

METODE ALTERNATIF PENGUKURAN PRODUKTIVITAS PRIMER FITOPLANKTON DI PERAIRAN PESISIR DAN LAUT

OLEH

Dr Ir Rahmadi Tambaru, M.Si dan Dr Ir Muh Farid Samawi, M.Si

Departemen Ilmu Kelautan, Fak Ilmu Kelautan dan Perikanan Unhas

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki wilayah perairan laut yang luas (Lasabuda, 2013). Wilayah itu memiliki banyak keunggulan, diantaranya terdapat banyak biota laut yang memiliki nilai ekonomis. Populasinya tersebar di berbagai ekosistem (Rahmawati, 2011). Populasi itu dapat mengalami perubahan jenis dan kelimpahan, bergantung pada kondisi perairan dalam mendukung pertumbuhannya.

Baik buruknya suatu perairan dalam mendukung pertumbuhan berbagai biota laut bergantung pada kondisi parameter fisik, kimia dan biologi (Sreenivasulu et al., 2015). Selain menentukan kehidupan organisme, parameter-parameter itu juga menentukan laju produktifitas primer perairan (Reddy, 2017).

Produktifitas primer merupakan proses pembentukan bahan-bahan organik dari zat-zat anorganik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis. Salah satu organisme laut yang berperan dalam proses itu adalah fitoplankton. Produktifitas primer perairan yang tinggi yang dihasilkan oleh mikroorganisme ini merupakan ukuran kualitas perairan. Hal itu menunjukkan bahwa perairan yang bersangkutan termasuk dalam kategori perairan yang subur. Semakin tinggi nilai produktivitas primer maka daya dukung perairan juga semakin besar dalam mendukung kehidupan komunitas penghuninya. Hal ini juga berlaku sebaliknya.

Selama ini, pengukuran produktivitas primer dilakukan dengan memperhitungkan penyinaran matahari saat mencapai puncak penyinaran tertinggi (sekitar jam 12.00 sampai 13:00). Pengukuran dilakukan melalui inkubasi air laut di kedalaman-kedalaman perairan. Dalam proses itu, lamanya waktu inkubasi ditentukan oleh keinginan peneliti. Hal ini menyebabkan nilai produktivitas primer yang terukur ditemukan berbeda antara satu peneliti dengan peneliti yang lain.

Perbedaan nilai produktivitas primer perairan dapat dieliminir melalui penetapan selang waktu inkubasi yang terbaik. Melalui penetapan itu, metode pengukuran produktivitas primer fitoplankton dapat dilakukan secara tepat di perairan laut. Berdasarkan hal itu, maka telah dilakukan suatu penelitian menyangkut tentang hal ini. Penelitian tentang penetapan selang waktu yang terbaik untuk melakukan

pengukuran produktivitas primer telah didapatkan. Dengan demikian besarnya nilai produktivitas primer dalam suatu perairan sudah dapat ditentukan secara lebih tepat dan akurat. Penelitian dilaksanakan di perairan pesisir dengan lokasi sampling di perairan kepulauan Barranglombo Kota Makassar. Dasar dalam penelitian ini, merujuk pada penelitian yang telah dilakukan oleh Tambaru (2000) yang mendapatkan waktu inkubasi terbaik antara jam 10:00-14:00 dengan memperbandingkan dengan waktu inkubasi jam 06:00-10:00 dan 14:00-18:00.

1.2. Perumusan Masalah

Selama ini, penetapan selang waktu inkubasi untuk pengukuran produktivitas primer dilakukan berdasarkan keinginan peneliti. Tentu saja, dalam penetapan nilai produktivitas primer adalah ditemukan berbeda antara satu peneliti dengan peneliti yang lain. Hal itu terjadi sebab standar yang tepat dalam menentukan selang waktu inkubasi yang terbaik dalam pengukuran produktivitas primer adalah belum ada. Untuk itu, penelitian menyangkut penentuan selang waktu yang terbaik telah dilaksanakan. Hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar dengan perolehan nilai produktivitas primer yang lebih bersesuaian dan mendekati nilai sebenarnya di perairan.

Dalam merancang hipotesis penelitian adalah didasarkan pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Tambaru (2000). Dalam penelitiannya, waktu inkubasi yang terbaik untuk pengukuran produktivitas primer telah didapatkan. Waktu inkubasi itu adalah jam 10:00-14:00 (lama waktu inkubasi adalah 4 jam). Namun, hasil penelitian ini belum dapat dijadikan rujukan yang tepat sebab mungkin saja nilai produktivitas primer dapat ditemukan semakin tinggi jika selang waktu inkubasi diperpanjang. Untuk itu, lama dan penetapan waktu inkubasi dirancang sedemikian rupa, apakah selang waktu inkubasi diperpanjang atau pengukuran produktivitas primer dipercepat. Dengan demikian, hipotesis yang ditetapkan adalah perbedaan selang waktu inkubasi akan memberikan hasil produktivitas primer yang berbeda, sementara itu selang waktu inkubasi akan menentukan besarnya nilai produktivitas primer dalam perairan. Dalam penelitian dilakukan pada tiga selang waktu inkubasi yaitu pertama pada jam 09:00-14:00 (pengukuran produktivitas primer dipercepat ke jam 09.00 = suasana lebih pagi hari, dan lama waktu inkubasi ditambah 1 jam dari 10.00-14.00), kedua pada jam 10:00-14:00 (hasil penelitian Tambaru, 2000), dan ketiga pada jam 11:00-16:00 (pengukuran produktivitas primer diperlambat ke jam 11.00 = suasana lebih terik/siang, dan lama waktu inkubasi ditambah 1 jam dari 11.00-16.00 = suasana menjelang sore hari). Sebelum penelitian, selang waktu yang terbaik diduga akan ditemukan pada selang waktu inkubasi pertama yaitu 09:00-14:00. Alasannya adalah bahwa pada jam 09:00 fitoplankton mulai aktif dalam melakukan proses fotosintesis, dan semakin aktif seiring dengan semakin bertambahnya sudut datang matahari

sampai mencapai puncak penyinaran (jam 12.00). Hal ini akan bertahan sampai pada jam 14:00.

1.3. Tujuan Penulisan Makalah

Tujuan penulisan makalah ini adalah menyampaikan pada khalayak khususnya pada para ahli lingkungan bahwa metode pengukuran produktivitas primer fitoplankton yang tepat di perairan pesisir dan laut telah ditemukan. Diharapkan isi makalah ini menjadi sumber informasi untuk pelaksanaan pengukuran produktivitas primer di perairan pesisir dan laut. Di samping itu memberikan kontribusi dalam bidang ilmu pengetahuan khususnya dalam pengukuran produktivitas primer perairan.

2. Tinjauan pustaka

2.1. Fitoplankton

Fitoplankton merupakan produser primer yang mampu memanfaatkan zat-zat anorganik dan merubahnya menjadi zat organik dengan bantuan sinar matahari melalui proses fotosintesis. Hasil dari proses itu disebut produksi primer. Pada ekosistem akuatik sebagian besar produktivitas primer dilakukan oleh fitoplankton.

