

PERANAN CAHAYA DALAM PROSES PRODUKSI DI LAUT

Karya Ilmiah

Disusun oleh :

**SUNARTO
NIP 132086360**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS PADJADJARAN
2008**

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang atas rahmat dan karuniaNya tulisan ini dapat penulis susun. Pada tulisan ini penulis mencoba memaparkan peranan cahaya matahari bagi seluruh kehidupan ekosistem laut. Apa dan bagaimana cahaya matahari mempengaruhi proses produksi di laut merupakan pertanyaan yang akan di jawab melalui tulisan ini.

Penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua kalangan sebagai sumber informasi maupun referensi dalam kajian-kajian ilmiah. Penulis juga berharap semoga pemaparan tentang terjadinya sinergi yang kuat antara makhluk yang besar (matahari) dengan makhluk kecil (fitoplankton) dapat menggugah kesadaran pembaca bahwa Kekuasaan Allah SWT meliputi seluruh ciptaanNya.

Akhirnya penulis memohon maaf apabila ada kajian dan penyajian yang kurang baik dalam tulisan ini dan untuk itu penulis membuka diri untuk menerima saran dan kritik konstruktif bagi perbaikan tulisan ini.

Bandung, September 2008

PENULIS

DAFTAR ISI

	Hal.
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	2
1.3. Metode	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Spektrum Cahaya Matahari.....	3
2.2. Pembentukan Warna Laut	5
2.3. Nasib Cahaya dalam Perairan Laut	9
III. PERANAN CAHAYA DALAM PROSES PRODUKSI DI LAUT	13
3.1. Rantai Energi di Laut	13
3.2. Proses Produksi di Laut	17
3.3. Efisiensi Pemanfaatan Energi Cahaya dalam Produksi Primer	20
IV. KESIMPULAN	24
DAFTAR PUSTAKA	25

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
1.	Spektrum Radiasi Matahari yang mencapai atmosfer.....	3
2.	Spektrum Gelombang Elektromagnetik.....	4
3.	Tingkatan Penetrasi Spektrum Radiasi Cahaya matahari pada berbagai kedalaman	5
4.	Grafik peranan faktor-faktor yang menghasilkan warna laut	8
5.	Spektrum Warna Cahaya yang direfleksikan oleh fitoplankton	9
6.	Spektrum warna air yang direfleksikan oleh tiga konsentrasi klorofil yang berbeda.....	9
7.	Cahaya dari air (water-leaving light).....	10
8.	Cahaya dari matahari dan langit.....	10
9.	Besarnya Reflectance dari cahaya refleksi air.....	10
10.	Grafik Penurunan penetrasi cahaya berdasar kedalaman	11
11.	Piramida Makanan di Laut	15
12.	Grafik Hubungan Produktivitas primer dengan Intensitas cahaya	22
13.	Grafik Hubungan antara Intensitas cahaya dan produktivitas primer terhadap kedalaman	23

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Cahaya matahari merupakan energi penggerak utama bagi seluruh ekosistem termasuk di dalamnya ekosistem perairan. Cahaya matahari menghasilkan panas sebesar 10^{26} Kalori/detik, namun hanya sebagian kecil dari panas tersebut yang mampu diserap dan masuk ekosistem perairan. Dari bagian kecil yang memasuki ekosistem perairan hanya sebagian kecil yang mampu diserap oleh organisme autotrop seperti fitoplankton. Cahaya adalah sumber energi dasar bagi pertumbuhan organisme autotrop terutama fitoplankton yang pada gilirannya mensuplai makanan bagi seluruh kehidupan di perairan. Proses produksi di laut dimulai dari organisme autotrop yang mampu menyerap energi matahari. Tingkatan produksi di laut digambarkan dengan bentuk piramida makanan yang menunjukkan tingkatan tropic atau rantai makanan antara produser dan consumer. Organisme autotrop menempati dasar piramida yang menunjukkan bahwa organisme ini memiliki jumlah terbesar dan menjadi penopang seluruh kehidupan pada tingkat tropic di atasnya.

Fungsi ekosistem yang optimal harus ditunjang oleh adanya cahaya matahari. Ekosistem yang baik harus mampu mendukung kehidupan di dalamnya. Salah satu ukuran kualitas suatu ekosistem adalah terselenggaranya proses produksi atau produktivitas primer yang mempersyaratkan adanya cahaya untuk keberlangsungannya. Semakin tinggi nilai produktivitasnya maka semakin besar pula dayadukungnya bagi kehidupan komunitas penghuninya. Sebaliknya produktivitas primer yang rendah menunjukkan daya dukung yang rendah pula. Produktivitas primer dapat didefinisikan sebagai laju penyimpanan energi radiasi matahari melalui aktivitas fotosintesis yang

dilakukan produser primer yang mampu memanfaatkan zat-zat anorganik dan merubahnya menjadi bahan organik (Odum,1971; Barnes dan Hughes, 1982;Wetzel, 1983).

Pada ekosistem akuatik sebagian besar produktivitas primer dilakukan oleh fitoplankton (Wetzel, 1983; Parson dkk, 1984). Steeman-Nielsen (1975) menyatakan bahwa kurang lebih 95% produksi primer di laut berasal dari fitoplankton.

1.2. Tujuan

Tulisan ini bertujuan mengetahui peranan cahaya matahari sebagai sumber energi bagi ekosistem laut.

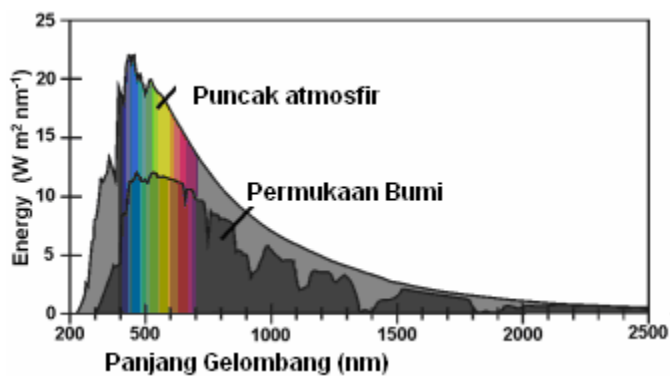
1.3. Metode

Metode pengkajian yang di gunakan dalam penulisan karya ilmiah ini adalah kajian dan analisis berbagai data dan pustaka yang sangat erat kaitanya dengan tulisan ini. Melalui kajian tersebut penulis mensintesisnya menjadi tulisan ilmiah.

