

© 2003 Darjamuni
Term paper
Introductory Science Philosophy (PPS702)
Graduate Program / S3
Institut Pertanian Bogor
April 2003

Posted 25 April, 2003

Instructors :
Prof Dr Ir Rudy C Tarumingkeng
Dr Bambang Purwantara

SIKLUS NITROGEN DI LAUT

Oleh:

Darjamuni
NPM: C.261020071



**PROGRAM STUDI PENGELOLAAN SUMBERDAYA PESISIR DAN LAUTAN
PROGRAM PASCA SARJANA**

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

2003

SIKLUS NITROGEN DI LAUT

I. PENDAHULUAN

Air adalah suatu zat pelarut yang bersifat sangat berdayaguna, yang mampu melarutkan zat-zat lain dalam jumlah yang lebih besar dari zat cairnya. Sifat ini dapat dilihat dari banyaknya unsur-unsur pokok yang terdapat di dalam air laut. Selain itu air laut juga mengandung sejumlah besar gas-gas udara yang terlarut. Semua gas-gas yang ada di atmosfer dapat dijumpai di dalam air laut walaupun jumlah terdapat dalam jumlah yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan yang ada di atmosfer (Tabel 1).

Tabel 1. Perbandingan Jumlah Kandungan Gas-gas Yang Terdapat di Atmosfir dengan Terdapat Di Laut

Jenis Gas	Konsentrasi di Atmosfir (cm³/liter udara)	Konsentrasi di Dalam Laut (cm³/liter air laut)
Nitrogen	780,90	13
Oksigen	209,50	2 – 8
Argon	9,32	0,32
Neon	0,0128	0,00018
Helium	0,0052	0,00005
Xrypton	0,0010	0,00006
Xenon	0,00008	0,000007

Sumber: Weihaupt (1979).

Dari Tabel 1 terlihat bahwa konsentrasi nitrogen di atmosfer mencapai 780,90 cm³/liter udara sedangkan konsentrasi nitrogen di dalam air laut hanya mencapai 13 cm³/liter air laut. Namun demikian konsentrasi nitrogen masih

lebih tinggi dibandingkan dengan gas-gas lainnya seperti oksigen, argon, neon, helium, dan gas xrypton. Tingginya konsentrasi gas nitrogen dibandingkan dengan gas-gas lain hal ini disebabkan selain faktor siklus alamiah yang berlangsung, nitrogen juga memegang peranan kritis dalam daur organik untuk menghasilkan asam-asam amino yang membentuk protein.

Daur bahan organik atau disingkat daur organik di laut sama dengan daur organik di lingkungan air tawar dan di darat. Karbon (C) bersama-sama dengan unsur hara lainnya seperti posfor (P) dan nitrogen (N) melalui proses fotosintesis menghasilkan jaringan tumbuh-tumbuhan yang menjadi makanan hewan. Keduanya akan menghasilkan zat organik dan jika mereka mati dan membusuk maka akan dihasilkan bahan mentah untuk memulai daur bahan organik lagi (Romimohtarto dan Juwana, 2001).

Unsur hara nitrogen (N) tidak mempunyai hubungan tetap dengan unsur hara posfor (P), tetapi bersama-sama dengan karbon (C), N dan P, merupakan unsur-unsur utama dalam produksi zat organik. Walaupun hara C terdapat dalam jumlah yang banyak, tetapi kedua unsur hara N dan P menjadi faktor pembatas dalam daur bahan organik di laut. Oleh karena itu makalah ini mencoba mendeteksi dan menelusuri, serta ingin mempelajari seberapa jauh peran dan daur atau siklus hara N akan sangat berpengaruh terhadap kehidupan biota laut dan sekaligus sebagai faktor penentu dalam siklus kehidupan di laut, untuk bahasan ini termaktub dalam judul siklus nitrogen di laut.

II. BENTUK SENYAWA NITROGEN

Sumber utama nitrogen adalah nitrogen bebas (N_2) yang terdapat di atmosfer, yang takarannya mencapai 78 persen volume, dan sumber lainnya yang ada di kulit bumi dan perairan. Nitrogen juga terdapat dalam bentuk yang kompleks, tetapi hal ini tidak begitu besar sebab sifatnya yang mudah larut dalam air.

