulat sangat dipengaruhi (diperbesar) oleh air yang melintasi permukaan terumbu (Johnnes, 1967 ; Qasim dan Sankaranarayanan, 1970 ; Coles dan Strathmann, 1973).

Penyimpanan materi organik pada terumbu ligambarkan dengan jelas oleh karang-karang hermatipik yang menempati posisi kunci dalam trofodinamika di ekosistem terumbu. Mereka bukan hanya membentuk komponen struktural dasar pada kebanyakan terumbu modern, tetapi juga menyediakan suatu substrat makanan dan perlindungan bagi semua organisme yang berasosiasi secara infauna maupun epifauna. Namun yang lebih penting dari itu semua adalah simbiosis terumbu karang dengan alga endosimbiotik. Oleh karena konsekuensi ekologis dari simbiotik ini adalah bahwa alga simbion membawa potensi untuk autotrofi dan menyediakan suatu mekanisme konservasi untuk beradaptasi dengan lingkungan yang miskin nutrisi.

Dalam suatu makalah yang provokatif, Muscatine dan Porter (1977) telah menjelaskan kapasitas pemangsa karang-karang pada terumbu karang. Bahwa karang-karang ini bukan hanya menangkap Zooplankton dengan tentakelnya, namun juga memakan suspensi dalam rentangan variasi semacam materi partikulat yang luas (Lewis, 1976). Beberapa ahli berpendapat bahwa karang-karang dapat memakan bakteri, sementara Goreau dkk. (1971) menjelaskan bahwa karang juga memakan endapan pada substrat detritus dengan alat filamen-filamen mesentrial. Terakhir Stephens (1962) menunjukkan bahwa karang *Fungia* (saprotrof) dapat memakan substansi organik terlarut dari perairan. Setiap metode/cara makan ini dapat berpotensi untuk menyumbangkan

kebutuhan energi harian karang dan menyediakan variasi sumber makanan yang bervariasi. Potensi autotrofi dapat diwujudkan melalui asosiasi simbiotik dengan *Zooxantella*, dan karang dapat dianggap sebagai “Holding Captive” yaitu suatu porsi yang nyata dari produksi primer terumbu karang.

Laju fiksasi karbon secara fotosintesa telah dikemukakan oleh Von Holt (1968) bahwa 14% dari fiksasi ¹⁴C oleh fotosintesis telah ditemukan dalam jaringan karang *Scolymia*, sedangkan Muscatine dan Cernichiaro (1969) menyebutkan telah mencukupi 36%-50% karbon translokasi. Walaupun suatu jumlah yang nyata karbon fiksasi secara fotosintesis ditransfer ke host karang, namun belum diketahui apakah jumlah ini cukup untuk memenuhi kebutuhan nutrisi karang. Muscatine dan Porter (1977) telah mengestimasi bahwa 86.6% sampai 137.6% dari karbon organik tereduksi yang diperlukan oleh jaringan karang di translokasi dari Alga.

Secara pasti *Zooxantella* memainkan peranan utama dalam pertumbuhan karang dan pembentukan terumbu dengan cara mempercepat kalsifikasi dalam suasana terang (ada cahaya) (Goreau, 1959). Tampaknya fotosintesis menghasilkan substansi yang ditranslokasi ke bagian kalsifikasi dan merangsang pengendapan. Goreau (1959) mengemukakan bahwa *Zooxantella* meningkatkan pengendapan kalsium karbonat melalui pelepasan karbondioksida pada lingkungan berkapur selama fotosintesis berlangsung. Smikis (1964a,b) percaya bahwa *Zooxantella* dapat menangkap fosfat organik dan anorganik yang beraksi sebagai racun kristal dan bercampur dengan formasi aragonit. Beberapa peneliti juga berpendapat bahwa *Zooxantella* mensuplai materi yang dibutuhkan untuk matriks organik skeleton. Jadi ketika beberapa hipotesis dikemukakan, mekanisme biologi pemindahan kalsium karbonat dalam karang tetap tidak dimengerti sebagaimana penggunaan kuantitatif produksi fotosintesis *Zooxantella* dalam penyusunan skeleton. Hal ini tampak dari hasil penelitian Chalker (1976) yang menerangkan bahwa transport kalsium dalam karang adalah termasuk proses pemakaian energi.