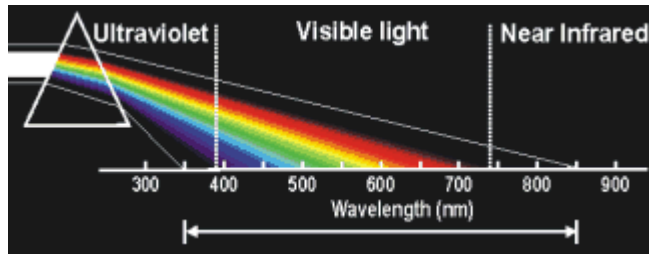
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Spektrum Cahaya Matahari

Sumber energi paling penting bagi kehidupan bumi adalah radiasi dari matahari. Matahari memancarkan energi mendekati 10^{26} kalori/detik. Pada perjalanannya melewati lapisan atmosfer bumi, radiasi matahari berkurang melalui dua cara. Cara yang pertama adalah di *absorpsi* terutama oleh uap air, karbondioksida, dan ozon di atmosfer. Absorpsi bergantung dari komposisi udara dan panjang gelombang energi yang menembus (*selective absorption*). Cara yang kedua adalah di *scatter* melalui refleksi dan difraksi. Scattering sebagian disebabkan oleh molekul-molekul udara dan sebagian oleh bahan-bahan pengaruh seperti debu, asap, dan tetesan air. Dari energi yang dipancarkan matahari sebesar 10^{26} Kalori/detik, hanya 2 kalori/menit yang diterima lapisan teratas atmosfer bumi (Gambar 1). Spektrum cahaya matahari yang memasuki bumi tidak semuanya dapat dilihat. Spektrum dengan panjang gelombang tertentu saja yang merupakan spectrum cahaya tampak (Gambar 2).



Gambar 1. Spektrum radiasi matahari yang mencapai atmosfer dan permukaan bumi.

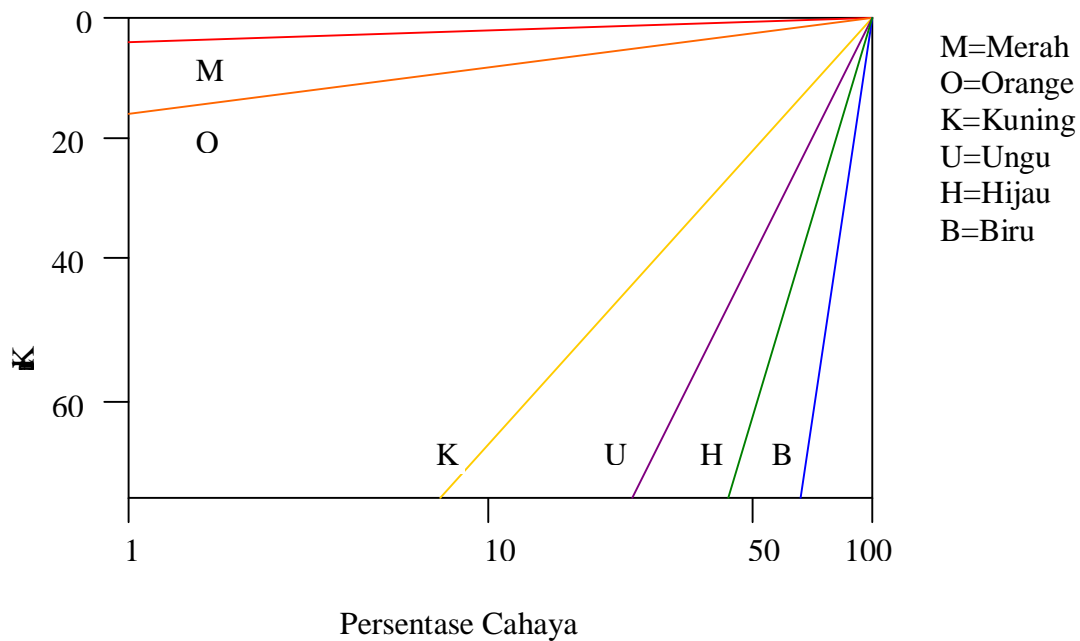


Gambar 2. Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Cahaya matahari merupakan gabungan cahaya dengan panjang gelombang dan spektrum warna yang berbeda-beda (Sears, 1949; Nybakken, 1988; Alpen, 1990) Spektrum gelombang elektromagnetik meliputi transmisi televisi dan radio, gelombang tampak (*visible light*), radiasi infra merah dan ultraviolet, sinar X dan sinar gamma (Gambar 2). Dari spectrum elektromagnetik hanya bagian yang sangat kecil yang dapat dideteksi dengan indera penglihatan yang disebut *visible light*. Panjang gelombangnya berkisar dari 400-700 nm ($400-700 \times 10^{-9}$ m) dengan frekwensi sekitar 750-430 THz ($7.5 - 4.3 \times 10^{14}$ Hz). Bagian-bagian yang berbeda dari spektrum tampak menimbulkan warna yang berbeda. Panjang gelombang untuk warna-warna yang berbeda juga berbeda (Tabel 1). Daya tembus setiap spektrum warna cahaya pada kolom air yang sama berbeda-beda (Nybakken, 1988). Spektrum warna cahaya yang memiliki panjang gelombang pendek memiliki daya tembus yang lebih dalam dibandingkan gelombang panjang (Gambar 3). Cahaya dengan yang besar lebih banyak diserap, sedangkan gelombang pendek sedikit diserap. Pada perairan yang jernih, cahaya dengan gelombang panjang banyak diserap dan sedikit yang dihamburkan. Pada air jernih gelombang yang sedikit diserap adalah gelombang pendek (seperti biru) dan banyak dihamburkan sehingga air jernih tampak berwarna biru.