Jenis fitoplankton yang sering dijumpai di laut dalam jumlah yang besar adalah diatom. Sementara itu jenis fitoplankton minoritas di laut adalah jenis-jenis alga hijau-biru (Cyanophyceae), kokolitofor (Coocolithoporidae), dan silikoflagelata (Dictyochaceae). Fitoplankton pada perkembangannya secara langsung atau tidak langsung salah satunya dipengaruhi oleh faktor hidrooseanografi termasuk didalamnya sifat fisik perairan. Oleh karena itu variabilitas fitoplankton sangat tinggi pada lingkungan yang memiliki dinamika fisik yang kompleks, sebagai contoh perairan pantai. Perairan pantai dicirikan dengan perairan yang dangkal, terjadi pengkayaan nutrien, dan adanya pengaruh arus pasang surut serta penerima beban sungai (May *et al.* 2003). Pasang surut merupakan salah satu sifat perairan yang dominan berpengaruh pada komunitas pantai (Parsons *et al.* 1984). Kelimpahan plankton dan nekton menjadi berfluktuasi karena adanya pengaruh pasang surut. Bersama dengan angin dan gelombang, pengaruh pasang surut menciptakan turbulen perairan yang dapat mengangkat nutrien dari lapisan dalam ke lapisan permukaan. Turbulen ini sangat efektif di atas paparan benua.

2.2. Nutrien

Nutrien anorganik utama yang diperlukan fitoplankton untuk tumbuh dan berkembang adalah nitrogen (dalam bentuk nitrat, NO_3^-) dan ortofosfat (dalam bentuk PO_4^-). Di samping itu, silikat juga merupakan salah satu nutrien yang diperlukan dan

mempunyai pengaruh terhadap proses pertumbuhan dan perkembangan organisme laut.

Bahan anorganik (nutrien anorganik) merupakan sumber nutrien yang masuk ke perairan yang digunakan oleh fitoplankton dalam menghasilkan produksi primer. Sumber ini dapat diperoleh dari luar perairan diantaranya melalui *run-off* sungai (Savenkoff *et al.* 1996 dan Cebrian 2002). Jenis-jenis nutrien anorganik yang paling dibutuhkan oleh fitoplankton adalah nitrogen dan fosfor serta silikat.

Menurut Kennish (1994), jenis nitrogen dan fosfor serta silikat merupakan nutrien-nutrien major di estuaria, ketiganya berada dalam bentuk terlarut dan partikulat. Elemen-elemen ini berasal dari lahan-lahan pertanian (pupuk) dan limbah antropogenik (Kennish 1994; Jassby *et al.* 2002) serta penghancuran batuan yang selanjutnya memasuki laut melalui pengaliran sungai (Millero dan Sohn 1992).

2.3. Produktivitas Primer Fitoplankton

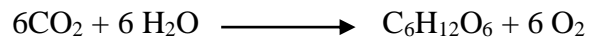
Produktivitas primer adalah jumlah bahan organik yang dihasilkan oleh organisme autotrop yaitu organisme yang mampu menghasilkan bahan organik (bahan berenergi tinggi) dari bahan anorganik (bahan berenergi rendah) dengan bantuan energi matahari (Parsons *et al.* 1984). Suatu proporsi bahan organik yang diproduksi oleh organisme berklorofil melalui proses fotosintesis digunakan untuk respirasi seluler mereka, sisanya digunakan oleh organisme pada tingkat tropik yang lebih tinggi untuk pertumbuhan dan reproduksi. Pengurangan jumlah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis dapat terjadi karena adanya kematian organisme berklorofil.

Dalam konsep produktivitas dikenal istilah produktivitas primer kotor (*gross primary productivity*) dan produktivitas primer bersih (*net primary productivity*). Produktivitas primer kotor adalah laju produksi primer zat organik pada jaringan tumbuhan termasuk yang digunakan untuk respirasi, sedangkan produktivitas primer bersih adalah laju produksi primer zat organik setelah digunakan untuk respirasi. Produktivitas primer dibatasi oleh cahaya, nutrien, dan faktor hidrografi yaitu paduan semua faktor yang menggerakkan massa air laut seperti arus, upwelling, dan difusi serta kelimpahan dan struktur komunitas fitoplankton (Wetzel 1983). Currie (1958 *in* Odum 1998) memberikan gambaran bahwa produktivitas primer fitoplankton optimal pada kedalaman 5-10 m untuk perairan dekat pantai.

Produktivitas primer fitoplankton dalam lapisan eufotik memberikan suplai bahan organik dan energi pada rantai makanan. Variasi parameter ini berpengaruh terhadap siklus material dalam lingkungan perairan baik secara spasial maupun temporal. Di samping berperan dalam siklus material, parameter itu juga berperan dalam siklus karbon sehubungan dengan perubahan iklim global (*Global Change*) (Hama *et al.* 1997).

Produktivitas primer perairan pada dasarnya tergantung pada aktivitas fotosintesis dari organisme autotrop yang mampu mentransformasi karbondioksida serta nutrisi yang lain menjadi bahan organik dengan bantuan sinar matahari. Oleh sebab itu pendugaan produktivitas primer perairan didasarkan pada pengukuran aktivitas fotosintesis terutama yang dilakukan oleh alga.

Menurut Mann (1982), Valiela (1984) dan Reynold (1990), fotosintesis adalah proses fisiologis dasar yang penting bagi nutrisi tanaman. Persamaan umum proses fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan hijau adalah sebagai berikut:



Persamaan tersebut menunjukkan bahwa proses fotosintesis adalah sebuah reaksi reduksi-oksidasi, dimana CO_2 direduksi dan H_2O dioksidasi.

Waktu inkubasi yang terbaik dalam pengukuran produktivitas primer telah dilakukan oleh Tambaru (2000) di perairan Teluk Hurun Lampung yang mendapatkan waktu inkubasi antara jam 10:00-14:00, yang diperbandingkan dengan jam 06:00-10:00 dan 14:00-18:00 dengan persentase berturut-turut adalah 52.26 %, 20.46 %, dan 34.28 %. Untuk penelitian yang dilakukan di danau Manzala antara jam 06:00-10:00, 10:00-14.00, dan 14:00-18.00 berturut-turut adalah 46 %, 44 %, dan 10 % (Khalil, 1990).

Proses fotosintesis di dalam perairan hanya dapat berlangsung bila ada cahaya sampai pada kedalaman tertentu di mana fitoplankton berada. Kedalaman penetrasi cahaya di dalam perairan bergantung kepada absorpsi cahaya oleh air, panjang gelombang cahaya, kecerahan air, pemantulan cahaya oleh permukaan laut, lintang geografi dan musim.