Hal ini juga telah dikemukakan bahwa *Zooxantella* mempengaruhi metabolisme terumbu karang dengan menangkap sisa metabolisme yang selanjutnya mengkonsumsi dan mendaur ulang bahan-bahan organik terlarut (Muscatine, 1973). Terdapat suatu

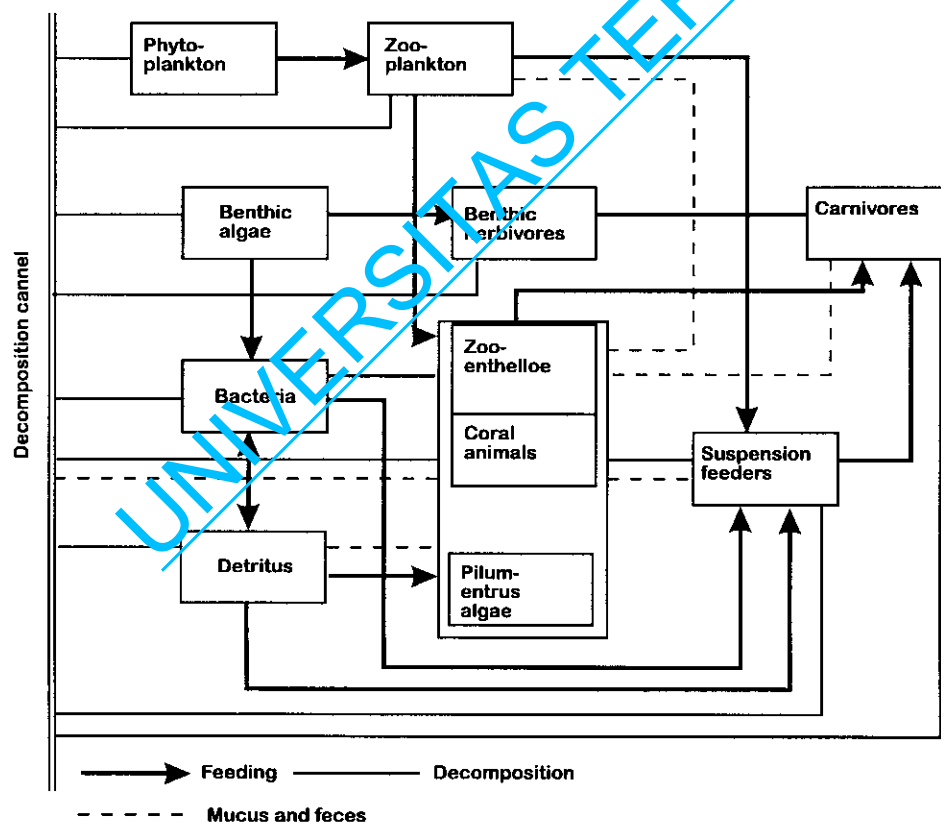
kejadian bahwa karang-karang dapat menangkap nitrat dari perairan sekitarnya, tetapi yang lebih penting bahwa Zooxantella mampu juga menangkap amonium. Penyerapan dan penyimpanan amonium dipertinggi oleh adanya cahaya dengan diperantarai oleh Zooxantella (Kawaguti, 1953 ; Muscatine dan D'Elia, 1978). Kesimpulannya bahwa amonia dari ekskresi karang ditangkap oleh Zooxantella dan dipergunakan sebagai sumber nitrogen.

Konsekuensi ekologis yang lain dari hubungan simbiotik antara karang dan Zooxantella adalah dalam hal kompetisi ruang di dalam terumbu itu sendiri. Karena kebutuhan untuk mendapatkan cahaya guna fotosintesis, maka beberapa jenis karang telah berkembang membentuk suatu morfologi percabangan. Bentuk-bentuk percabangan dapat merupakan akibat dari pertumbuhan dalam menanggapi kondisi cahaya sebagaimana pada tanaman darat, namun dapat pula karena untuk memperluas area permukaan penangkapan plankton. Dalam beberapa kejadian Porter (1974b) telah menunjukkan bahwa percabangan tumbuh menurut suatu strategi saling menutupi (Overtopping strategy), dimana satu karang tumbuh melebihi/menutupi spesies yang lain dalam memperebutkan ruang. Satu harapan dari beberapa interaksi kompetitif akan terjadi pada terumbu sampai 90% penutupan bentos dibuat oleh karang. Selanjutnya Lang (1973) telah menunjukkan, bahwa ketika karang-karang mengadakan kontak langsung dengan yang lain, maka secara kompetitif karang-karang seuperior dapat menyebabkan disintegrasi jaringan karang di dekatnya dengan cara membentuk filamen-filamen mesentriial dan tumbuh melebihi karang-karang mati.

Sejumlah skema yang menggambarkan hubungan trofik pada terumbu telah dibuat, bahkan Sorokin (1973) lebih menekankan peranan bakteri dalam hubungan makan berdasarkan pada penemuannya, yaitu tentang kepentingan mikroorganisme sebagai makanan bagi pemakan suspensi dan sebagai produsen. Peranan detritus juga telah dicatat dengan asumsi bahwa suatu proporsi besar produsen primer ditransformasi menjadi detritus sebelum dapat digunakan oleh tingkat trofik yang lebih tinggi (Lewis, 1977b).