Tabel 1. Panjang gelombang dari cahaya tampak (*visible light*)

Panjang gelombang	Warna
400 – 440 nm	Violet
440 – 480 nm	Biru
480 – 560 nm	Hijau
560 – 590 nm	Kuning
590 – 630 nm	Orange
630 – 700 nm	Merah



Gambar 3. Tingkat penetrasi spectrum radiasi cahaya matahari pada berbagai kedalaman perairan

2.2.Pembentukan Warna Laut

Pada prinsipnya warna laut ditentukan oleh interaksi dari insiden cahaya dengan substansi atau partikel yang ada di dalam air. Komponen-komponen penyebab ekstingsi cahaya, seperti disebutkan di atas, juga menjadi penyebab terjadinya warna laut. Spektrum cahaya yang memasuki air akan di absopsi dan direfeksi. Absopsi terhadap cahaya dilakukan oleh molekul-molekul air sendiri dan oleh bahan-bahan yang

terkandung didalamnya seperti bahan terlarut dan bahan tersuspensi terutama plankton. Cahaya yang diserap/diabsorpsi akan dirubah menjadi energi bahang. Cahaya yang diabsorpsi energinya berkurang dan daya tembusnya menurun secara gradual berdasarkan kedalaman. Cahaya juga akan direfleksikan kembali apabila memasuki air. Refleksi pada perairan alami sangatlah kompleks dan refleksi kompleks kesegala arah dikenal dengan istilah *scattering*. Spektrum warna cahaya matahari yang direfleksikan akan memberi warna dari air itu sendiri. Warna yang diserap tidak akan tampak pada air sebaliknya warna yang direfleksikan akan tampak.

Bahan-bahan pengaruh (*turbidity substance*) memiliki distribusi tidak merata secara horizontal. Pada daerah pantai dan muara sungai tingkat kekeruhannya relatif lebih tinggi daripada laut terbuka. Hal ini disebabkan oleh masuknya bahan-bahan terlarut maupun tersuspensi dari daratan. Kekeruhan yang tinggi pada daerah pantai mengakibatkan warna yang ditimbulkan adalah warna-warna dari spectrum cahaya yang memiliki gelombang panjang. Pada laut terbuka umumnya kekeruhan rendah dan warna laut yang mendominasi berasal dari spectrum warna biru yang memiliki gelombang pendek yang sedikit diabsorpsi dan lebih banyak di refleksikan. Penambahan kekeruhan pada air yang jernih akan menggeser warna air dari spectrum warna biru dengan gelombang pendek menjadi spectrum warna dengan panjang gelombang lebih tinggi.

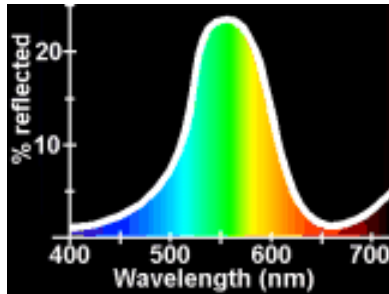
Warna air laut akan berubah bila terjadi perubahan turbiditas/kekeruhan yang diakibatkan oleh *selective scattering*, *Natural absorptive colour*, *yellow substance* dan *discoloring effect* oleh materi tersuspensi.

Pada air laut yang jernih dimana tingkat kekeruhan rendah, maka spectrum cahaya biru dengan gelombang yang pendek (pada $\lambda = 0.477 \mu\text{m}$) akan menembus sampai

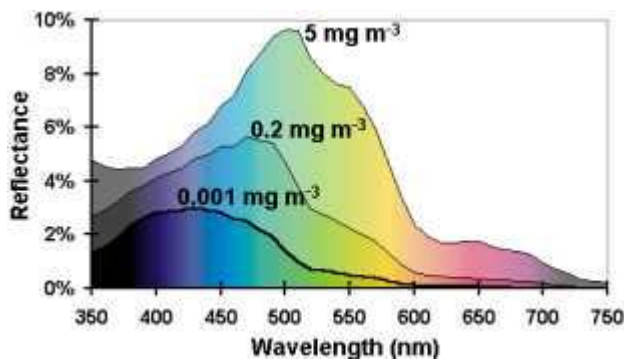
lapisan yang dalam. Dengan kata lain cahaya biru sedikit yang diabsorpsi dan lebih banyak yang direfleksikan, sehingga air yang kita lihat akan berwarna biru. Dalam hal ini pengaruh *selective scattering* sangat dominan. Sebaliknya pada air dengan kekeruhan rendah, warna biru akan banyak diabsorpsi sehingga warna yang direfleksikan adalah warna lain bergantung pada substansi kekeruhan yang ada. Pada kondisi demikian yang faktor yang sangat penting adalah *natural absorption color* dan warna yang dihasilkan bergeser dari biru menjadi biru-kehijauan (*blue-green*) dengan panjang gelombang lebih besar dari $0.477 \mu\text{m}$. Bila kekeruhan meningkat maka panjang gelombang yang lebih tinggi akan mewarnai perairan menjadi hijau atau hijau-kuning (*green-yellow*) dan faktor yang dominan adalah *yellow substance*. Apabila tingkat kekeruhan lebih tinggi maka materi tersuspensi akan menentukan warna air. Secara grafik faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan warna air dapat disajikan pada Gambar 4.

Apabila kekeruhan disebabkan oleh adanya materi tersuspensi seperti fitoplankton maka fitoplankton akan menyerap banyak warna biru dan merah dan akan merefleksikan warna hijau (Gambar 5), karena itu kita melihat air berwarna hijau. Pada daerah dengan kepadatan fitoplankton atau konsentrasi klorofil yang tinggi akan memberikan warna air yang berbeda dengan daerah dengan konsentrasi klorofil yang lebih rendah. Perbedaan konsentrasi klorofil akan memberikan warna yang berbeda (Gambar 6). Dari Gambar 6 terlihat peningkatan konsentrasi akan mengakibatkan dua hal terjadi: pertama, puncaknya bergeser dari biru tua (*deep blue*) menuju hijau dan kedua, tinggi dari puncak bertambah dengan warna lebih cerah.

Gambar 4. Grafik yang mewakili peranan faktor-faktor yang menghasilkan warna laut.



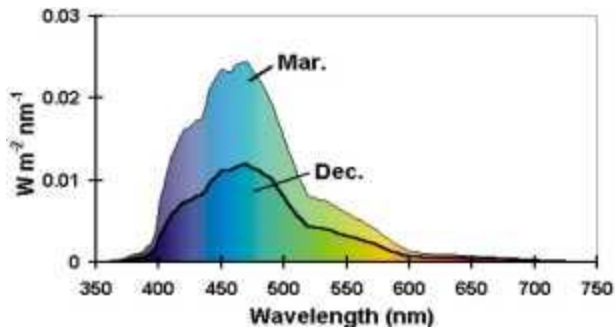
Gambar 5. Contoh spectrum warna cahaya yang di refleksikan oleh fitoplankton



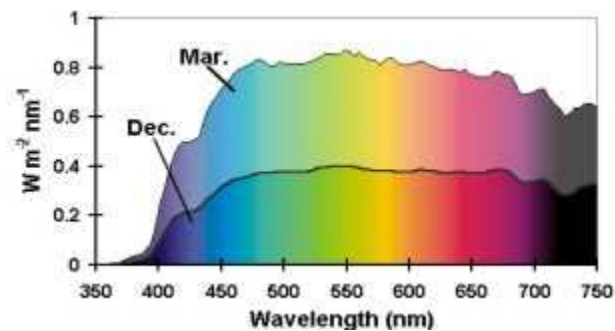
Gambar 6. Spektrum warna air yang direfleksikan oleh tiga konsentrasi klorofil yang berbeda.