Pada umumnya derivat nitrogen sangat penting bagi kebutuhan dasar nutrisi, tetapi dalam kenyataannya substansi nitrogen adalah hal yang menarik sebagai polutan di lingkungan. Dapat terjadi perubahan global di lingkungan oleh adanya interaksi antara nitrogen oksida dengan ozon di zona atmosfer.

Juga adanya perlakuan pemupukan (*fertilization treatment*) yang berlebihan dapat mempengaruhi air tanah (*soil water*), sehingga dapat mempengaruhi kondisi air minum bagi manusia. Khusus di laut, kelebihan unsur N dan P akan mengakibatkan kejadian *blooming* dapat menimbulkan tumbuhnya beberapa alga yang beracun bagi kehidupan fauna, hal ini sangat merugikan produksi (Rompas, 1998).

Bentuk atau komponen N di atmosfer dapat berbentuk ammonia (NH_3), molekul nitrogen (N_2), dinitrit oksida (N_2O), nitrogen oksida (NO), nitrogen dioksida (NO_2), asam nitrit (HNO_2), asam nitrat (HNO_3), basa amino ($\text{R}_3\text{-N}$) dan lain-lain dalam bentuk proksilnitri (Soderlund dan Rosswall, 1980). Dalam telaah kesuburan tanah proses pengubahan nitrogen dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu mineralisasi senyawa nitrogen kompleks, amonifikasi, nitrifikasi, denitrifikasi, dan volatilisasi ammonium (Mas'ud, 1992).

Sejumlah organisme mampu melakukan fiksasi N dan N-bebas akan berasosiasi dengan tumbuhan. Senyawa N-amonium dan N-nitrat yang dimanfaatkan oleh tumbuhan akan diteruskan ke hewan dan manusia dan kembali memasuki sistem lingkungan melalui sisa-sisa jasad renik. Proses fiksasi memerlukan energi yang besar, dan enzim (nitrogenase) bekerja dan didukung oleh oksigen yang cukup. Kedua faktor ini sangat penting dalam memindahkan N-bebas dan sedikit simbiosis oleh organisme (Rompas, 1998).

Nitrogen organik diubah menjadi mineral N-amonium oleh mikroorganisasi dan beberapa hewan yang dapat memproduksi mineral tersebut seperti : protozoa, nematoda, dan cacing tanah. Serangga tanah, cacing tanah, jamur, bakteri dan aktinbimesetes merupakan biang penting tahap pertama penguraian senyawa N-organik dalam bahan organik dan senyawa N-kompleks lainnya (Mas'ud, 1993).

III. FIKSASI NITROGEN

Semua mikroorganisme mampu melakukan fiksasi nitrogen, dan berasosiasi dengan N-bebas yang berasal dari tumbuhan. Nitrogen dari proses fiksasi merupakan sesuatu yang penting dan ekonomis yang dilakukan oleh bakteri genus *Rhizobium* dengan tumbuhan *Leguminosa* termasuk *Trifollum spp.*, *Glycine max* (soybean), *Viciafaba* (brand bean), *Vigna sinensis* (cow-

pea), *Piscera sativam* (chick-pea), dan *Medicago sativa* (lucerna) (Rompas, 1998).

Dalam memproduksi nutrient bagi organisme laut, maka diperlukan fiksasi N dari atmosfer. Penelitian yang dilakukan di Eniwetok Atoll, menemukan bahwa bentuk N sangat bervariasi pada air yang mengalir sesudah terumbu karang karena air tersebut sangat miskin nutrient (Johannes, *et al.*, 1972; Wiebe, *et al.*, 1972). Sumber N yang berasal dari fiksasi-N di laut berasal dari alga hijau biru *Calothnia crustacea* (Wiebe, *et al.*, 1975). Fiksasi N juga ditemukan pada bakteri anaerobic *Thalassia* (Patriquien, 1972; Patriquien dan Knowles, 1972). Fiksasi N ditemukan pada akar pertumbuhan *Thalassia* (Goering dan Parker, 1972) dan makro alga serta coral rubble (Copone, 1977). Selain itu pentingnya bakteri-bakteri terumbu (*reef bacteria*) untuk melakukan fiksasi N (Sorokin, 1978).

