

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/316695775>

Analisis Peran dan Kontribusi Fitoplankton Laut Dalam Pengaturan Iklim Global

Conference Paper · September 2016

CITATIONS

0

READS

1,119

2 authors, including:



Dr Alianto

University of Papua Manokwari-Indonesia

22 PUBLICATIONS 8 CITATIONS

SEE PROFILE

PROSIDING SEMINAR NASIONAL

**Penguatan Pengajaran dan Penelitian Perubahan Iklim :
Bridging Gap Implementasi Kebijakan Mitigasi dan
Adaptasi di Tingkat Nasional dan Subnasional**

Jakarta, 31 Agustus - 1 September 2016



Jejaring Ahli Perubahan Iklim dan Kehutanan Indonesia



**Direktorat Mobilisasi Sumber Daya Sektor dan Regional
Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, KLHK**

**Prosiding Seminar Nasional
Penguatan Pengajaran dan Penelitian Perubahan Iklim:
Bridging Gap Implementasi Kebijakan Mitigasi dan
Adaptasi di Tingkat Nasional Dan Subnasional**

Jakarta, 31 Agustus-1 September 2016



**Asosiasi Ahli Perubahan Iklim dan
Kehutanan Indonesia**



**Direktorat Mobilisasi Sumber Daya
Sektoral dan Regional
Direktorat Jenderal Pengendalian
Perubahan Iklim, KLHK**

Kerjasama

Asosiasi Ahli Perubahan Iklim dan Kehutanan Indonesia &
Direktorat Mobilisasi Sumber Daya Sektoral dan Regional, Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, KLHK

Prosiding Seminar Nasional Penguatan Pengajaran dan Penelitian Perubahan Iklim: *Bridging Gap* Implementasi Kebijakan Mitigasi dan Adaptasi di Tingkat Nasional Dan Subnasional

Penyusun :

Yayan Hadiyan, S.Hut, M.Sc
Ifa Elfira Olivia, S.Hut

ISBN : 978-602-73376-1-9

Editor:

Prof. Dr. Ir. Deddy Hadriyanto, M. Agr
Prof. Dr. Ir. Gusti z. Anshari, MES
Prof. Dr. Ir. Udiansyah, MS
Dr. Ir. Abdul Rauf, M.Sc
Dr. Ir. Mahawan Karuniasa, MM
Dr. Ir. Markum, M.Sc
Dr. Ir. Rudi A. Maturbongs, M.Si
Dr. Satyawan Pudyatmoko, S.Hut, M.Sc
Ir. Agus Susatya, M.Sc, Ph.D
Dr. Ishak Yassir, S.Hut, M. Sc
Dr. Ir. Sabaruddin, M.Sc
Yayan Hadiyan, S.Hut, M.Sc

Penerbit :

Asosiasi Ahli Perubahan Iklim dan Kehutanan Indonesia
(APIK Indonesia)

Redaksi :

Jl. Argo No. 1, Bulaksumur Fakultas Kehutanan UGM, Yogyakarta
Telp. (0274) 512102, 901420.
Email : apik.indonesia@yahoo.co.id

Design Sampul dan Tata letak:

Edy Wibowo

Cetakan Pertama, Juni 2016

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang :

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Kebakaran hutan dan lahan sepanjang tahun 2015 ini telah menunjukkan situasi yang sulit dikendalikan. Tidak hanya mengganggu sektor sosial ekonomi, tetapi sektor lingkungan terutama keanekaragaman hayati dan meningkatnya jumlah emisi CO₂ dari kebakaran Gambut yang telah menimbulkan dampak negatif bagi masyarakat luas. Dalam kondisi ini, Pemerintah tidak bisa diminta bertanggungjawab secara sepihak, tetapi peran serta multi stakeholder menjadi sangat penting.

Para ilmuwan adalah salah satu pihak kunci yang sangat strategis memberikan input kepada pemerintah. Sejumlah persoalan penyebab kebakaran perlu diurai dan berbagai solusi perlu diformulasikan secara ilmiah. Di sisi lain, perubahan iklim di Indonesia juga tidak hanya didorong oleh adanya kebakaran ini. Berbagai penyebab terkait adaptasi dan mitigasi pada berbagai sektor membutuhkan kerjasama banyak pihak. Berbagai pembelajaran berupa inisiatif dan praktik-praktik tata kelola sumber daya alam perlu dicoba dan dikritisi secara kontinyu agar selalu terjadi perbaikan.