2.3. Nasib Cahaya dalam Perairan Laut

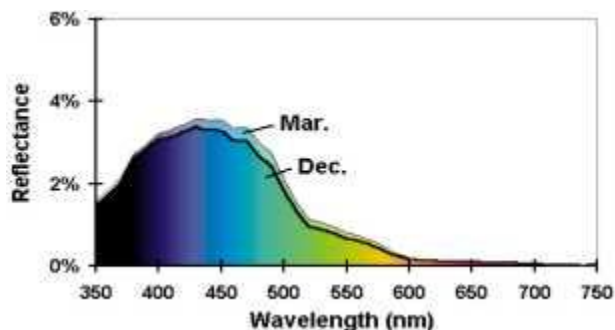
Cahaya yang ada pada lapisan permukaan air merupakan resultante cahaya yang masuk dari matahari dan langit dan cahaya yang dipantulkan kembali oleh permukaan perairan. Besarnya nilai *reflectance* pada permukaan air dapat dilihat dari kedua sumber cahaya tersebut. Apabila dilakukan pengukuran pada waktu yang sama terhadap cahaya yang datang dari matahari dan langit dan cahaya dari air (*water-leaving light*) maka dapat dihitung besarnya *reflectance* yaitu perbandingan insiden cahaya yang direfleksikan kembali oleh air (Gambar 7, 8, dan 9).



Gambar 7. Cahaya dari air (*water-leaving light*)



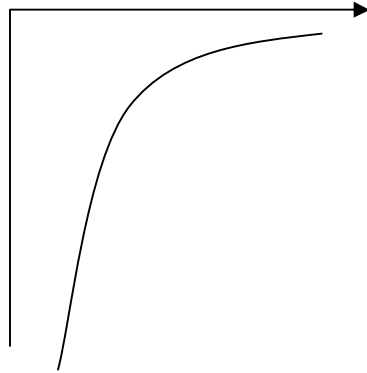
Gambar 8. Cahaya dari matahari dan langit diukur pada suatu waktu



Gambar. 9. Besarnya *reflectance* dari cahaya refleksi air.

Cahaya matahari yang memasuki suatu medium optik seperti air, intensitasnya akan berkurang atau mengalami peredupan (*extinction*) seiring dengan kedalaman perairan (Gambar 10). Hal ini disebabkan adanya absorpsi oleh air dan bahan-bahan yang terkandung didalamnya. Besarnya tingkat peredupan bergantung kepada materi yang terkandung dalam kolom air itu sendiri. Pada kolom air yang memiliki tingkat kekeruhan yang tinggi, tingkat peredupannya juga tinggi. Materi-materi yang biasanya menjadi

penyebab peredupan adalah *suspended solid*, *dissolve organic matter*/DOM, dan *particulate organic matter*/POM termasuk plankton.



Gambar 10. Persen penurunan penetrasi cahaya berdasar kedalaman

Besarnya tingkat peredupan ditunjukkan oleh besarnya koefisien peredupan. Nilai koefisien peredupan berdasarkan Hukum Lambert Beer dapat dirumuskan sebagai berikut: (Parson dkk, 1984; Valiela, 1984).

$$I_z = I_s e^{-\alpha Z}$$

$$\begin{aligned} \ln I_z &= \ln I_s \cdot e^{-\alpha Z} \\ &= \ln I_s + \ln e^{-\alpha Z} \end{aligned}$$

$$= \ln I_s - \alpha Z \ln e$$

$$\ln I_z = \ln I_s - \alpha z$$

$$\alpha z = \ln I_s - \ln I_z$$

di mana α = koefisien peredupan
 I_s = intensitas cahaya di permukaan
 I_z = intensitas cahaya pada kedalaman Z
 Z = kedalaman.

Peredupan (*extinction*) disebabkan oleh:

- (1) absorpsi cahaya oleh air murni, k ,
- (2) absorpsi oleh bahan terlarut dan tersuspensi, k_{ω}
- (3) skatering dalam air murni ε , dan
- (4) skatering (difraksi, refleksi) oleh bahan terlarut dan tersuspensi ε_{ω} .

Seluruh komponen yang menentukan koefisien peredupan α bergantung pada panjang gelombang cahaya. Oleh karena itu koefisien peredupan dalam kolom air harus didefinisikan untuk cahaya dengan suatu panjang gelombang λ yaitu:

$$\alpha\lambda = k_{\lambda} + k_{\omega\lambda} + \varepsilon_{\lambda} + \varepsilon_{\omega\lambda}$$

dimana $\alpha\lambda$ adalah koefisien peredupan untuk cahaya monokromatik dari panjang gelombang λ . k_{λ} dan ε_{λ} adalah pengaruh absorpsi dan scattering dari air murni, dan $k_{\omega\lambda}$ dan $\varepsilon_{\omega\lambda}$ adalah pengaruh absorpsi dan scattering karena bahan terlarut dan tersuspensi pada perairan alami.

III. PERANAN CAHAYA DALAM PROSES PRODUKSI DI LAUT

3.1. Rantai Energi di Laut

Pada ekosistem perairan alami, siklus produksi dimulai oleh produser. Produser adalah organisme autotrop yang mampu mensintesa bahan organik yang berasal dari bahan anorganik melalui proses fotosintesis dengan bantuan cahaya matahari. Produser utama pada ekosistem perairan adalah fitoplankton. Fitoplankton adalah tumbuhan renik yang memiliki produktivitas tinggi dan menempati dasar dari suatu piramida makanan di laut.

Sebagai organisme autotrop, fitoplankton berperan sebagai produser primer yang mampu mentransfer energi cahaya menjadi energi kimia berupa bahan organik pada selnya yang dapat dimanfaatkan oleh organisme lain pada tingkat tropis di atasnya. Fitoplankton merupakan produser terbesar pada ekosistem laut. Pada ekosistem akuatik sebagian besar produktivitas primer dilakukan oleh fitoplankton (Parsons dkk, 1984). Steeman-Nielsen (1975) menyatakan bahwa kurang lebih 95% produksi primer di laut berasal dari fitoplankton.