Spesies *Oscillatoria* (*Tridodesmium*) dan *Richella* spp, merupakan spesies yang penting dalam proses asimilasi molekul N (Mangue, 1977). Tetapi N-fiksasi di laut Pasifik sangat kecil terjadi (Mangue, *et al.*, 1977), demikian pula di laut Sargossa (Carpenter dan McCarthy, 1975), jika dibandingkan dengan NH_3 . Asimilasi molekul N dapat dihitung melalui kebutuhan N dari *Oscillatoria thiebantii*. Bagaimanapun alga ini sangat rendah dan dalam dalam proses regenerasi membutuhkan waktu 15 hari atau lebih (Carpenter and McCarthy, 1975).

Akhir-akhir ini ditemukan simbiosis asosiasi antara bakteri *Azospirillum lipoferum* dan akar tumbuhan termasuk rumput tropikal *Digitaria decumbens*, juga jenis rumput tropikal *Paspalum notatum* mampu melakukan fiksasi N bersama-sama bakteri *Azotobacter paspalli* di dalam akar (Dobereiner, 1978, dalam Rompas, 1998).

IV. NITRIFIKASI

Nitrifikasi merupakan suatu proses oksidasi enzimatis yang dilakukan oleh sekelompok jasad renik/bakteri dan berlangsung dalam dua tahap yang terkoordinasikan. Masing-masing dilakukan oleh bakteri/jasad renik yang berbeda pada tahap-tahapan proses nitrifikasi (Mas'ud, 1993), sebagai berikut:

Tahap pertama (nitrisasi)



Tahap kedua (nitrisasi)



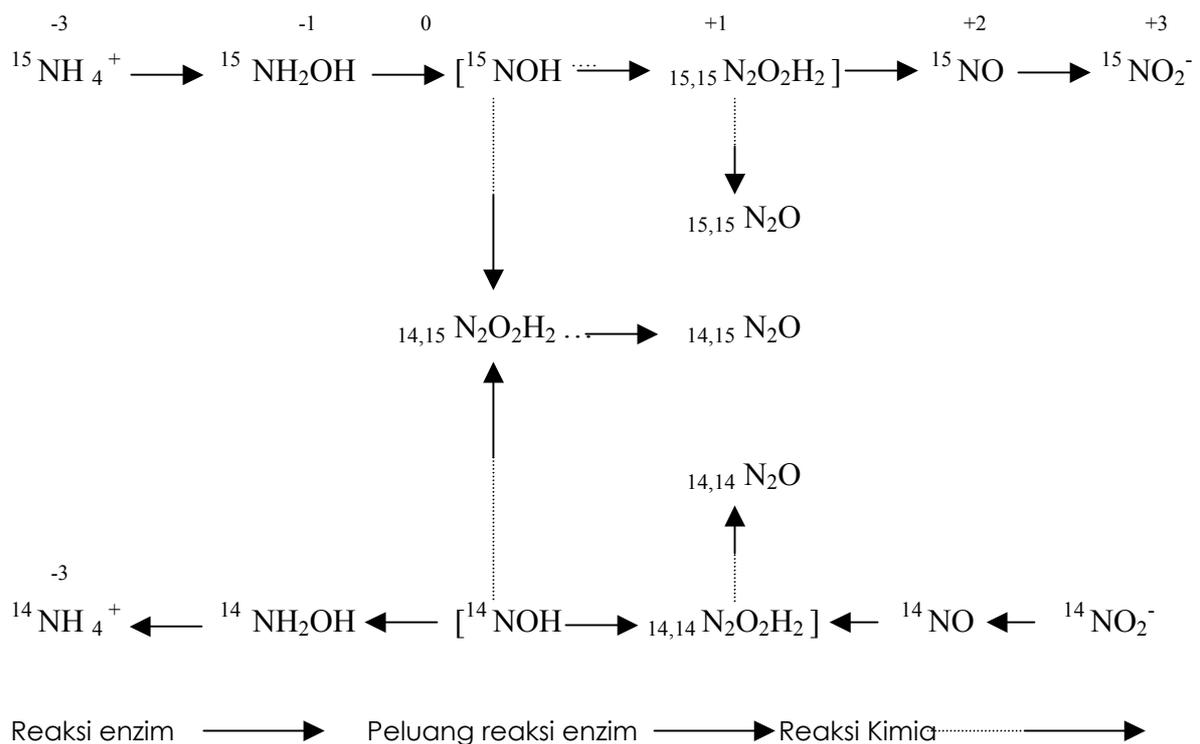
Menurut Rompas (1998), bakteri autotrofi (bakteri nitrifikasi) dapat menggunakan N-anorganik untuk melakukan nitrifikasi, seperti genera bakteri *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosovibrio*, dan *Nitrosolobus*. Pada proses tahap pertama reaksi berlangsung dari ammonium ke nitrit yang melibatkan bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrosococcus* dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Sedangkan reaksi kedua diperankan oleh bakteri *Nitrobacter* dan *Nitrococcus* spp yang melakukan oksidasi dari nitrat ke nitric dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