Melalui seminar nasional tahunan Asosiasi Ahli Perubahan Iklim dan Kehutanan Indonesia, kita dapat memberikan masukan kepada para pengambil keputusan tentang pentingnya perbaikan lingkungan khususnya hutan hujan tropis, tidak hanya bagi Indonesia tetapi bagi kepentingan global. Prosiding yang berisi berbagai penelitian terkait dengan perubahan iklim ini memberikan pelajaran yang berharga bagi kita.

Diucapkan terimakasih atas dukungan yang telah diberikan Direktorat Mobilisasi Sumberdaya Sektoral dan Regional Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, Kementerian Kehutanan dalam Pelaksanaan Seminar tersebut, segenap panitia dan pihak lainnya. Semoga bermanfaat.

Yogyakarta, Juni 2016
Ketua Umum,

ttd.

Dr. Satyawan Pudyatmoko, S.Hut, M.Sc

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
1. PEMETAAN BIOMASSA PADA HUTAN TROPIS DENGAN AIRBORNE LIDAR Jarot Pandu Panji Asmoro.....	9
2. IMPLIKASI PENGELOLAAN HUTAN TERHADAP SIMPANAN KARBON MANGROVE DI SUMATERA UTARA Onrizal, Nurdin Sulistiyono, Pindi Patana, Mashhor Mansor	25
3. REINTERPRETASI PARADIGMA <i>TIMBER MANAGEMENT</i> PADA PENGELOLAAN HUTAN TANAMAN INDUSTRI UNTUK Mendukung Implementasi REDD+ Ganjar Oki Widhanarto, Ris Hadi Purwanto, Ahmad Maryudi dan Senawi	32
4. STUDI PERSAMAAN ALLOMETRIK UNTUK PREDIKSI BIOMASSA ATAS DAN BAWAH TREMBESI [<i>Albizia saman</i> (Jacq.) Merr.] TINGKAT SEMAI DAN SAPIHAN UNTUK PENGEMBANGAN PENGUKURAN KARBON PADA PROGRAM PERUBAHAN IKLIM Gun Mardiatmoko	49
5. Karbon Tersimpan pada Tegakan Balsa (<i>Ochroma bicolor</i>) di Jawa Yonky Indrajaya	61
6. FLUKS CO ₂ PADA TEGAKAN NIPAH DI DELTA MAHAKAM KALIMANTAN TIMUR Rita Diana, Deddy Hadriyanto, Dinillah Tartila	70
7. ESTIMASI STOK KARBON ORGANIK TANAH DI BAWAH BERBAGAI PENGUNAAN LAHAN PERTANIAN DI KABUPATEN BULELENG PROVINSI BALI I Made Gunamantha dan I G.N.A. Suryaputra	79
8. IDENTIFIKASI JENIS POHON DAN POTENSI SIMPANAN KARBON VEGETASI PADA LAHAN PASCA TAMBANG BAHAN GALIAN GOLONGAN C DI KHDTK LABANAN, BERAU, KALIMANTAN TIMUR Rina W. Cahyani, Rizki Maharani dan Asef K. Hardjana.....	94
9. PENDEKATAN TERPADU SEBAGAI SALAH SATU UPAYA MITIGASI PERUBAHAN IKLIM DALAM ANALISIS PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN Rahmawaty, Najmatul Khairat dan Abdul Rauf.....	107
10. PENGARUH KEGIATAN UJICOBA REDD+ PADA LINGKUNGAN DAN SOSIAL- EKONOMI MASYARAKAT SEKITAR HUTAN Studi di Lokasi Kegiatan Ujicoba REDD+ di Kabupaten Kuala Kapuas, Kalimantan Tengah Dadang Setiawan dan Mahawan Karuniasa.....	117