Pada tahapan awal aliran energi, cahaya matahari “ditangkap” oleh tumbuhan hijau yang merupakan produser primer bagi ekosistem perairan. Energi yang ditangkap digunakan untuk melakukan proses fotosintesis dengan memanfaatkan nutrien yang ada di lingkungannya. Melalui pigmen-pigmen yang ada fitoplankton melakukan proses fotosintesis. Pigmen-pigmen ini memiliki kemampuan yang berbeda dalam melakukan penyerapan energi cahaya matahari. Proses fotosintesis hanya dapat berlangsung bila pigmen fotosintesis menerima intensitas cahaya tertentu yang memenuhi syarat untuk terjadinya proses tersebut. Govindjee dan Braun (1974) menyatakan bahwa aksi pertama

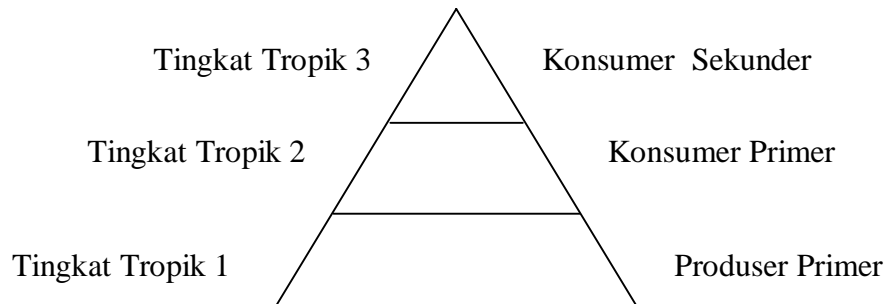
pada proses fotosintesis adalah mengabsorpsi cahaya. Tidak semua radiasi elektromagnetik yang jatuh pada tumbuhan yang berfotosintesis dapat diserap, tetapi hanya cahaya tampak (*visible light*) yang memiliki panjang gelombang berkisar antara 400 sampai 720 nm yang diabsorpsi dan digunakan untuk fotosintesis.

Umumnya fotosintesis bertambah sejalan dengan peningkatan intensitas cahaya sampai pada suatu nilai optimum tertentu (cahaya saturasi). Di atas nilai tersebut cahaya merupakan penghambat bagi fotosintesis (cahaya inhibisi), sedangkan di bawah nilai optimum merupakan cahaya pembatas sampai pada suatu kedalaman di mana cahaya tidak dapat menembus lagi (Cushing, 1975; Mann, 1982; Valiela, 1984; Parson dkk., 1984; Neale, 1987).

Sebagai produser primer, fitoplankton menduduki tingkatan terbawah pada piramida makanan (Gambar 11), artinya fitoplanktonlah yang mendukung seluruh kehidupan di laut. Dengan kata lain fitoplankton menduduki tropik level paling rendah dan berperan mentransfer energi matahari dan mendistribusikan energi tersebut pada organisme laut melalui rantai makanan. Apabila dilihat bentuk piramida makanan maka bisa diartikan bahwa semakin ke atas ukuran individu bertambah sedangkan jumlah individu menurun. Sebaliknya jumlah fitoplankton jauh lebih besar dibanding zooplankton dan ikan tetapi ukurannya jauh lebih kecil.

Bahan organik hasil proses fotosintesis dapat dimanfaatkan oleh zooplankton yang menduduki tropic level kedua pada piramida makanan. Pada tingkat tropik ini zooplankton berperan sebagai organisme herbivora atau konsumen primer. Sebagian besar zooplankton memakan fitoplankton atau detritus dan memiliki peran penting dalam rantai makanan pada ekosistem perairan. Beberapa spesies memperoleh makanan melalui

uptake langsung dari bahan organik yang terlarut. Zooplankton pada dasarnya mengumpulkan makanan melalui mekanisme *filter feeding* atau *raptorial feeding*. Zooplankton filter feeder menyaring seluruh makanan yang melewati 'mulutnya' sedangkan pada raptorial feeder sebagian makanannya dikeluarkan kembali.



Gambar 11. Piramida makanan di laut

Di laut terjadi transfer energi antar organisme pada tingkatan tropis yang berbeda dengan demikian terjadi proses produksi. Hirarki proses produksi membentuk sebuah rantai yang dikenal dengan rantai makanan. Ada dua kelompok rantai makanan yang ada di ekosistem laut yaitu rantai makanan grazing (*grazing food chain*) dan rantai makanan detrital (*detritus food chain*). Kedua jenis rantai makanan tersebut saling melengkapi dan membentuk sebuah siklus yang kontinu. Rantai makanan grazing dimulai dari proses transfer makanan pertama kali oleh organisme herbivora melalui proses grazing. Makanan pertama itu berupa fitoplankton dan herbivor yang memanfaatkan fitoplankton adalah zooplankton. Mata rantai pertama pada rantai makanan ini adalah fitoplankton yang merupakan sumber pertama bagi seluruh kehidupan di laut. Ujung dari rantai makanan ini adalah konsumen tingkat tinggi (seperti ikan dan konsumen lainnya) yang apabila mengalami kematian akan menjadi detritus pada ekosistem laut. Detritus inilah

yang menjadi awal pembentukan rantai makanan detrital yang banyak dilakukan oleh organisme pengurai atau dekomposer.

Hasil dari proses dekomposisi yang dilakukan dekomposer adalah terbentuknya bahan anorganik maupun organik. Bahan anorganik akan dimanfaatkan oleh organisme autotrop seperti fitoplankton sedangkan bahan organik dapat dimanfaatkan langsung oleh beberapa organisme pemakan detritus (*detritus feeder*).

Pada tiap tingkat tropik ada produksi. Pada tingkat tropik terbawah dimana terjadi proses fotosintesis oleh organisme autotrop di hasikan produksi primer. Sedangkan seluruh produksi pada tingkat konsumen merupakan produksi sekunder (Odum, 1983).

Odum (1983), mendefinisikan produktivitas primer suatu sistem ekologi sebagai laju penyimpanan energi radiasi melalui aktivitas fotosintesis dari produser atau organisme (terutama tumbuhan hijau) dalam bentuk bahan organik yang dapat digunakan sebagai bahan pakan. Untuk menghasilkan produksi primer, produser melakukan fotosintesis dengan bantuan cahaya matahari yang dtangkap oleh pigmen-pigmen fotosintesis.