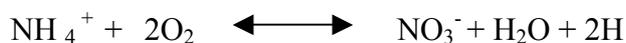
Reaksi nitrifikasi seperti di atas dapat berlangsung jika adanya oksigen. Proses oksidasi dari NO_2 ke nitrit umumnya lebih cepat dari pada proses oksidasi dari NH_4 ke nitrit, dan nitri ini terakumulasi di lingkungan. Tahapan-tahapan oksidasi ammonium oleh bakteri *Nitrosomonas* dan kemungkinan produksi nitrit oleh beberapa bakteri disajikan dalam persamaan sebagai berikut:



V. DENITRIFIKASI DAN ASIMILASI NITRAT

Denitrifikasi merupakan proses reduksian senyawa N-nitrat menjadi gas nitrogen dan/atau gas nitrogen oksida, dengan nitrogen bertindak sebagai penerima hydrogen. Produksi nitrogen bebas dari senyawa-senyawa organik tidaklah melalui aksi mikroorganisme, namun terbentuk secara tidak langsung oleh saling tindak antara asam nitrat bebas dengan senyawa amino, yang keduanya dihasilkan secara bersama melalui biang bakteri (Mas'ud, 1993).

Menurut Rompas (1998), dalam keadaan anaerob, bakteri aerob dapat memanfaatkan nitrat untuk menggantikan oksigen sebagai penerima elektron, sehingga mengurangi gas-gas produk akhir seperti NO, N₂O atau N₂, tahapan dalam nitrifikasi adalah sebagai berikut:



Gas dinitrogen dan nitrogen oksida adalah dua komponen produk akhir yang sangat penting dan N₂ biasanya diproduksi dari N₂O sedang dari NO dapat terjadi tetapi dalam kondisi tertentu. Terbentuknya N₂O dan N₂ tidak saja dari nitrat selama respirasi, tetapi dapat juga konversi dengan cara asimilasi ke NH₄⁺ dalam komponen organik biomasa. Tentu pula mikroorganisme dapat merubah NO₃⁻ ke NH₄⁺ melalui mekanisme diasimilasi pada kondisi anaerob, mekanisme ini bersama denitrifikasi adalah proses memanfaatkan energi.

VI. SENYAWA DAN KANDUNGAN NITROGEN DI LAUT

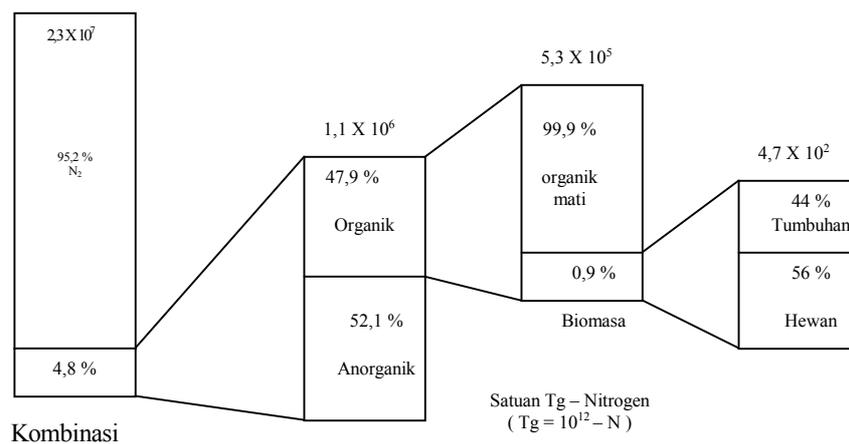
Pengetahuan senyawa dan kandungan N di laut sangat penting untuk diketahui, hal ini mempunyai hubungan erat dengan kehidupan biota laut, dan berkaitan dengan nutrient untuk biota laut. Secara alamiah perkembangan konsentrasi dari nutrient sangat tergantung dari hubungan antara kedalaman laut dan stok fitoplankton beserta aktivitasnya (Lonshurst, 1988). Studi yang dilakukan di Guinea, Atlantic bagian timur menemukan adanya korelasi antara naiknya turunnya konsentrasi NO₃⁻ dengan kedalaman laut dan produksi fitoplankton (Herbland dan Voituries, 1979). Pada laut yang dalam Zn akan menjadi faktor pembuat masalah dalam hubungan antara kandungan oksigen dan klorofil, oleh karena itu sangat menentukan "batas kandungan nitrat" (*nitracline*) (Longhurst, 1988), mengingat kandungan N dalam air senentiasa berbentuk ion nitrat dan ion ammonium (Rompos, 1998).