Seperti catatan terdahulu terdapat kesulitan dalam penggambaran hubungan makan yang tepat dalam ekosistem terumbu karena adanya beberapa hubungan simbiotik yang terjadi dalam terumbu sendiri, terutama dalam karang. Di dalam kenyataannya

beberapa penulis telah menyebutkan, terumbu dapat dianggap sebagai suatu ekosistem dalam dirinya sendiri. Pada gambar 2 suatu usaha telah dilakukan untuk menggambarkan hubungan-hubungan makan dengan pemisahan karang dari “rest” komunitasnya. Alga bentik dianggap sebagai organik utama untuk sumber makanan (foot web). Bahan-bahan organik dari Alga bentik dikonsumsi oleh herbivora seperti *Diadema* namun juga dimanfaatkan oleh bakteri. Hasil-hasil dekomposisi dalam produksi detritus diarahkan untuk tingkat trofik karang dan untuk pemakan suspensi yang sesil. Detritus diperkaya oleh materi partikulat dari tingkat fitoplankton dan zooplankton serta dari material feses dan mukus dari tingkat trofik kedua dan ketiga. Namun dalam kenyataannya, suatu dekomposisi penting dihubungkan melalui larutan materi organik. Produksi oleh herbivora dan pemakan suspensi serta dari beberapa tingkat trofik karang dapat terjadi melalui tingkat karnivora. Jadi ada sejumlah jalur aliran energi ke konsumen dan beberapa putaran balik.



Gambar 2 Trophic relationships and energy transformation in coral reef ecosystems

Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan di atas maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Beberapa aspek yang membuat ekosistem terumbu karang memperlihatkan kenampakan subur (kaya) antara lain karena adanya laju produksi primer pada terumbu karang yang bervariasi antara 300-5000 $gcm^{-2}th^{-1}$, yang dapat disamakan dengan kondisi laut fertil. Kecuali itu juga karena adanya dukungan untuk produsen sekunder yang lebih banyak berasal dari sumber-sumber autochthonous dari pada allochthonous, terutama yang berasal dari pecahan-pecahan dan dekomposisi produsen primer. Selain itu karang-karang terumbu tampak sebagai organisme multitrofik yang mempunyai kemampuan autotrofik dan heterotrofik, serta sebagai organisme kunci dalam pembangunan dan penyokong kerangka terumbu. Simbiosisnya dengan Zooxantella adalah merupakan adaptasi untuk hidup dalam lingkungan yang miskin nutrisi, yang merupakan salah satu dari mekanisme-mekanisme prinsip untuk menyokong produksi pada terumbu.
2. Sumber-sumber yang mendukung produktivitas primer adalah sebagai berikut
 - a. Makrofit berdagang
 - b. Alga filamen endolitik
 - c. Alga epilitik berfilamen dan alga penghuni pasir
 - d. Alga yang menempel pada batu karang
 - e. Zooxantella simbiotik
 - f. Rumpun laut.

Sedangkan sumber-sumber yang mendukung produktivitas sekunder adalah

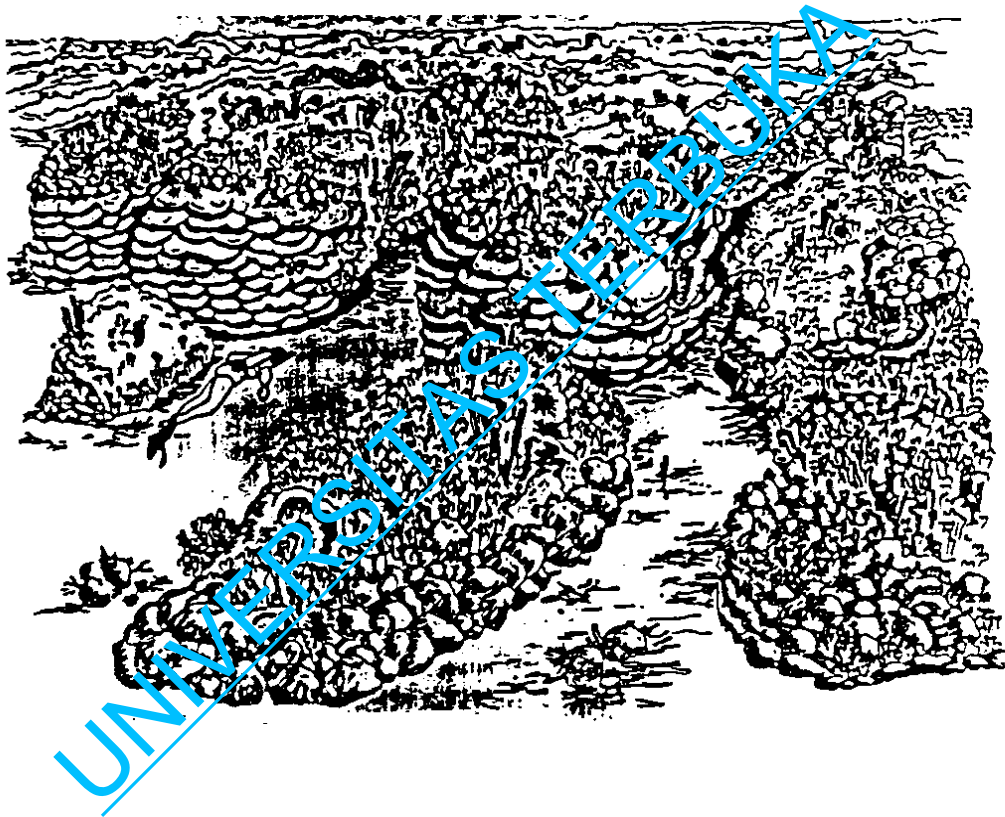
 - a. Invertebrata bentik
 - b. Ikan terumbu karang
 - c. Fitoplankton
 - d. Zooplankton
 - e. Materi partikel organik
 - f. Mikrobia