Fotosintesis adalah proses fisiologis dasar yang penting bagi nutrisi tanaman. Persamaan umum proses fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan hijau adalah sbb:



Persamaan ini menunjukkan bahwa proses tersebut adalah sebuah reaksi reduksi-oksidasi. CO_2 direduksi dan H_2O dioksidasi (Forti, 1969; Valiela, 1984).

Produktivitas primer akan menentukan jumlah produktivitas sekunder. Apabila produksi sekunder adalah produksi yang dihasilkan pada tingkat konsumen, maka produktivitas sekunder sebenarnya meliputi banyak organisme pada tingkat konsumen

seperti herbivora dan karnivora. Akan tetapi biasanya produktivitas sekunder dihitung berdasarkan produksi konsumen primer dalam hal ini zooplankton. Produksi dari populasi hewan mengacu pada pembentukan biomassa baru dalam periode waktu tertentu. Ada dua pendekatan yang telah diterapkan dalam studi produksi yaitu metode dinamika populasi dan metode pengaturan energi (*energy budget*). Pendekatan dinamika populasi terkonsentrasi pada pertumbuhan biomassa sedangkan pendekatan *energy budget* mengukur komponen-komponen konsumsi, respirasi dan ekresi.

3.2. Proses Produksi di Laut

Aksi pertama pada proses fotosintesis adalah mengabsorpsi cahaya. Tidak semua radiasi elektromagnetik yang jatuh pada tanaman yang berfotosintesis dapat diserap, tetapi hanya cahaya tampak (*visible light*) yang memiliki panjang gelombang berkisar antara 400 sampai 720 nm yang diabsorpsi dan digunakan untuk fotosintesis (Govindjee dan Braun 1974; Nybakken, 1988). Menurut Parsons dkk (1984) energi cahaya yang dibutuhkan untuk proses fotosintesis fitoplankton terbatas pada panjang gelombang 300 – 720 nm. Radiasi total pada panjang gelombang ini disebut *photosynthetically available radiation* (PAR atau PhAR). Definisi ini tidak memperhitungkan berapa energi cahaya yang benar-benar digunakan pada proses fotosintesis. Mempertimbangkan hal tersebut maka Marel (1979) dalam Parson dkk.(1984) mengusulkan dua definisi tambahan tentang radiasi. Pertama adalah *photosynthetically usable radiation* (PUR) didefinisikan sebagai bagian energi radiasi yang secara aktual diabsorpsi oleh fitoplankton. PUR seluruhnya bergantung kepada komposisi pigmen dari populasi fitoplankton dan pada posisi spektral energi matahari yang menembus kolom air. Hanya bagian PUR ini yang benar-benar

digunakan dalam proses fotosintesis dan bagian ini didefinisikan sebagai jumlah radiasi matahari yang dikonversi ke dalam dan disimpan sebagai energi kimiawi dalam bentuk bahan organik (*photosynthetic stored radiation/PSR*). Secara relatif ada hubungan yang jelas antara ketiga nilai ini yaitu : $PSR < PUR < PAR$

Untuk melakukan penyerapan terhadap cahaya, alga mengembangkan berbagai macam pigmen. Setiap pigmen memiliki tingkat absorpsi yang berbeda terhadap spektrum warna cahaya. Govindjee dan Braun (1974) mengklasifikasikan pigmen-pigmen ini dalam tiga kelompok utama : (1) *Chlorophylls* (Chl) yang dengan kuat mengabsorpsi cahaya biru dan merah, contohnya adalah Chl a (terdapat pada seluruh alga) dan Chl b (terdapat pada alga hijau); (2) *Carotenoids* yang mengabsorpsi cahaya hijau dan biru, contohnya adalah β -carotene (terdapat pada seluruh alga) dan fucoxanthin (terdapat pada alga coklat); (3) *Phycobilins* yang mengabsorpsi cahaya hijau, kuning, dan orange, contoh R-phycoerythrin (terdapat pada alga merah) dan C-phycoerythrin (terdapat pada alga biru-hijau). Pigmen-pigmen tersebut merupakan antena bagi alga untuk menangkap energi cahaya.

Fitoplankton memiliki jenis dan susunan pigmen yang berbeda pada tiap jenisnya (Tabel 2). Setiap jenis pigmen memiliki kemampuan yang berbeda dalam menyerap cahaya matahari (Govindjee dan Braun, 1974; Wetzel, 1983; Reynold, 1990). Pigmen fotosintesis memungkinkan tanaman untuk memanen energi cahaya dan menggunakannya untuk memproduksi makanan. Panjang gelombang cahaya yang tidak diserap memberi warna pigmen. Klorofil-a yang hijau adalah pigmen fotosintesis utama yang ditemukan hampir pada seluruh tanaman. Carotenoid menangkap cahaya biru dan hijau sehingga

terlihat orange, merah atau coklat. Phycobilins menyerap cahaya hijau dan kuning sehingga terlihat merah, ungu atau biru.

Tabel 2. Distribusi berbagai pigmen dalam fitoplankton laut

Pigmen	Chlori	Chlori	Xanthi	Chlori	Chlori	Chlori	Chlori	Chlori	Chlori	Chlori
Chlorofil										
Chlorofil a	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Chlorofil b	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-
Chlorofil c	-	-	?	+	+	+	+	-	-	+
Carotenoid										
a-carotene	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-
b-carotene	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
y-carotene	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-
e-carotene	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-
Xanthofil										
Neofucoxanthin	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+
Neoperidinin	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Zeaxanthin	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-
Flavoxanthin	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Alloxanthin	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Monodoxanthin	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Crococanthin	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Siphonoxanthin	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Lutein	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+
Violaxanthin	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+
Fucoxanthin	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-
Neoxanthin	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-
Astaxanthin	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-
Diatoxanthin	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-
Diadinoxanthin	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-
Peridinin	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Dinoxanthin	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Teraxanthin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Anteraxanthin	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Mycoxanthin	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mycoxanthofil	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oscilloxanthin	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Echinenone	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Billiprotein										
Phycocyanin	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+
Phycocerythrin	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+

Sumber : Barnes dan Hughes (1988)

Absorpsi maksimal oleh klorofil *a* terjadi dalam dua berkas panjang gelombang, yang puncaknya pada sekitar 430 dan 660 nm. Pigmen aksesori memiliki absorpsi maksimal pada panjang gelombang yang berbeda: klorofil *b*, yang terjadi pada *Chlorophyta*, puncaknya pada sekitar 450 dan 645 nm; β -carotene (pigmen utama pada sebagian besar alga air tawar), memuncak pada kisaran 450-470 nm; xantophyl yang secara luas tersebar di antara kelompok alga, puncaknya antara 480 dan 560 nm; phycobilins, seperti phycoerythrine mengabsorpsi pada 540-560 nm dan phycocyanins, 610–630 nm (terdapat pada *Rhodophyta*, *Cryptomonads* dan pada *Cyanobacteria*)(Reynold, 1990).