Dalam hubungan inilah penting untuk menentukan konsentrasi nutrient terutama senyawa N-nitrat dan N-amonium pada permukaan laut di wilayah tropika dan subtropika (Longhurst, 1988). Hal ini disebabkan pada kedalaman air 0 – 200 m, sinar matahari masih menembus badan air dan akan terjadi aktivitas biologi yang sangat banyak (Rompos, 1998). Di laut ekuatorial kandungan NO₃⁻ pada kedalaman 100 m mengandung konsentrasi 10 – 25 µgram atom l⁻¹ dan pada subtropikal berkisar antara 10 – 25 µgram atom l⁻¹

(Andersen, et al., 1969; Walsh, 1976). Namun dalam keadaan stok klorofil yang tinggi konsentrasi NO_3^- akan menurun (Longshurt, 1988). Beberapa fitoplankton akan mengangkut nitrogen secara vertical ke garis batas nutrient (Eppley, et al., 1968). Beberapa daripadanya dapat membentuk nitrat tetap (Mangue, et al., 1974; Stewart, 1971). Hujan mungkin sangat sedikit sebagai sumber NO_3^- dan NH_4^+ .

Dari hasil penelitian dan fenomena alam tersebut di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa jenis-jenis N-anorganik yang utama dalam air adalah ion nitrat (NO_3^-) dan ion amonium (NH_4^+). Namun dalam kondisi tertentu masih terdapat ion nitrit dan sebagian besar dari nitrogen terikat dalam nitrogen organik (47,9%), yaitu bahan-bahan yang berprotein, juga terdapat dalam bahan pencemar seperti asam sianida (HCN), asam etilen diamin tetra asetat (EDTA) atau dalam bentuk asam nitrilotriasetat (NTA) (Rompas, 1998).

Selanjutnya, Soderlund dan Rosswall (1986), melakukan inventarisasi kandungan total nitrogen yang ada di laut. Konsep ini dikutip oleh Rompas (1998), dengan kesimpulan bahwa siklus nitrogen secara global terlihat pada biomasa di laut sekitar $5,3 \times 10^{12}$ kg tetapi tidak menguraikan secara kuantum distribusinya di laut (Gambar 1).

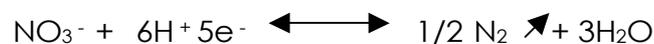


Gambar 1. Inventarisasi Kandungan Total Nitrogen Yang Ada di Laut

Kandungan NH_4^+ dapat ditemui di terumbu karang, sebab gas ini merupakan buangan dari organisme akuatik, domestik dan industri. Ion-ion

ammonium dan amino-nitrogen ($R-NH_2$ dalam bahan yang berprotein) dioksidasi oleh oksigen dengan adanya katalis biologi yang cocok :

Reaksi di atas dapat terjadi jika ada kandungan oksigen yang cukup memadai. Misalnya untuk pengolahan air pembuangan rumah tangga atau industri, bahan organik jika diberi aerasi intensif maka limbah yang mengandung ion ammonium akan terurai menjadi ion nitrat yang dapat diasimilasi. Dalam keadaan tanpa oksigen, NO_3^- dapat sebagai penerima electron dalam reaksi-reaksi dengan mikroorganisme sebagai perantara:



Kemampuan ion nitrat sebagai penerima electron digunakan dalam proses pengolahan air buangan untuk menghilangkan nitrogen dengan membiarkan ion nitrat mengoksidasi methanol melalui reaksi bakteri dengan kondisi anaerob, sebagai berikut :