11. POTENSI CARBON DI HUTAN LINDUNG DAN TAMAN NASIONAL DI SUMATRA: TANTANGAN INDC DAN APIK Agus Susatya	133
12. NILAI KERUGIAN SUHU UDARA AKIBAT HUTAN TERBUKA Sari Mayawati dan Jumri	141
13. PEMANFAATAN SUMBER DAYA HASIL HUTAN SECARA OPTIMAL Jumri dan Sari Mayawati	150
14. PELAKSANAAN TUGAS PEMBANTUAN DALAM PROGRAM FORCLIME DI KALIMANTAN Catur Budi Wiati dan S. Yuni Indriyanti	164
15. MENYIMAK FENOMENA PEMANASAN GLOBAL/PERUBAHAN IKLIM (<i>La-Nina</i>), ALIH FUNGSI LAHAN DAN MITIGASI KERUSAKAN LINGKUNGAN DI PULAU BALI I Wayan Kasa dan Ida Bagus Gunam	177
16. PEMANFAATAN BATU BARA PERINGKAT RENDAH DALAM MENGIKAT ALUMINIUM PADA OXISOL UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PEMUPUKAN FOSFOR SERTA PRODUKSI PADI DAN JAGUNG Herviyanti, Gusnidar, Harianti, Citra, Hidayati, Edi, dan Mahrizal	185
17. ANALISIS PERAN DAN KONTRIBUSI FITOPLANKTON LAUT DALAM PENGATURAN IKLIM GLOBAL Alianto dan Hendri	195
18. STUDI STATUS MANGROVE DAN PADANG LAMUN UNTUK MENDUKUNG UPAYA MITIGASI PERUBAHAN IKLIM DI MALUKU Hanung Agus Mulyadi, Andri Irawan, Muhammad Masrur Islami, Dharma arif Nugroho, Arif seno Adji, Frits Pulumahuny, Fredy Leatemia	207
19. KEBIJAKAN SEKTOR KEHUTANAN DALAM MENYIKAPI PERUBAHAN IKLIM I Putu Gede Ardhana	219
20. STRATEGI PEMBANGUNAN RENDAH EMISI SEBAGAI IMPLEMENTASI KEBIJAKAN PERUBAHAN IKLIM DALAM RENCANA PEMBANGUNAN JANGKA MENENGAH DAERAH (RPJMD) KABUPATEN MUSI RAWAS TAHUN 2016-2021 Edi Cahyono dan Holidi	231
21. EKSPOR PENGETAHUAN GAMBUT TROPIS MELALUI BERBAGAI PROYEK KERJASAMA INTERNASIONAL Gusti Z. Anshari	248
22. PENANDAAN ANGGARAN UNTUK AKSI-AKSI MITIGASI PERUBAHAN IKLIM DAERAH: KASUS PROVINSI JAMBI Riko Wahyudi, IBP Angga Antagia, Ayu Satya Damayanti, Rezky Lasekti Wicaksono, Arsyi Rahman Mohammad	255

23. KAJIAN PERUBAHAN TUTUPAN HUTAN DAN SUHU UDARA DI KABUPATEN KUTAI BARAT Akas Pinarigan Sujalu, Abdul Fatah, Jumani, Maya Preva Biantary, dan Heni Emawati	271
24. SEKUESTRASI BAHAN ORGANIK PADA TIGA SEKUENSIAL ALTITUDE DI DAERAH BUKIK SARASAH KAWASAN TROPIS SUPER BASAH, SUMATERA BARAT Yulnafatmawita	279
25. KEBIJAKAN PENGELOLAAN EKOSISTEM MANGROVE SEBAGAI UPAYA MITIGASI PERUBAHAN IKLIM DI PULAU-PULAU KECIL (Studi Kasus : Dusun Taman Jaya Kabupaten Seram Bagian Barat) Debby V Pattimahu	288
26. PENDUGAAN KEBUTUHAN OPTIMAL RUANG TERBUKA HIJAU (RTH) PADA KAWASAN PERKOTAAN KOTA MEDAN SUMATERA UTARA Siti Latifah, Pindi Patana, Rahmawaty dan Ahmad Rivai	298
27. PENILAIAN KELEMBAGAAN DALAM PELAKSANAAN PROGRAM FORCLIME DI KALIMANTAN Catur Budi Wiati dan S. Yuni Indriyanti	307
28. PENELITIAN DAN PENGAJARAN ETNOBOTANI UNTUK IMPLEMENTASI DAN ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM DI KEPULAUAN MALUKU Marcus J. PATTINAMA	322
29. ETNOBOTANI DAN PRIORITAS KONSERVASI SPESIES TUMBUHAN PADA MASYARAKAT O HONGANA MA NYAWA DI DESA WANGONGIRA, KABUPATEN HALMAHERA UTARA Radios Simanjuntak	335
30. PEMBELAJARAN KONSERVASI KURA-KURA DALAM ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM: <i>LESSON LEARNT</i> DARI PROGRAM USAID-NSF <i>PEER</i> DI UNIVERSITAS BENGKULU Hery Suhartoyo, Aceng Ruyani dan Bhakti Karyadi	349
31. DINAMIKA MORFOLOGI PANTAI UTARA PAPUA (STUDI KASUS PULAU PIAI) Suhaemi, Marhan dan Ferawati Runtuboi	359
32. BENTUK KEANEKARAGAMAN HAYATI PADA BERBAGAI LANSEKAP HUTAN DI KOMPLEKS HUTAN MEKONGGA*) Rosmarlinasiah	372
33. DAMPAK DAN ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM PADA PERTEMBAKAUAN DI KABUPATEN JEMBER Yuli Hariyati dan Sastro Djendro Hajuningrat	384
34. APAKAH BENTUK PERTANIAN CERDAS MENGHADAPAI PERUBAHAN IKLIM Muhd Nur Sangadji	396