3.3. Efisiensi Pemanfaatan Energi Cahaya dalam produksi primer

Intensitas cahaya yang dimanfaatkan dalam proses produksi primer memiliki kisaran yang relative sempit. Fitoplankton mampu menyerap intensitas cahaya dengan nilai efisiensi yang relative kecil. Hasil penelitian Sunarto dkk (2004) mendapatkan nilai efisiensi pemanfaatan energi cahaya sebesar antara 0.5135% sampai 2.5502% (Tabel 3). Terlihat ada kecenderungan meningkatnya nilai efisiensi sejalan dengan peningkatan kedalaman. Efisiensi tertinggi diperoleh pada kedalaman 11 m dimana intensitas cahaya hanya tinggal sekitar 16% dari cahaya permukaan. Pada kedalaman 14 m dengan intensitas cahaya sebesar 9% efisiensinya menurun kembali. Hal ini sangat mungkin terjadi karena sel-sel fitoplankton akan sangat efektif bekerja menyerap energi cahaya pada intensitas yang 'disukainya' dan di luar intensitas tersebut menjadi kurang efektif.

Tabel 3. Efisiensi pemanfaatan energi cahaya oleh fitoplankton dalam proses Fotosintesis (Sunarto, dkk.2004)

No	Kedlm (m)	IC (Klux)	IC ** (Kkal/m ³)	Efisiensi (%)
1	0	948.583	540.6	0.5135
2	4	380.917	217.1	1.5987
3	7	221.583	126.3	2.3636
4	11	150.750	85.9	2.5502
5	14	89.5	51.0	2.4939

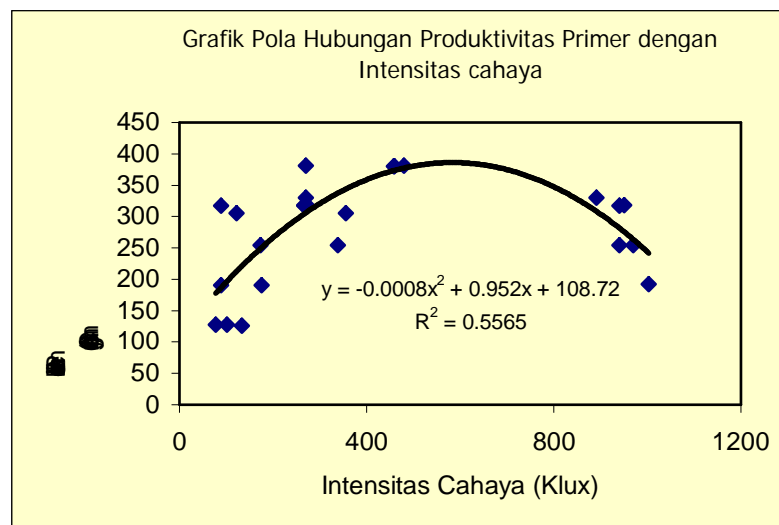
*1 gC \approx 10 Kkal

** 1 lux = 5.7×10^{-6} gKal/cm²/menit

Peningkatan laju fotosintesis oleh sel fitoplankton bergantung pada laju penangkapan kuantum cahaya. Hal ini ditentukan oleh kemampuan absorpsi cahaya dari biomasa fotosintetik dan oleh intensitas dan kualitas spektrum cahaya. Laju fotosintesis tidak secara sederhana proporsional dengan laju penangkapan foton cahaya. Kirk (1994) menyatakan bahwa setiap sel memiliki kemampuan yang berbedabeda dalam menggunakan energi yang diserap untuk memfiksasi CO₂ sebagai akibat perubahan status fisiologisnya. Kuantum cahaya mungkin dikumpulkan oleh suatu pigmen lebih cepat daripada elektron pembawa (*electron carrier*) dan enzimenzim yang dapat menggunakannya. Dalam hal ini terdapat nilai efisiensi yang berbeda pada tiap sel fitoplankton.

Intensitas cahaya mempengaruhi nilai produktivitas primer. Hasil penelitian Sunarto (2002) membuktikan adanya hubungan antara intensitas cahaya dan produktivitas primer (Gambar 12). Berdasarkan Gambar 12 terlihat bahwa semakin tinggi intensitas cahaya maka semakin tinggi produktivitas sampai batas tertentu kemudian turun kembali seiring dengan kenaikan intensitas cahaya. Ada batasan tertentu bahwa peningkatan intensitas cahaya tidak selamanya meningkatkan produktivitas. Intensitas cahaya yang sangat tinggi justru menjadikan terhambatnya proses fotosintesis

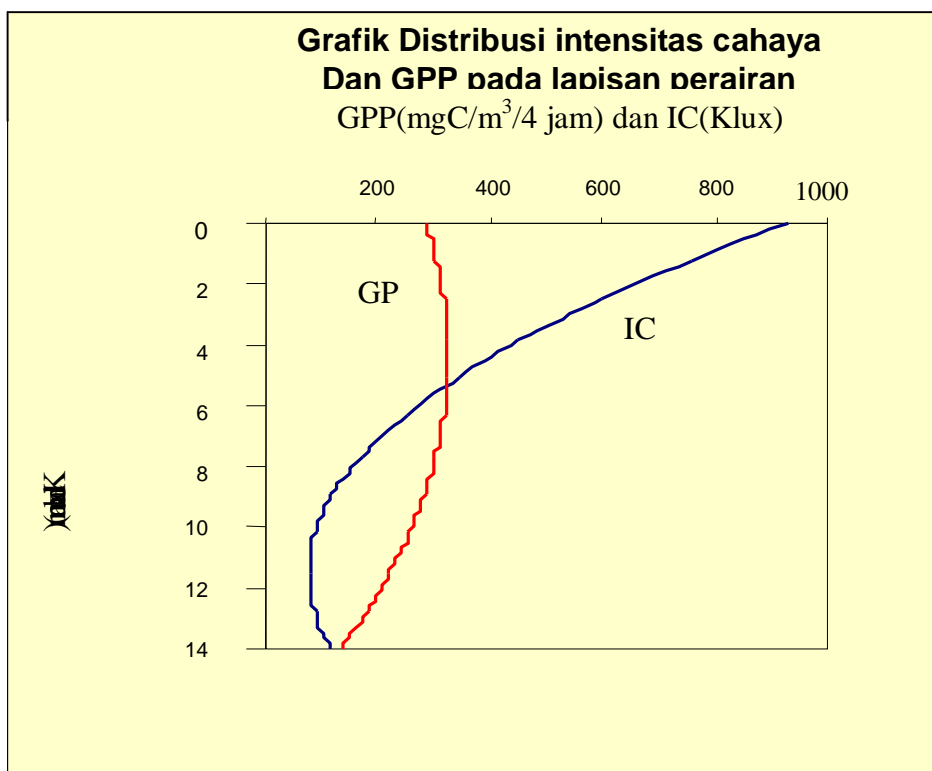
(fotoinhibisi) sedangkan intensitas yang terlalu rendah menjadi pembatas bagi proses fotosintesis (Cushing, 1975; Mann, 1982; Valiela, 1984; Parsons dkk., 1984; Neale, 1987). Kirk (1994) menyatakan bahwa pada intensitas cahaya yang tinggi kelebihan energi yang diserap dapat menonaktifkan sistem fotosintesis. Basmi (1987) menyatakan bahwa pada jenis-jenis fitoplankton tertentu memiliki adaptasi sel terhadap cahaya dengan melakukan pengandaan jumlah chlorofil dalam kondisi intensitas cahaya yang relatif rendah dan sebaliknya pada cahaya yang tinggi .