2.4. Produksi Fitoplankton (Pembentukan Biomassa)

Produksi dapat didefinisikan sebagai total bahan organik yang dihasilkan oleh organisme fotosintesis pada suatu unit waktu tanpa melihat apakah organisme itu tetap hidup atau mengalami kematian (Ricker 1958 *in* Parsons *et al.* 1984). Produksi bergantung pada interval waktu saat pengukuran dilaksanakan, keberadaan dan ketiadaan predator, laju pertumbuhan dan kematian alami populasi. Untuk mengestimasi produksi dapat dipertimbangkan rata-rata *standing stock* populasi.

Menurut Parsons *et al.* (1984), biomassa dapat diartikan sama dengan *standing stock* yang didefinisikan sebagai konsentrasi material tumbuhan per unit volume (gm^{-3}) atau per unit area (gm^{-2}). Biomassa biasanya diukur sebagai berat basah, berat kering, berat pengabuan, atau karbon organik. Untuk studi penelitian tentang fotosintesis fitoplankton, konsentrasi klorofil sangat sesuai dan tidak ada duanya dalam pengukuran konsentrasi biomassa (Alderink dan Jovin 1997; Steigenberger *et al.* 2004). Konsentrasi klorofil-*a* merupakan indikator terbaik dalam menentukan *standing stock* fitoplankton. Kemudian, Sumich (1992) menyatakan bahwa ukuran

biomassa ditentukan oleh keseimbangan antara peningkatan hasil (pembelahan dan pertumbuhan sel) dan penurunan hasil (*sinking* dan *grazing*).

Pembentukan biomassa fitoplankton ditentukan oleh proses fotosintesis. *Grazing*, ekspor, dan ekskresi merupakan parameter lainnya yang mempengaruhi biomassa fitoplankton pada perairan (Cebrian 2002). Hal ini dapat direpresentasikan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$\text{Hasil} = \text{Fotosintesis Bersih} - \text{Ekskresi} - \text{Pemangsaan} - \text{Ekspor}$$

Di samping itu, perubahan biomassa dapat juga ditentukan dengan cara pengukuran laju pertumbuhan spesifik :

$$\mu = \ln (B_f/B_o) / \delta t = \ln [(B_o + Y) / B_o] / \delta t$$

di mana :

μ = Perubahan Biomassa fitoplankton

B_f = Biomassa Fitoplankton akhir

B_o = Biomassa fitoplankton awal

δt = Interval waktu antara pengukuran B_o dan B_f

$Y = B_f - B_o$

Pertumbuhan algae dalam hal ini fitoplankton tidak selamanya berangkai secara langsung dengan laju fotosintesis. Ketidakberangkaian ini terjadi pada skala waktu harian yang dapat dilihat dari hasil proses fotosintesis yang rendah karena penyinaran tidak optimal dalam. Hal ini dapat juga terjadi ketika algae dengan kondisi nutrien yang terbatas, terekspose pada daerah yang memiliki konsentrasi nutrien yang tinggi. Pada kondisi yang lain, cadangan karbohidrat dan lipida dapat digunakan dengan cepat untuk pertumbuhan pada kondisi nutrien yang terbatas. Cadangan karbohidrat dan lipida ini terakumulasi selama energi mencukupi.

2.4. Faktor dan Proses Penentu Produktivitas Fitoplankton

2.4.1. Distribusi dan Ketersediaan Nutrien N, P dan Si (Spasial dan Temporal)

Distribusi dan struktur komunitas fitoplankton sangat bervariasi di wilayah tropis karena dipengaruhi oleh perubahan curah hujan secara musiman (Sournia 1969 in Gilbes *et.al.* 1996). Curah hujan musiman ini menghasilkan perbedaan debit air sungai yang mengalir ke perairan laut baik secara spasial dan temporal. Akibatnya, konsentrasi nutrien dan salinitas serta kekeruhan mengalami perubahan, pada akhirnya mempengaruhi produktivitas perairan.

Secara spasial, distribusi vertikal nutrien N, P dan Si pada kolom air memiliki nilai yang rendah di lapisan permukaan laut dan berlimpah di lapisan lebih dalam (Valiela 1984; Thurman 1991; Millero dan Sohn 1992). Penyebab rendahnya nutrien di permukaan karena diserap oleh alga dan bakteri di zona fotik. Pada kondisi-kondisi tertentu, nutrien-nutrien ini mengalami penambahan di permukaan perairan karena

adanya ekskresi organisme dan dekomposisi organisme mati baik secara kimia maupun biologi. Ditinjau dari sebaran secara horisontal, jenis-jenis nutrien memiliki konsentrasi yang lebih tinggi di daerah paparan benua (dekat daratan) jika dibandingkan dengan di luar paparan benua (laut lepas) (Hama *et al.* 1997 dan Zuzuki *at al.* 1997).

Distribusi nutrien secara temporal berhubungan dengan proses-proses fisika seperti pencampuran vertikal dan upwelling (Pipkin *et. al.* 1987; Thurman 1991;; Sumich 1992; Pomeroy 1999) serta *hydrothermal vents*. Menurut Thurman (1991), pencampuran vertikal dapat disebabkan oleh gelombang dan pasang, sementara itu Sumich (1992) mengatakan gelombang dan angin. Dengan adanya aksi gelombang dan angin, nutrien yang ada pada kolom air di lapisan yang lebih dalam terangkut ke atas bercampur dengan nutrien di lapisan permukaan.

2.4.2. Intensitas Cahaya dan Kedalaman Z_{eu} dan Z_{mix}

Cahaya matahari merupakan sumber energi pada proses fotosintesis. Menurut Lalli dan Pearsons (1995), cahaya merupakan salah satu faktor fisika utama yang mengontrol produksi fitoplankton dalam perairan. Makin dalam penetrasi cahaya pada kolom perairan maka lapisan di mana proses fotosintesis dapat berlangsung adalah semakin besar, dengan demikian konsentrasi oksigen terlarut masih memiliki nilai yang tinggi pada kolom air yang lebih dalam.

Menurut Parsons *et al.* (1984), intensitas cahaya secara kualitatif digambarkan lewat distribusi spektral yang bergantung pada perbedaan panjang gelombang. Cahaya dengan panjang gelombang diatas 760 nm disebut infra merah (IR) dan cahaya yang kurang dari 300 nm adalah ultra violet (UV). Panjang gelombang antara UV dan IR disebut visibel (VS), fraksinya sebagian besar penting untuk aspek-aspek biologi seperti fotosintesis dan rangsangan visual organisme. Total radiasi pada panjang gelombang ini disebut dengan PAR (*photosynthetically available radiation*) yang dapat menembus perairan dan selanjutnya diserap oleh klorofil fitoplankton.