35. REVITALISASI KEARIFAN LOKAL SEBAGAI BENTUK MITIGASI DI SULAWESI UTARA Martina A. Langi	404
36. DAMPAK PERUBAHAN IKLIM GLOBAL DAN IMPLIKASINYA DALAM KONSERVASI PENYU BELIMBING (<i>Dermochelys coriacea</i>) PASIFIK BARAT DI BENTANG LAUT KEPALA BURUNG, PAPUA Ricardo F. Tapilatu, Dedi Parenden, Hengki Wona, dan William G. Iwanggin	411
37. PENGETAHUAN DAN POLA ADAPTASI PETANI GARAM DALAM MERESPON DAMPAK PERUBAHAN IKLIM Sitti Hilyana	425
38. POLA ADAPTASI PETANI TERHADAP DAMPAK PERUBAHAN IKLIM: PERBANDINGAN SISTEM PERTANIAN DUSUNG DAN PADI SAWAH DI PULAU-PULAU KECIL, MALUKU Wardis Girsang, PhD dan Semuel Laimeheriwa	438
39. KONSERVASI SUMBERDAYA GENETIK TANAMAN HUTAN TINGKAT DESA: AKSI LOKAL ADAPTASI KELANGKAAN SPESIES DAN PENINGKATAN PENDAPATAN MASYARAKAT Liliek Haryjanto dan Yayan Hadiyan	456
40. KERENTANAN DAN ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM PADA USAHATANI DI PULAU LOMBOK NUSA TENGGARA BARAT Halil Hamzah	463
41. SEMUT SEBAGAI BIOINDIKATOR PERUBAHAN IKLIM DALAM EKOSISTEM HUTAN (STUDI KASUS PADA HUTAN LINDUNG GUNUNG SIRIMAU KOTA AMBON, MALUKU) Dr. Fransina Latumahina,S.Hut.MP dan Esther Kembauw.SP.,M.Si	481
42. KEARIFAN LOKAL MASYARAKAT DESA HULALIU DALAM PENANGGULANGAN KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN Mersiana Sahureka	494
43. PEMBELAJARAN KONSERVASI BIODIVERSITAS DUNG BEETLE DALAM ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM Bainah Sari Dewi	500
44. PENGARUH BEBERAPA KOMPOSISI BAHAN KOMPOS TERHADAP PRODUKSI DAN SERAPAN HARA TANAMAN SEMANGKA PADA REGOSOL Gusnidar, Syafrimen Yasin dan Gusrimaidayani	514
45. MANAJEMEN POHON BERBASIS KELUARGA MELALUI KARTU PENGEMBANG POHON DALAM PENGELOLAAN LAHAN IJIN USAHA PEMANFAATAN HUTAN KEMASYARAKATAN (IUPHKm) SEBAGAI STRATEGI MITIGASI PERUBAHAN IKLIM Siswahyono, Agus Susatya, Enggar Apriyanto dan Prasetyo	522

Kerjasama

Asosiasi Ahli Perubahan Iklim dan Kehutanan Indonesia &

Direktorat Mobilisasi Sumber Daya Sektoral dan Regional, Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, KLHK

46. MODEL PEMBELAJARAN PENGETAHUAN PERUBAHAN IKLIM DALAM KURIKULUM PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN Dwi Atmanto	532
47. KEANEKARAGAMAN JENIS BURUNG (STUDI KASUS DI PT GUNUNG MADU PLANTATIONS DIVISI II KABUPATEN LAMPUNG TENGAH) Awang Murdiono, Bainah Sari Dewi, Sugeng P. Harianto	548