Gambar 12 . Grafik hubungan produktivitas primer dengan intensitas cahaya

Untuk memudahkan mengetahui sebaran intensitas cahaya dan produktivitas primer pada lapisan perairan maka dapat digambarkan grafik gabungan antara intensitas cahaya dan produktivitas primer terhadap kedalaman (Gambar 13). Berdasarkan gambar tersebut terlihat pola distribusi dan pembagian besarnya cahaya yang tergolong cahaya inhibisi, cahaya optimum dan cahaya pembatas. Cahaya inhibisi memberikan dampak rendahnya nilai produktivitas primer, cahaya optimum memberikan nilai produktivitas yang optimum sedangkan cahaya pembatas menurunkan nilai produktivitas. Pada tahap

awal intensitas cahaya yang tinggi menjadikan produktivitas rendah dan seiring penurunan intensitas maka produktivitas semakin meningkat. Produktivitas memuncak pada sekitar kedalaman 4 m yaitu $347.084 \text{ mgC/m}^3/4\text{jam}$ dimana intensitas cahaya telah menurun hingga tinggal 38.81% dari cahaya permukaan. Selanjutnya produktivitas terus menurun mengikuti penurunan intensitas cahaya seiring penambahan kedalaman. Dari sini terlihat bahwa cahaya yang tinggi ternyata menghambat produktivitas demikian pula cahaya yang rendah menjadi pembatas proses produktivitas. Sebenarnya selama fitoplankton masih berada pada lapisan eufotik maka dapat menghasilkan produksi yang positif, namun laju produksi bergantung pada kondisi cahaya. Pada kedalaman 0 m dengan intensitas cahaya sebesar 266 Klux merupakan cahaya penghambat. Cahaya optimal berada pada kedalaman 4 m dengan intensitas sebesar 87.7 Klux.



Gambar 12. Grafik hubungan antara intensitas cahaya dan produktivitas primer terhadap kedalaman

KESIMPULAN

1. Cahaya matahari merupakan sumber energi utama ekosistem laut
2. Cahaya matahari menjadi energi bagi organisme autotroph di laut
3. Cahaya matahari menjadi sumber utama proses produksi di laut melalui proses fotosintesis yang dilakukan oleh organisme autotroph.
4. Fitoplankton merupakan produser primer utama pada ekosistem laut yang menempati dasar piramida makanan di laut.
5. Fitoplankton memiliki nilai efisiensi tertentu dalam memanfaatkan cahaya matahari.

DAFTAR PUSTAKA

- Alpen, E.L., 1990. Radiation Biophysics. Prentice-Hall International Inc. New Jersey.
- Charton, B dan J. Tietjen. 1989. Seas and Oceans. Collin. Glassglow and London.
- Chusing, D.H. 1975. Marine Ecology and Fisheries. Cambridge University Press. London
- Forti.G. 1969. Light Energy Utilization in Photosynthesis. In Goldman, C.R. Primary Production in Aquatic Environments. University of California Press. P. 19-34
- Govindjee dan B.Z. Braun.1974. Light Absorption, Emission and Photosynthesis *In* W.D.P. Stewart (ed.) Algal Physiology and Biochemistry. Blackwell Scientific Publications. Oxford. p.346-390.
- Grahame, J. 1987. Plankton and Fisheries. Edward-Arnold. Australia.
- Mann, K.H. 1982. Ecology of Coastal Waters: A System Approach. Black Well Scientific Publication. Oxford.
- Neale. 1987. Algal Photoinhibition and Photosynthesis in the Aquatic Environment *In* D.J. Kyle, C.B. Osmon dan C.J. Arntzen (Eds). Photoinhibition. Elsevier.
- Nybakken, J.W. 1988. Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis. PT. Gramedia Jakarta.
- Odum, E.P. 1971. Fundamentals of Ecology. Third edition. WB. Saunder Company. Philadelphia. London. Toronto.
- Odum, E.P. 1983. Basic Ecology. Saunders College Publishing. Philadelphia.
- Parsons, T.R., M. Takahashi dan B. Hargrave. 1984. Biological Oceanographic Processes. Third edition. Pergamon Press. Oxford.
- Sears, F.W. 1949. Optics. Addison-Wesley Publishing Company. Japan.
- Steeman-Nielsen, E. 1975. Marine Photosynthesis with Emphasis on the Ecological Aspect. Elsevier Oceanography Series 13. Elsevier Sci. Publ. Co. Amsterdam.

Sunarto. 2002. Hubungan Intensitas Cahaya dan Nutrien dengan Produktivitas Primer Fitoplankton. *Jurnal Akuatika*. Vol. 2. No.1. Hal 24-28

Sunarto.2004. Efisiensi Pemanfaatan Energi cahaya oleh fitopankton dalam Proses Fotosintesis. *Jurnal Akuatika*. *Jurnal Akuatika* Vol 2. No. 2/ 2004

Valiela, I. 1984. *Marine Ecologycal Processes*. Springer-Verlag. New York.

<http://www..soc.soton.ac.uk/JRD/SC>