Proses fotosintesis fitoplankton hanya dapat berlangsung bila ada cahaya pada kolom perairan (Huisman 1999). Hasil fotosintesis yang cukup besar dapat diperoleh mulai dari lapisan permukaan sampai ke kedalaman dengan nilai intensitas cahaya tinggal 1 %. Lapisan ini sering disebut zona eufotik (Steeman-Nielsen 1975 dalam Nontji 1984) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2. Zona di bawah dari zona tersebut adalah kedalaman kompensasi (titik kompensasi) dengan intensitas cahaya tinggal 1 % dari intensitas cahaya permukaan. Pada lapisan ini, laju fotosintesis sama dengan laju respirasi. Zona di bawah titik kompensasi disebut zona disfotik yang mempunyai laju fotosintesis lebih kecil dari laju respirasi. Perubahan laju fotosintesis merupakan hasil dari respon fitoplankton terhadap variabilitas cahaya (Hood *et al.* 1991).

Hubungan antara intensitas cahaya dan produktivitas primer perairan sangat nyata. Peningkatan intensitas cahaya secara proporsional sebanding dengan peningkatan produktivitas primer. Jika intensitas cahaya semakin besar maka proses fotosintesis juga akan semakin meningkat sampai mencapai puncak di saat cahaya dalam kondisi jenuh.

Kedalaman lapisan eufotik (Z_{eu}) dan tercampur (Z_{mix}) menentukan besarnya kolom air yang dapat tersinari oleh cahaya untuk proses fotosintesis. Menurut Damar (2003), rasio $Z_{mix} : Z_{eu}$ menentukan keberadaan cahaya untuk keperluan pertumbuhan fitoplankton. Kedalaman lapisan eufotik (Z_{eu}) dapat ditentukan dengan menghitung koefisien peredupan cahaya sampai pada kedalaman dengan cahaya hanya tinggal 1%. Kedalaman ini dapat dihitung dengan mengikuti Hukum Lambert-Beer. Untuk pengukuran kedalaman lapisan tercampur (Z_{mix}) dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan CTD (*Conductivity Temperatur Depth*). Kedalaman dengan salinitas yang sama menandakan bahwa kedalaman tersebut merupakan kedalaman tercampur.

2.4.3. Kekерuhan, suhu dan salinitas

Kekeruhan (*turbidity*) merupakan gambaran sifat optik air dari suatu perairan yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang dipancarkan dan diabsorpsi oleh partikel-partikel yang ada dalam air. Kekeruhan disebabkan oleh bahan organik maupun anorganik tersuspensi dan terlarut seperti lumpur pasir halus plankton dan mikroorganisme (APHA 1989). Dengan adanya kekeruhan mempengaruhi penetrasi cahaya ke dalam kolom perairan selanjutnya akan menurunkan produktivitas fitoplankton pada perairan.

Suhu secara ekologi memegang peranan penting dalam menentukan keberadaan fitoplankton dalam perairan. Menurut Boumen *et al.* (2003) dan Ayadi *et al.* (2004), komposisi dan ukuran fitoplankton sangat dipengaruhi oleh distribusi suhu di permukaan laut. Di samping itu suhu berpengaruh langsung terhadap tumbuhan dan hewan yakni pada laju fotosintesis tumbuh-tumbuhan dan proses fisiologi hewan khususnya derajat metabolisme dan siklus reproduksinya. Kemudian, suhu dapat berperan (meskipun mungkin bukan satu-satunya faktor) dalam menentukan suksesi jenis fitoplankton pada suatu perairan (Raymont 1963). Selain itu suhu berpengaruh tidak langsung terhadap kelarutan CO_2 yang digunakan untuk fotosintesis dan kelarutan O_2 yang digunakan untuk respirasi hewan-hewan laut. Daya larut O_2 akan berkurang dengan meningkatnya suhu perairan. Toleransi terhadap suhu bervariasi pada setiap spesies. Adaptasi organisme dapat terjadi terhadap perubahan suhu yang lebih tinggi atau lebih rendah dari suhu normalnya (Pescod 1973).

Salinitas merupakan salah satu parameter perairan yang mempengaruhi fitoplankton. Menurut Barron *et al.* (2003), salinitas mempengaruhi produksi

fitoplankton. Struktur komunitas fitoplankton dapat mengalami perubahan sejalan dengan perubahan salinitas (Ayadi *et al.* 2004). Kemudian, variasi salinitas mempengaruhi laju fotosintesis terutama di daerah estuari khususnya pada fitoplankton yang hanya bisa bertahan pada batas-batas salinitas yang kecil (stenohaline) (Kaswadji *dkk.* 1993). Salinitas yang sesuai bagi fitoplankton adalah di atas 20 ppt. Salinitas seperti itu menyebabkan fitoplankton dapat bertahan hidup dan memperbanyak diri serta aktif melaksanakan proses fotosintesis.

2.4.4. Struktur Komunitas dan Biomassa (Klorofil-*a*) Fitoplankton

Fitoplankton adalah tumbuhan renik yang melayang-layang dalam kolom air dan tidak mampu bergerak secara aktif melawan arus air (Odum 1998). Secara ekologis, fitoplankton merupakan dasar rantai makanan. Keberadaannya menentukan keberadaan seluruh biota perairan.

Pada kolom perairan, kuantitas dan kualitas fitoplankton selalu berubah-ubah sesuai dengan kondisi lingkungan hidupnya. Seperti tumbuhan darat lainnya, fitoplankton memerlukan kondisi lingkungan yang optimal agar dapat tumbuh dan berkembang secara baik. Kondisi lingkungan yang merupakan faktor penentu keberadaan fitoplankton adalah suhu, salinitas, cahaya matahari, pH, kekeruhan dan konsentrasi nutrisi serta berbagai senyawa lainnya (Duarte *et al.* 2000). Sejalan dengan itu, Davis (1955) mengatakan bahwa setiap perairan terjadi perkembangan komunitas yang dinamis sehingga suatu spesies dapat lebih dominan dari yang lainnya pada interval waktu tertentu sepanjang tahun. Spesies yang dominan pada suatu bulan sering menjadi spesies yang langka pada bulan berikutnya karena digantikan oleh spesies lainnya.

Fitoplankton merupakan produser primer yang mampu memanfaatkan zat-zat anorganik dan merubahnya menjadi zat organik dengan bantuan sinar matahari melalui proses fotosintesis yang hasilnya disebut produksi primer (Wetzel 1983). Fitoplankton sebagai pemakai cahaya matahari untuk proses fotosintesis tentunya harus hidup pada lapisan dengan cahaya yang cukup atau zona eufotik.

Tidak semua jenis fitoplankton mempunyai kemampuan adaptasi yang sama terhadap cahaya. Hal ini disebabkan adanya perbedaan kandungan pigmen dan struktur fisiologis sehingga antara satu kolom air saja sudah terjadi perbedaan distribusi vertikal fitoplankton (Wetzel 1983). Menurut Reynold (1984), fitoplankton memiliki jenis dan distribusi pigmen yang berbeda pada kloroflasnya (klorofil dan pigmen tambahan). Setiap pigmen memiliki kemampuan yang berbeda dalam menyerap energi matahari. Perbedaan ini merupakan salah satu karakteristik untuk mengelompokkan fitoplankton.