ANALISIS PERAN DAN KONTRIBUSI FITOPLANKTON LAUT DALAM PENGATURAN IKLIM GLOBAL

(Role and Contribution Analysis of Marine Phytoplankton in Global Climate Regulation)

Alianto^{*)} dan Hendri^{)}**

^{*)} Prodi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Papua,

^{**)} Koordinator Divisi Mitigasi Bencana dan Perubahan Iklim, Pusat Penelitian Lingkungan Hidup,
Universitas Papua

Email: a.alianto@unipa.ac.id

ABSTRACT

Phytoplankton are micro-organisms marine plants that can't be seen with the naked eye whose lives hover and float in the water column and its movement is very dependent on the flow. Generally, phytoplankton has a relatively short life time of 1-10 days with a generation time of 3-6 times a day. Nevertheless, this phytoplankton has a particularly important role to main the stability of the increasing temperature due to the effect of increasing greenhouse gases (GHGs) and reducing carbondioxide (CO₂) in the atmosphere itself. The role of phytoplankton in global climate regulation is related to the reduction of sulfur and the formation of clouds in the atmosphere by dimetisulfit (DMS). DMS is a volatile sulfur compounds or residual biogenic gas generated from metabolic degradation of phytoplankton dimetilsulfoniopropionat (DMSP) at sea surface level. DMS moves into the atmosphere is only 10%, or about 0.5-1.0 Tmol of the overall DMS produced. However, DMS can contribute in reducing the sulfur content of about 48-100 %. In addition, the DMS in the atmosphere is oxidized to form acidic aerosol particles that directly affect the radiation balance of the earth by reflecting back of solar radiation. While the indirect effect is the formation of cloud condensation nuclei (CNN) functioning that can enhance the formation of cloud droplets to absorb solar radiation and reflect solar radiation. The other things, the role of phytoplankton that is still associated with global climate regulation is seen from its role as the lungs of the earth and a major component in the global carbon cycle. Phytoplankton as the lungs of the earth with a smaller amount only 1 % of the total biomass photosynthetic organism, but able to contribute more than 45% of the total production of oxygen in the biosphere. Then, the other important role is as the global carbon cycle where phytoplankton can reduce the carbon dioxide content of the atmosphere is now increasing 25 % compared to pre-industry and each year has increased 2 % through the biological pump carbon from the atmosphere and store it in the deep sea. Through the process of photosynthesis, marine phytoplankton can transform around 100 Gt of carbon in the form of carbon dioxide per year were fixed in the form of organic carbon. This value is much larger when compared to the carbon sequestered by agricultural systems only ranges of 9-12 Gt C annually.

Keyword: Phytoplankton, sulfur, oxygen, carbon dioksida, dimetisulfit, dimetilsulfoniopropionat

ABSTRAK

Fitoplankton merupakan tumbuhan mikroorganisme yang tidak dapat dilihat dengan mata telanjang yang hidupnya melayang-layang dan mengapung di kolom air dan pergerakannya sangat tergantung pada arus. Umumnya fitoplankton memiliki waktu hidup yang relatif singkat 1-10 hari dengan waktu generasi 3 – 6 kali sehari. Namun, fitoplankton ini memiliki peran yang sangat penting terutama dalam memelihara stabilitas suhu dari peningkatan akibat pengaruh meningkatnya gas-gas rumah kaca serta dapat mengurangi kandungan karbon dioksida (CO₂) atmosfer itu sendiri. Peran fitoplankton dalam pengaturan iklim global yang berkaitan dengan pengurangan sulfur dan pembentukan awan di atmosfer dilakukan oleh *dimetisulfit* (DMS). DMS merupakan senyawa sulfur yang mudah menguap atau sisa gas biogenik yang dihasilkan dari degradasi metabolik fitoplankton