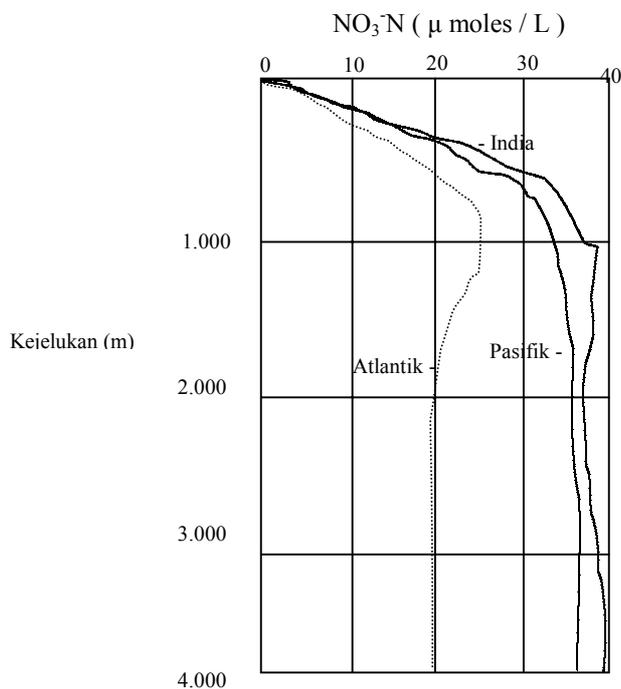
Reaksi tersebut di atas disebut denitrifikasi yang dalam beberapa keadaan reduksi ini merubah semua senyawa itu membentuk ion NH_4^+ .

VII. SIKLUS NITROGEN DI LAUT

Dari kajian-kajian tersebut di atas dapat dikaji bahwa nitrogen dalam air terjadi dalam berbagai bentuk senyawa. Nitrogen yang terbanyak dalam bentuk N-molekuler (N_2) yang berlipat ganda jumlahnya daripada nitrit (NO_2) atau nitrat (NO_3), tetapi tidak dalam bentuk yang berguna bagi jasad hidup (Davis, 1986).

Nitrogen memegang peranan kritis dalam siklus organik dalam menghasilkan asam-asam amino yang membuat protein. Dalam siklus nitrogen, tumbuh-tumbuhan menyerap N-anorganik dalam salah satu gabungan atau sebagai nitrogen molekuler. Tumbuh-tumbuhan ini membuat protein yang kemudian dimakan hewan dan diubah menjadi protein hewan. Jaringan organik yang mati diurai oleh berbagai jenis bakteri, termasuk didalamnya bakteri pengikat nitrogen yang mengikat nitrogen molekuler menjadi bentuk-bentuk gabungan (NO_2 , NO_3 , NH_4) dan bakteri denitrifikasi

yang melakukan hal sebaliknya. Nitrogen lepas ke udara dan diserap dari udara selama siklus berlangsung. Jumlah nitrogen yang tergabung dalam mineral dan mengendap di dasar laut tidak seberapa besar (Romimohtarto dan Juwana, 2001). Pola sebaran nitrogen di Samudera Atlantik, Pasifik dan Samudera India tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan (Gambar 2) (Davis, 1986).



Gambar 2. Sebaran vertikal nitrogen dalam kolom air (Davis, 1986).

Sebaran menegak dari bentuk-bentuk gabungan nitrogen berbeda di laut. Nitrat terbanyak terdapat di lapisan permukaan, ammonium tersebar secara seragam, dan nitrit terpusat dekat termoklin. Interaksi-interaksi antara berbagai tingkat nitrogen organik dan bakteri sedemikian rupa sehingga pada saat nitrogen diubah menjadi berbagai senyawa anorganik, zat-zat ini sudah tenggelam di bawah termoklin. Hal ini menimbulkan masalah bagi penyediaan nitrogen karena termoklin merupakan penghalang bagi migrasi menegak unsur-unsur ini dan kenyataannya persediaan nitrogen akan menjadi faktor pembatas bagi produktivitas di laut.