Di antara pigmen yang dipunyai oleh fitoplankton, klorofil-*a* merupakan pigmen paling utama. Pigmen ini menjadi media berlangsungnya proses fotosintesis

(Sumich 1992). Klorofil-*a* dimiliki oleh semua tumbuhan fotosintesis dan jumlahnya lebih banyak dari pigmen lainnya.

2.4.5. Peranan Hidrodinamika Oseanografi (*Flushing*)

Pada sistem akuatik yang mengandung biomassa hidup, nutrien, zat pencemar, gas-gas terlarut dan partikel tersusensi yang terbawa dalam medium fluida, maka proses-proses hidrodinamika yang mengangkut air beserta material yang dikandungnya penting untuk dipahami. Salah satu yang berhubungan dengan hal itu adalah pemahaman tentang “*flushing time*”. Menurut Monsen *et al.* (2002), *flushing time* adalah parameter penting yang menggambarkan perubahan karakteristik suatu badan air. *Flushing time* umum digunakan dalam mengukur retensi air.

Salah satu yang menyebabkan terjadinya *flushing* adalah arus seperti arus-arus riverin menuju ke laut di estuaria (Cloern *et al.* 1985). Di samping itu arus-arus pasang surut merupakan faktor utama lainnya yang menyebabkan terjadinya *flushing*.

Flushing time adalah waktu yang diperlukan suatu badan perairan untuk bergerak ke suatu badan perairan lainnya (Sumich 1992). Hal ini berarti bahwa dengan adanya pergerakan air menyebabkan material lainnya ikut terbawa dalam pengaliran itu. Dengan adanya pergerakan air berimplikasi pada perubahan biota perairan seperti kelimpahan fitoplankton dari waktu ke waktu. Hal ini dibuktikan oleh Small dan Frey (1984 *in* Cloern *et al.* 1985), fitoplankton memiliki kelimpahan yang rendah di daerah muara karena adanya pembilasan yang cepat dari arus-arus riverin ke arah laut.

Pasang surut merupakan faktor lainnya yang dapat menyebabkan *flushing*. *Flushing* pasang mempengaruhi kondisi fisik, kimia dan biologi perairan. Selama terjadinya pasang, plankton perairan pantai dapat terbawa memasuki estuaria, sementara itu pada saat surut plankton (termasuk jenis-jenis payau) dapat terbawa ke laut. Dengan demikian, kelimpahan fitoplankton menjadi berfluktuatif.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Tempat dan analisis metode penetapan

Dalam menetapkan metode pengukuran produktivitas primer fitoplankton yang tepat di perairan pesisir dan laut maka dilakukan pengujian melalui penelitian lapangan yang dilaksanakan di perairan pulau Barrang Lompo Kota Makassar. Pada prosesnya, metode pengukuran didasarkan pada selang waktu inkubasi (lamanya inkubasi air dilakukan). Dasarnya adalah hasil penelitian yang dilakukan oleh Tambaru (2000) bahwa waktu inkubasi terbaik adalah antara jam 10:00-14:00 (selang waktu inkubasi adalah 4 jam). Dalam penelitian dilakukan pada tiga selang waktu inkubasi. Pertama pada jam 09:00-14:00 (pengukuran produktivitas primer dipercepat ke jam 09.00 = susasana lebih pagi hari, dan lama waktu inkubasi 5 jam), kedua pada

jam 10:00-14:00 (lama waktu inkubasi 4 jam berdasarkan hasil penelitian Tambaru, 2000), dan ketiga pada jam 11:00-16:00 (pengukuran produktivitas primer diperlambat ke jam 11.00 = suasana lebih terik/siang, dan lama waktu inkubasi adalah 5 jam sampai suasana menjeang sore hari).

Pengambilan contoh air untuk mengukur nilai produktivitas primer, dilakukan dengan menggunakan kemmerer water sampler. Contoh air kemudian dimasukkan ke dalam botol-botol. Dalam penelitian ini digunakan 3 jenis botol yaitu botol initial, botol terang, dan botol gelap. Pengisian botol sangat dibutuhkan kehati-hatian agar tidak terjadi gelembung. Selanjutnya dilakukan pengukuran oksigen awal pada botol initial dari contoh air yang terambil sebelum inkubasi, hal yang sama juga dilakukan pada botol terang dan botol gelap setelah diinkubasi pada masing-masing selang waktu inkubasi.

Dalam penghitungan produktivitas primer dilakukan menurut Umalay dan Cuvin (1988) :

$$\text{Fotosintesis kotor (mgC/m}^3\text{/jam)} = \frac{(O_2BT) - (O_2BG) (1000)}{(PQ) (t)} \times 0,375$$

$$\text{Fotosintesis bersih (mgC/m}^3\text{/jam)} = \frac{(O_2BT) - (O_2BA) (1000)}{(PQ) (t)} \times 0,375$$

di mana :

O_2 = oksigen terlarut (mg/l)

BT = botol terang

BG = botol gelap

BA = botol awal

PQ = hasil bagi fotosintesis (1,2)

t = lama inkubasi (jam).

PQ adalah perbandingan O_2 yang dihasilkan dengan CO_2 yang digunakan melalui proses fotosintesis. Menurut Ryther (1965 dalam Parsons *et al.* 1984) nilai PQ adalah 1,1-1,3 untuk organisme yang berklorofil. Nilai 1,2 diperoleh dengan asumsi bahwa dalam proses fotosintesis didominasi oleh fitoplankton.

Dalam mendukung penelitian, maka pengambilan contoh air untuk spesimen fitoplankton dilakukan. Sebanyak 10 liter air laut disaring dengan menggunakan

plankton net berukuran porositas 30 μm . Hasil penyaringan dimasukkan ke dalam botol volume 35 ml dan diawetkan dengan larutan lugol (0.5 ml) (Vollenweider, 1974). Hal ini dilakukan pada setiap selang waktu inkubasi..

Dalam penghitungan kelimpahan individu fitoplankton dilakukan di laboratorium berdasarkan modifikasi metode “Lackley drop microstransek counting” (APHA, 1989).

$$N = n \times A/B \times C/D \times 1/E$$

di mana :

N = jumlah total plankton (individu/liter)

n = jumlah rata-rata total plankton per satu lapangan pandang

A = luas gelas penutup (mm^2)

B = luas satu lapangan pandang (mm^2)

C = volume air yang tersaring atau dikoleksi (ml)

D = volume air 1 tetes (ml)

E = volume air yang disaring (l).

Sebagai data penunjang, dilakukan pengukuran nutrisi yaitu kandungan ortofosfat, nitrat, dan silikat yang dilakukan di laboratorium setelah terlebih dahulu diawetkan dengan menggunakan asam sulfat agar tidak terjadi perubahan, sementara pengukuran parameter fisika-kimia yaitu suhu, salinitas, dan pH dilakukan di lapangan (APHA, 1989). Pengukuran nutrisi dilakukan untuk menghubungkan dengan kelayakan pertumbuhan fitoplankton.