dimetilsulfoniopropionat (DMSP) di permukaan laut. DMS yang berpindah ke atmosfer hanya 10% atau sekitar 0,5-1,0 Tmol dari keseluruhan DMS yang dihasilkan. Namun DMS dapat memberikan kontribusi dalam mengurangi kandungan sulfur sekitar 48-100%. Selain itu, di atmosfer DMS teroksidasi menjadi bentuk partikel aerosol asidik yang berpengaruh langsung pada keseimbangan radiasi bumi dengan memantulkan kembali radiasi matahari. Sedangkan pengaruh tidak langsungnya adalah pembentukan partikel awan kondensasi nuklei (CNN) menyerap radiasi matahari dan memantulkan kembali radiasi matahari. Hal lainnya, peran fitoplankton yang masih berkaitan dengan pengaturan iklim global adalah terlihat dari perannya sebagai paru-paru bumi dan komponen utama dalam siklus karbon global. Fitoplankton sebagai paru-paru bumi dengan jumlahnya yang lebih kecil yang hanya 1% dari total biomassa organisme fotosintetis, namun dapat menyumbang lebih dari 45% total produksi oksigen di biosfir. Kemudian peran penting lainnya adalah sebagai siklus karbon global dimana fitoplankton dapat mengurangi kandungan karbon dioksida atmosfer yang saat ini meningkat 25% dibanding saat preindustri dan setiap tahunnya mengalami peningkatan 2% melalui pompa biologis karbon dari atmosfer dan menyimpannya di laut dalam. Melalui proses fotosintesis, fitoplankton laut dapat mentransformasi sekitar 100 Gt karbon dalam bentuk karbon dioksida setiap tahunnya yang difiksasi dalam bentuk karbon organik. Nilai ini jauh lebih besar bila dibandingkan dengan karbon yang diserap oleh sistem pertanian yang hanya berkisar dari 9-12 Gt karbon setiap tahunnya.

Kata Kunci: Fitoplankton, Sulfur, Oksigen, Karbon Dioksida, Dimetisulfit, Dimetilsulfoniopropionat

I. PENDAHULUAN

Fitoplankton merupakan nama umum dari organisme mikroskopis fotosintesis yang mendiami lapisan permukaan yang mendapat cahaya atau zona eufotik yang terdapat pada hampir semua perairan laut maupun tawar (Ghosal *et al.*, 2000) serta pergerakan dan distribusinya sangat tergantung pada arus. Selain itu, fitoplankton merupakan organisme multiseluler dengan waktu doubling yang cepat serta waktu hidup yang singkat. Pada awalnya fitoplankton diketahui hanya memiliki peran pada lingkungan perairan yaitu dalam menyokong kegiatan perikanan (Pauly dan Christensen, 1995; Gislason, 2003) serta dapat dijadikan informasi untuk mengestimasi produksi perikanan berdasarkan pengukuran produktivitas primernya (Lalli dan Parsons, 1995). Peran fitoplankton dalam menyokong kegiatan perikanan terlihat dari posisinya yang memainkan peran sebagai dasar rantai makanan bagi organisme perairan yang tingkatan trophicnya lebih tinggi dalam jaring makanan di perairan (Miller, 2004).

Tidak hanya seperti disebutkan di atas, peran fitoplankton lainnya di perairan adalah berkaitan dengan transfer energi dimana dengan mengukur transfer energi dalam jaring makanan seperti disebutkan di atas diperkirakan terdapat sekitar 25% dan 35% energi yang dapat difiksasi oleh produser primer dalam hal ini fitoplankton pada suatu perairan yang diperlukan untuk menyokong kegiatan perikanan (Gislason, 2003). Sedangkan peran lainnya adalah dengan mengukur produktivitas primernya selain dapat mengetahui kemampuan suatu perairan untuk menyokong keberlanjutan perikanan (Pauly dan Christensen, 1995) juga dapat digunakan untuk mengestimasi potensi produksi ikan secara *in situ* di perairan (Lalli dan Parsons, 1995; Alianto dan Damar, 2009; Alianto *et al.*, 2009).

Seiring dengan berjalannya waktu peran fitoplankton semakin diperhitungkan serta lingkup kajiannya semakin luas, apalagi degradasi lingkungan yang terjadi saat ini baik lingkungan perairan (laut, danau, dan sungai) maupun lingkungan lainnya seperti atmosfer. Oleh karena itu, fitoplankton saat ini menjadi pusat perhatian dan obyek ilmuwan yang berkompeten untuk melakukan kajian dan penelitian yang berkaitan dengan peran maupun kontribusinya. Salah satu yang saat ini lagi menjadi pusat perhatian adalah peran penting fitoplankton itu sendiri pada lingkungan atmosfer terutama perannya dalam memainkan peran penting sebagai perantara siklus biogeokimia global, yaitu sebagai produksi dimetilsulfida dan fiksasi atau penyerapan karbon (Franklin *et al.*, 2012).