VIII. KESIMPULAN

Dari kajian-kajian tersebut di atas, berbagai kesimpulan yang dapat ditarik dari makalah ini adalah:

- (1) Nitrogen memegang peranan kritis dalam siklus organik dalam menghasilkan asam-asam amino yang membuat protein.
- (2) Nitrogen di laut dapat berbentuk N-molekuler (N_2) yang berlipat ganda jumlahnya daripada nitrit (NO_2) atau nitrat (NO_3), tetapi tidak dalam bentuk yang berguna bagi jasad hidup, sebelum terjadinya proses pengikatan dalam bentuk senyawa-senyawa.
- (3) Terdapat hubungan yang signifikan antara kedalaman laut dan stok fitoplankton dengan jumlah nitrogen yang ada di dalam laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, G.C., T.R. Parsons, and K. Stephens. 1969. *Nitrate Distribution in Subarctic Northeast Pasific Ocean Deep Sea*. Res (16), 329-334 p.
- Carpenter, E.J., and J.J. McCarthy. 1975. *Nitrogen Fixation and Uptake of Combined Nitrogenous Nutrient by Oscillatoria thiebautii in Western Sargasso Sea*. Limnol Oceagogr (20), 389 – 401 p.
- Davis, RA, 1986. *Oceanography and Introduction of The Marine Environment*, public IOPA II UCO Publisher.
- Di Salvo, L.H. 1972. *Some Aspects of the Regenerative Function and Microbial Ecology of Coral Reef*. Proc. Sym. Corals and Coral Reefs India. January 1969. Marine Biological Association of India. Cochin.
- Eppley, R.W., Renger, E.H., and G.W. Harrison. 1979. *Nitrat and Phytoplankton Production in Southern California Coastal Waters*. Limnol Oceanogr (24), 483 – 494 p.
- Goering, J.J., and Parker, P.L. 1972. *Nitrogen Fixation by Epiphytes on Sea Grasses*. Limnol Oceanogr (17), 320-323p.
- Herbland, A., and B. Voituriez. 1979. *Hydrological Structure Analysis for Estimating the Primary Production in the Tropical Atlantic Ocean*. Journal Marine Resources (37), 87-101p.

- Johannes, et al., 1972. *The Metabolism of Some Coral Reef Communities: A Team Study of Nutrient and Energy Flux at Eniwetok*. *Bioscience* (22), 541-543p.
- Longhurst, A.R. 1988. *Analysis of Marine Ecosystem*. London: Academic Press Limited.
- Mas'ud, P. 1993. *Telaah Kesuburan Tanah*. Cetakan kesepuluh. Bandung: Penerbit Angkasa.
- Patriquin, D.G. 1972. *The Origin of Nitrogen and Phosphorus for Growth of the Marine Angiosperm Thalassia testudinum*. *Mar Biol* (15), 35 – 46p.
- _____, and R. Knowles. 1972. *Nitrogen Fixation In the Rhizosphere of Marine Angiosperms*. *Mar. Biol*, (16) 49-58p.
- Ritey, G. 1970. *Particulate and Organic Matter in Sea Water*. *Adc. Mar. Biol* (8), 1-18p.
- Romimohtarto, K dan S. Juwana. 2001. *Biologi Laut : Ilmu Pengetahuan tentang Biologi Laut*. Jakarta: Penerbit Djambatan.
- Rompas, M.R., 1998. *Kimia Lingkungan*. Edisi pertama. Bandung: Penerbit Tarsito.
- Rowe, G. T., and Clifford, C.H., 1978. *Sediment Data From Short Cores Takes in the Northwest Atlantic Ocean*. Woods Hole Oceanographic Institution. Tech. Rep. WHOI (79). 46p.
- Soderlund, R. and T. Roswal. 1982. *The Nitrogen Cycles*. In *The Handbook of Environmental Chemistry*. Vol I. Part B. *The Natural Environment and the Biogeochemical Cycles*, by O. Hutzinger (ed) New York: Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Sorokin, Y. L. 1978. *Microbial Production in the Coral Reef Community*. *Arch Hydrobiol* (83) 281-323p.
- Walsh, J.J. 1976. *Herbivory as a Factor in Patterns of Nutrient Utilization in the Sea*. *Limnol Oceanogr* (21), 1-13p.
- Weihaupt, J.K. 1976. *Exploration of the Oceans*, New York, Mc. Millan Publishing Co. Inc.
- Wiebe, W.J., R.E. Johannes and K.L. Webb. 1975. *Nitrogen Fixation in a Coral Water Production*. *Science* (188), 257-259p.