Metode penentuan selang waktu inkubasi yang terbaik dalam pengukuran produktivitas primer dianalisis dengan menggunakan RAK (rancangan acak kelompok) seperti yang dikemukakan oleh Steel dan Torrie (1989), sebagai berikut :

$$Y_{ij} = \mu + \sigma_i + K_j + \varepsilon_{ij}$$

di mana :

Y_{ij} = Produktivitas primer

μ = Nilai tengah umum

σ_i = Perlakuan ke-i (waktu inkubasi ke-i)

K_j = Kelompok ke-j (kedalaman ke-j)

ε_{ij} = Galat perlakuan.

Untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh selang waktu inkubasi terhadap nilai produktivitas primer, dilakukan analisis sidik ragam (One Way ANOVA). Jika

hasil sidik ragam memperlihatkan perbedaan, maka akan dilanjutkan dengan uji beda nyata terkecil (BNT).

3.2. Komposisi Fitoplankton

Selama penelitian, didapatkan 2 kelas dan 12 genera fitoplankton yaitu Bacillariophyceae sebanyak 11 genera, dan Dinophyceae sebanyak 1 genus. Kedua kelas fitoplankton yang ditemukan merupakan kelas-kelas utama dan sering ditemukan pada perairan laut. Bacillariophyceae dan Dinophyceae merupakan jenis fitoplankton yang umum terdapat di laut, berukuran besar serta dapat tertangkap oleh jaring plankton.

Bacillariophyceae merupakan kelas yang mendominasi seluruh selang waktu inkubasi. Menurut Arinardi *et al.* (1994), kelas fitoplankton yang sering dijumpai di laut dalam jumlah yang besar adalah Bacillariophyceae. Hal yang sama dinyatakan oleh Odum (1998) bahwa kelas fitoplankton tersebut merupakan produsen yang dominan pada tingkat trofik di wilayah beting manapun. Untuk tingkatan genus, fitoplankton yang ditemukan dominan di hampir seluruh selang waktu inkubasi adalah *Rhizosolenia*, *Chaetoseris*, dan *Suirella*.

3.3. Parameter fisika-kimia

Hasil pengukuran nitrat dan ortofosfat serta silikat berturut-turut berada pada kisaran 0.729-1.991 mg/l; 0.765-1.005 mg/l; 0.032-0.041 mg/l. Berdasarkan hal itu, konsentrasi nitrat dan fosfat serta silikat yang terukur masih dalam kisaran yang sesuai dengan pertumbuhan fitoplankton. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Mackenthum (1969), pertumbuhan optimal fitoplankton memerlukan kandungan nitrat dan ortofosfat berturut-turut pada kisaran 0.9-3.5 mg/l dan 0.09-1.80 mg/l, demikian pula kandungan silikat.

Suhu suatu perairan dipengaruhi oleh radiasi matahari, posisi matahari, letak geografis, musim, kondisi awan serta proses interaksi antara air dan udara seperti alih panas, penguapan dan hembusan angin. Suhu di perairan Nusantara umumnya berkisar antara 28° – 38°C, suhu pesisir sedikit lebih tinggi daripada suhu laut lepas. Suhu selama penelitian masih sesuai dengan pertumbuhan fitoplankton. Suhu terdeteksi antara 29-30 °C. Suhu yang sesuai untuk kehidupan fitoplankton berkisar 20-30°C, sedangkan suhu yang baik untuk menumbuhkan plankton adalah 25-30°C. Suhu secara umum, suhu hampir merata di seluruh kolom air. Hal ini dapat dimengerti oleh karena daerah penelitian masih dikategorikan perairan pesisir yang dangkal.

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu parameter yang dapat menentukan produktivitas suatu perairan. Setiap organisme membutuhkan derajat keasaman (pH) yang optimum bagi kehidupannya. Batas toleransi organisme

terhadap pH bervariasi tergantung pada faktor fisika, kimia dan biologi. Dalam perairan yang asam yaitu pada pH kurang dari 6, organisme makanan ikan tidak akan dapat hidup dengan baik, bahkan pada pH 4 organisme tersebut akan mati. Pada pH lebih besar dari 9,5 banyak organisme tidak dapat bertahan hidup, dengan demikian perairan tidak produktif. pH yang ideal untuk kehidupan fitoplankton berkisar antara 6.5-8.0. Kisaran pH selama penelitian masih dalam kisaran tersebut yaitu 7.9-8.0.

Salinitas merupakan jumlah berat semua garam (dalam gram) yang terlarut dalam satu liter air yang dinyatakan dalam satuan per mil (‰). Salinitas mempunyai peranan penting dalam kehidupan organisme seperti misalnya terhadap distribusi biota akuatik. Tinggi rendahnya salinitas ditentukan oleh pencampuran massa air, dengan demikian distribusi salinitas merupakan parameter penting dalam mempelajari gerakan massa air. Hasil pengamatan salinitas diperoleh nilai antara 33.5-35 ‰. Kisaran tersebut masih sesuai dengan pertumbuhan fitoplankton.

4. Produktivitas Primer

4.1. Pengaruh Selang Waktu Inkubasi

Pada Tabel 1, masing-masing nilai produktivitas primer berdasarkan selang waktu inkubasi diperlihatkan. Pada selang waktu inkubasi pertama (09:00-14:00) didapatkan kisaran 15.63-28.98 mgC/m³/jam, selang waktu inkubasi kedua (10:00-14:00) 24.14-48.91 mgC/m³/jam, dan selang waktu inkubasi ketiga (11:00-14:00) 21.53-46.30 mgC/m³/jam. Kandungan produktivitas primer tertinggi didapatkan pada selang waktu inkubasi kedua, diikuti selang waktu inkubasi ketiga, selanjutnya selang waktu inkubasi pertama.

Tabel 1. Produktivitas primer pada masing-masing selang waktu inkubasi di berbagai kedalaman perairan Pulau Barrang Lompo

Selang Waktu Inkubasi	Produktivitas Primer (mg C/m ³ /jam)
09:00-14:00	15.63-28.98
10:00-14:00	24.14-48.91
11:00-16:00	21.53-46.30

Berdasarkan hasil analisa *One Way ANOVA*, perbedaan selang waktu inkubasi mempengaruhi nilai produktivitas primer perairan. Untuk itu dilakukan uji Beda Nyata terkecil (BNT). Hasilnya memperlihatkan bahwa selang waktu inkubasi yang terbaik didapatkan pada selang waktu inkubasi kedua (10:00-14:00) dan ketiga (11.00-16.00), selanjutnya selang waktu inkubasi pertama (09:00-14:00).