3. Yang menyebabkan produktivitas primer tinggi pada terumbu karang adalah
 - a. karena banyaknya energi cahaya yang dapat dipakai oleh produsen bentik di perairan hangat, dangkal dan jernih.
 - b. karena adanya fiksasi nitrogen atmosfer.
 - c. karena adanya penyimpanan dan siklus ulang nutrisi dalam sistem terumbu.
4. Besarnya biomasa yang mendukung laju produksi sekunder pada terumbu karang adalah bervariasi
 - a. untuk jaringan karang adalah 144 gCm^{-2}
 - b. untuk total semua hewan invertebrata adalah 196 gCm^{-2}
 - c. untuk Polychaeta secara perkiraan sebesar 0.19 gCm^{-2} - 1.1 gCm^{-2}
 - d. untuk ikan sebesar 35 gCm^{-2} - 40 gCm^{-2}
5. Hubungan trofik (makanan) diantara organisme-organisme yang hidup di dalam terumbu karang beraneka ragam, namun atas dasar kesepakatan para ahli dinyatakan bahwa nutrisi organik dan materi anorganik yang dibawa oleh aliran air yang datang ke dalam sistem terumbu akan diproses dan didaur ulang oleh produsen primer dan sekunder, kemudian dikeluarkan kembali dari sistem terumbu sesuai dengan jumlah yang dimasukkannya.
 - a. Alga mentranslokasi karbon organik tereduksi sebesar 86.6%-137.6% ke dalam jaringan karang.
 - b. Zooxantella meningkatkan pengendapan kalsium karbonat melalui pelepasan CO_2 pada lingkungan berkapur selama proses fotosintesis.
 - c. Amonia hasil proses ekskresi karang ditangkap oleh Zooxantella dan dipergunakan sebagai sumber nitrogen.
 - d. Bahan-bahan organik dari Alga bentik dikonsumsi oleh herbivora seperti *Diadema* dan bakteri.
 - e. Hasil-hasil dekomposisi dalam produksi detritus dipergunakan oleh tingkat trofik karang serta untuk pemakan suspensi yang sesil.

Pustaka

- _____, 1997, Republika, Edisi Minggu, 8 - Juni-1997. PT. Sumber bahagia, Jakarta, hal : 24.
- Breadly, P.M. 1991. Plant hormones do have a role in controlling growth and Littorina littorea (Mollusca Prosobranchia) on exposure to cadmium. *Jour. Mar. Biol.* (72) : 329-342.
- H Antia, N.J ; Desai, I.D ; and Romily. 1970. The tocopherol, vitamin K, and related development of algae. *J. Phycol.* 27 : 317-321.
- Heij, D & Nienhuis, P.H. 1992. Intraspecific variation in isozyme patterns of *Ulva*. University Press. 1994. Pp : 1-299.
- Jacobs, W.P. 1993. A search for some angiosperm hormones and their metabolites in *Caulerpa spaldingii* (Chlorophyta). *J. Phycol.* 29 : 595-600 (1993).
- Lobban, C.S & Harrison, P.J. 1994. Sea weed Ecology and physiology. Cambridge University Press. 1994. Pp : 1-299.
- Mishra, A.K & Kefford, N.D. 1969. Developmental studies on the coenocytic algae green alga *Halimeda* spp. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* (160) : 191-203.
- Vreeland V ; Zabackis E ; and Laetich. 1992. Monoclonal antibodies as molecular probes for *Cryptophyceae* (Rhodophyta) during tissue development. *J. Phycol.* 28 : 328-342x.

Lampiran



Gambar 1 : Sketch of a Barbados fringing reef (Redrawn from Stearn *et al.*, 1977)