Tingginya kandungan produktivitas primer pada selang waktu inkubasi kedua (10:00-14:00) disebabkan karena pemanfaatan cahaya yang lebih baik. Intensitas cahaya pada selang waktu inkubasi tersebut diserap secara optimal oleh fitoplankton selanjutnya digunakan dalam proses fotosintesis. Pada selang waktu inkubasi tersebut, sudut datang cahaya semakin besar dan mencapai puncak penyinaran dengan sudut datang maksimum antara jam 12:00 sampai 13:00 (Tambaru, 2000). Seiring dengan semakin besarnya sudut datang cahaya matahari, sudah tentu cahayanya semakin kuat dan besar masuk kedalam perairan. Intensitas cahaya yang sampai kepermukaan berpenetrasi kuat sampai kedalam kolom air oleh karena sudut datangnya yang lebih besar, menyebabkan intensitas lebih banyak masuk kedalam perairan, dan sebaliknya (Parsons *et al.*, 1984; Sumich, 1992). Akibat dari besar cahaya masuk kedalam perairan berpengaruh terhadap pemanfaatan cahaya yang semakin besar oleh fitoplankton dalam melakukan proses fotosintesis.

Dalam hal penyesuaian cahaya oleh fitoplankton dalam melakukan aktifitas fotosintesis dianggap tercapai pada selang waktu inkubasi kedua. Penyesuaian ini mulai terjadi mulai ada sejak jam 06.00 pagi. Pada saat memasuki awal waktu inkubasi jam 10.00, cahaya yang ada secara keseluruhan dimanfaatkan untuk proses fotosintesis secara optimal. Kondisi ini terjadi pula pada selang waktu inkubasi ketiga.

Pada selang waktu inkubasi ketiga, penyesuaian intensitas cahaya juga telah tercapai. Dengan demikian keseluruhan cahaya yang ada semuanya digunakan dalam proses fotosintesis. Di samping itu, pada selang waktu inkubasi ketiga juga mendapatkan penyinaran maksimum seperti pada selang waktu inkubasi kedua. Hal ini berarti bahwa intensitas cahaya yang masuk ke perairan sangat berpengaruh terhadap aktifitas fitoplankton dalam melakukan proses fotosintesis.

Jika diperhatikan Tabel 1, nilai produktivitas primer pada waktu inkubasi ketiga lebih rendah dibandingkan dengan selang inkubasi kedua. Hal ini dapat dimengerti oleh karena pada selang waktu tersebut, intensitas cahaya matahari semakin berkurang terlebih saat memasuki jam 15.00 sampai jam 16.00 petang. Penurunan intensitas cahaya ini tentunya berpengaruh terhadap aktifitas fitoplankton, dan secara langsung berpengaruh terhadap besarnya nilai produktivitas primer. Namun, penurunan nilai produktivitas primer selang waktu ketiga tidak memberikan perbedaan yang berarti jika dibandingkan dengan nilai produktivitas primer selang waktu kedua. Hal ini dapat diartikan bahwa nilai produktivitas primer pada kedua selang waktu inkubasi itu adalah dianggap sama berdasarkan hasil analisis One Way Anova. Hal yang berbeda justru terjadi dengan hasil yang diperoleh pada selang waktu inkubasi pertama.

Selang waktu inkubasi pertama merupakan selang waktu inkubasi yang memberikan hasil yang paling rendah dari waktu inkubasi lainnya. Hal ini diduga

pada waktu inkubasi tersebut, fitoplankton baru melakukan taraf penyesuaian dengan kondisi intensitas cahaya yang baru masuk ke perairan (pagi hari). Jenis-jenis fitoplankton saat itu baru melakukan penyesuaian ke lapisan air di mana intensitas cahaya sesuai dengan kebutuhan dan perkembangannya. Algae planktonik memperlihatkan respon terhadap intensitas cahaya yang ada, oleh karenanya melakukan pergerakan vertikal pada kolom air (Valiela, 1984). Periode penyesuaian ini menyebabkan aktivitas fitoplankton dalam melakukan proses fotosintesis belum berjalan secara optimal, dan hal inilah yang menyebabkan kandungan produktivitas primer pada selang waktu inkubasi pertama lebih rendah dari selang waktu inkubasi kedua dan ketiga.

5. Kesimpulan

Pada akhirnya dapat disimpulkan bahwa pengaruh selang waktu inkubasi untuk terhadap nilai produktivitas primer adalah sangat nyata. Berdasarkan uji statistik, maka selang waktu inkubasi terbaik didapatkan pada selang waktu inkubasi kedua (10.00-14.00) dan ketiga (11.00-16.00). Namun, jika dianalisis secara deskriptif, nilai produktivitas primer pada selang waktu inkubasi kedua lebih tinggi dari nilai produktivitas primer pada selang waktu inkubasi ketiga. Dengan demikian, jika ingin mendapatkan nilai produktivitas primer yang tertinggi, maka metode yang tepat dalam pengukurannya, dilaksanakan pada selang waktu inkubasi kedua (10.00-14.00).

Daftar pustaka

- APHA. 1989. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water Including Bottom Sediment and Sludges. 12-th ed. Amer. Publ. Health Association Inc., New York.
- Arinardi, O. H., Trimaningsih dan Sudirjo. 1994. Pengantar Tentang Plankton serta Kisaran Kelimpahan dan Plankton Predominan di Sekitar Pulau Jawa dan Bali. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta.
- Ayadi, H., O. Abid, J. Elloumi, A. Bouain and T. Sime-Ngando. 2004. Structure of the Phytoplankton Communities in Two Lagoons of Different Salinity in the Sfax Salters (Tunisia). *Journal of Plankton Research*. Vol. 26(6): 669-679.
- Barron, S., C. Weber, R. Marino, E. Davidson, G. Tomasky and Robert Howarth. 2002. Effects of Varying Salinity on Phytoplankton Growth in a Low-Salinity Coastal Pond Under Two Nutrient Conditions. *Biol. Bull.* 203: 260–261.

- Bouman, H. A., T. Platt, S. Sathyendranath, W. K. W. Li, V. Stuart, C. Fuentes-Yaco, H. Maass, E. P. W. Horne, O. Ulloa, V. Lutz, and M. Kyewalyanga. 2003. Temperature as Indicator of Optical Properties and Community Structure of Marine Phytoplankton: Implications for Remote Sensing. *Mar Ecol Prog Ser.* Vol. 258: 19-30.
- Cebrian, J. 2002. Variability and Control of Carbon Consumption, Export, and Accumulation in Marine Communities. *Limnol.Oceanogr.* 47(1):11–22.
- Cloern, J.E., B.E. Cole, R.L.J. Wong and A.E. Alpine. 1985. Temporal Dynamics of Estuarine Phytoplankton: A Case Study of San Francisco Bay. *Hydrobiologia* : 129, 153-176.
- Damar, A. 2003. Effect of Enrichment on Nutrient Dynamics, Phytoplankton Dynamics and Productivity in Indonesias Tropical Waters : a Comparison between Jakarta Bay, Lampung Bay and Semangka Bay. Dissertation. zur Erlangung Des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultat, der Cristian-Albrechts-Universitat zu Kiel, Kiel.
- Davis, G. C. 1955. The Marine and Freshwater Plankton. Michigan State University Press, USA.
- Duarte, C.M., S. Agustí, J.M. Gasol, D. Vaqué, E.V. Dominguez, 2000. Effect of Nutrient Supply on The Biomass Structure of Planktonic Communities: An Experimental Test on A Mediterranean Coastal Community. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 206: 87–95.
- Gilbes, F., J.M. Lopez and P.M. Yoshioka. 1996. Spatial and Temporal Variations of Phytoplankton Chlorophyll *a* and Suspended Particulate Matter in Mayagues Bay, Puerto Rico. *Journal of Plankton Research*, Vol 18(1) : 29-43.
- Hama, T., K.H. Shin and N. Handa. 1997. Spatial Variability in The Primary Productivity in The East China Sea and Its Adjacent Waters. *Journal of Oceanography.* Vol. 53: 41-51.
- Hood, R.R., M.R. Abbott and A Huyer. 1991. Phytoplankton and Photosynthetic Light Response in The Coastal Transition Zone off Nothern California in June 1987. *Journal of Geophysical Research.* Vol. 96 (C8): 14.766-13.780.
- Huisman, J. 1999. Population Dynamics of Light-Limited Phytoplankton : Microcosm Experiment. *Ecologi.*, 80(1), 202-210.
- Jassby, A.D, J.E. Cloern and B.E. Cole. 2002. Annual Primary Production: Patterns and Mechanisms of Change in A Nutrient-Rich Tidal Ecosystem. *Limnol. Oceanogr.*, 47(3), 698–712.

- Kaswadji, R. F., F. Widjaja dan Y. Wardiatno. 1993. Produktivitas Primer dan Laju Pertumbuhan Fitoplankton di Perairan Pesisir dan laut Bekasi. *Jurnal Ilmu-ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia* 1(2) : 1-15.
- Kennish, M.J. 1994. *Practical Handbook of Marine Science*. Second Edition. CRC Press.
- Khalil, M. T. 1990. Plankton and Primary Productivity of Lake Manzala, Egypt. *Hydrobiologia* 196: 201-207.
- Lalli, C. M., and T.R. Parsons. 1995. *Biological Oceanography, An Introduction*. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Lasabuda R. 2013. Pembangunan wilayah pesisir dan lautan dalam perspektif negara kepulauan Republik Indonesia. Tinjauan teoritis. *Jurnal Ilmiah Platax*. Vol. I-2 : 92-101.
- Mackenthum, K. M. 1969. *The Practice of Water Pollution Biology*. United States Department of Interior, Federal Water Pollution Control Administration, Division of Technical Support.
- Mann, K.H. 1982. *Ecology of coastal waters: a system approach*. Black Well Scientific Publication. Oxford.
- May, C.L, J.R. Koseff, L.V. Lucas, J.E. Cloern, and D.H. Schoellhamer. 2003. Effects of Spatial and Temporal Variability of Turbidity on Phytoplankton blooms. *Mar.Ecol.Prog.Ser.* 254:111–128.
- Millero, F.J., dan M.L. Sohn. 1992. *Chemical Oceanography*. CRC Press. Boca Raton Ann Arbor London.
- Monsen, N.E., J.E. Cloern, L.V. Lucas, and S.G. Monismith. 2002. A Comment on The Use of Flushing Time, Residence Time, and Age as Transport Time Scales. *Limnol. Oceanogr.*, 47(5), 1545–1553.
- Nontji, A. 1984. Biomassa dan Produktivitas Fitoplankton di Perairan Teluk Jakarta serta keterkaitannya dengan Faktor-Faktor Lingkungan. Disertasi. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Odum, E. P. 1998. *Dasar-dasar Ekologi : Alih Bahasa Samingan, T. Edisi Ketiga*. Universitas Gadjadara Press, Yogyakarta.
- Parson, T. R., M. Takashi and B. Hargrave. 1984. *Biological Oceanographic Processes*. Third Edition. Pergamon Press, Oxford-New York-Toronto-Sydney-Paris-Frankfurt.

- Pescod, M. B. 1973. Investigation of Rational Effluent and Stream Standard for Tropical Countries. AIT, Bangkok.
- Pipkin, B.W., D.S. Gorsline, R.E. Casey, dan D.E. Hammond. 1987. Laboratory Exercise in Oceanography. Second Edition. W.H. Freeman and Company, New York.
- Pomeroy, L.R. 1999. Food web connections: Links and sinks. *In* Bell .C.R., M. Brylinsky, P. Johnson-Green (eds). *Microbial Biosystems : New Frontiers. Proceedings of the 8 th International Symposium on Microbial Ecolog.* Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Halifax, Canada.
- Rahmawati S. 2011. Ancaman terhadap komunitas padang lamun. *Oseana*. XXXVI (2) : 49 – 58.
- Raymont, J. E. G. 1963. Plankton and Productivity in the Ocean. Mc Millan Co., New York.
- Reddy P B. 2017. Productivity of chambal river in relation to water quality. *World Journal Of Pharmacy And Pharmaceutical Sciences*. 6 (7) : 1466-1475.
- Savenkoff, C., A.F. Vézina, T.T. Packard, N. Silverberg, J.C. Therriault, W. Chen, C. Bérubé, A. Mucci, B. Klein, F. Mesplé, J.E. Tremblay, L. Legendre, J. Wesson, and R.G. Ingram. 1996. Distributions of Oxygen, Carbon, and Respiratory Activity in The Deep Layer of The Gulf of St. Lawrence and Their Implications for The Carbon Cycle. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 2451–2465.
- Sreenivasulu G., Jayaraju N., Reddy B C S R., and Prasad T L. 2015. Physico-chemical parameters of coastal water from Tupilipalem coast, Southeast coast of India. *Journal of coastal sciences*. 2 (2) : 34-39.
- Steele, R.G.D and Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics, a Biomtrical Approach (Second edition). McGraw-Hill Kigakusha Ltd, Tokyo.
- Steigenberger, S., F. Terjung, H.P. Grosaart and R. Reuter. 2004. Blue-Fluorescence Of Nadph As An Indicator Of Marine Production. *EARSSel Eproceedings 3*.
- Sumich, J. L. 1992. An Introduction to The Biologi Marine Life. Fifth Edition. WCB WM.C.Brown Publisher.
- Tambaru, R. 2000. Pengaruh Intensitas Cahaya Pada Berbagai Waktu Inkubasi Terhadap Produktivitas Primer Fitoplankton Di Perairan Teluk Hurun. Tesis. Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Thurman, H.V. 1993. Essential of Oceanography. Macmillan Publishing Company.

- Valiela, I. 1984. Marine ecological processes. Springer-Verlag. New York.
- Wetzel, R. G. 1983. Limnology. W.B. Saunders Company, Philadelphia.
- Zuzuki, K., N. Handa, H. Kiyosawa and J. Ishizaka. 1997. Temporal and Spatial Distribution of Phytoplankton Pigment in the Central Pacific Ocean along 175°E during the Boreal Summers of 1992 and 1993. *Journal of Oceanography*. Vol. 53 (383-396).