Peran fitoplankton dalam pengaturan iklim global yang berkaitan dengan produksi dimetilsulfida yang berfungsi dalam mengurangi kandungan sulfur dan perannya dalam pembentukan awan di atmosfer. Sedangkan peran fitoplankton lainnya yang tidak kalah pentingnya adalah berkaitan dengan perannya sebagai paru-paru bumi dan komponen utama dalam siklus karbon global (Thebault *et al.*, 2009). Fitoplankton sebagai paru-paru bumi produksi oksigen di biosfir (Field *et al.*, 1998). Sedangkan sebagai siklus karbon global, fitoplankton dapat mengurangi kandungan karbon dioksida atmosfer melalui pompa biologis karbon dari atmosfer dan menyimpannya di laut dalam (Thebault *et al.*, 2009).

Pada beberapa dekade terakhir ini penelitian yang berkaitan dengan peran dan kontribusi fitoplankton dalam pengaturan iklim global telah berkembang baik dan telah dilakukan pada beberapa perairan di dunia. Namun penelitian-penelitian tersebut sebagian besar masih lebih dominan di benua Antartika seperti diantaranya dilakukan oleh Valle *et al.* (2009), Simo *et al.* (2002), Evans *et al.* (2007) dan masih banyak lagi ilmuwan lainnya. Pada beberapa lainnya perairan lainnya masih sangat sedikit dan berkembang dengan baik termasuk di Benua Hindia maupun Pasifik lebih khusus lagi di perairan Indonesia. Penelitian yang berkaitan dengan peran dan kontribusi fitoplankton dalam pengaturan iklim di perairan Indonesia yang memiliki perairan laut yang luas belum pernah dilakukan.

Berdasarkan kenyataan tersebut, maka penulisan makalah ini mencoba menguraikan secara detail peran fitoplankton laut dalam pengaturan iklim global. Hal ini bermaksud untuk menggugah ilmuwan dan akademisi yang berada di Indonesia untuk memberikan kontribusinya pada penelitian-penelitian yang berkaitan dengan peran dan kontribusi fitoplankton dalam pengaturan iklim global. Hal ini dirasa penting karena bila emisi sulfur dioksida (SO₂) dan karbon dioksida (CO₂) sebagai gas rumah kaca yang memainkan peran dalam terjadinya hujan asam dan peningkatan suhu. Bila kondisi ini berlangsung terus akan berakibat buruk pada ekosistem terutama ekosistem perairan.

A. Peran dan Kontribusi Fitoplankton dalam Mengurangi Kandungan Sulfur di Atmosfir

Definisi dan Sumber DMS di Perairan

Simo *et al.* (2001) mendefinisikan *dimetisulfit* (DMS) sebagai bentuk-bentuk sisa gas aktif yang berhubungan dengan iklim terdapat di perairan laut yang berinteraksi dengan jaring makanan mikrobial. Sedangkan definisi lain dari DMS adalah merupakan senyawa sulfur yang mudah menguap (Slezak dan Herndl, 2003) atau sisa gas biogenik yang dihasilkan dari degradasi metabolik fitoplankton *dimetilsulfoniopropionat* (DMSP) di permukaan laut (Valle *et al.*, 2009). Hal ini berhubungan pula dengan pernyataan bahwa DMS sumber awalnya berasal dari *dimetilsulfoniopropionat* (DMSP) (Evans *et al.*, 2007) serta ditemukan pada beberapa taksa alga (Keller *et al.*, 1989).

Beberapa taksa algae laut dimana DMSP terdapat dalam konsentrasi tinggi terdapat pada Dinoflagellata, Coccolitophores, dan Cyanobakteri (Millero, 2006). Beberapa jenis Dinoflagellata, Coccolitophores, dan Cyanobakteri yang telah diketahui menghasilkan DMSP terdiri atas *Alexandrium tamerense* dari taksa Dinoflagellata (Wolfe *et al.*, 2002), *Emiliania huxleyi* (Evans *et al.* 2007) dan *Phaeocystis* spp. (Brussaard *et al.*, 2005) dari taksa Coccolitophores.

Peran dan Proses Terbentuk Serta Keberadaan DMS di Atmosfir

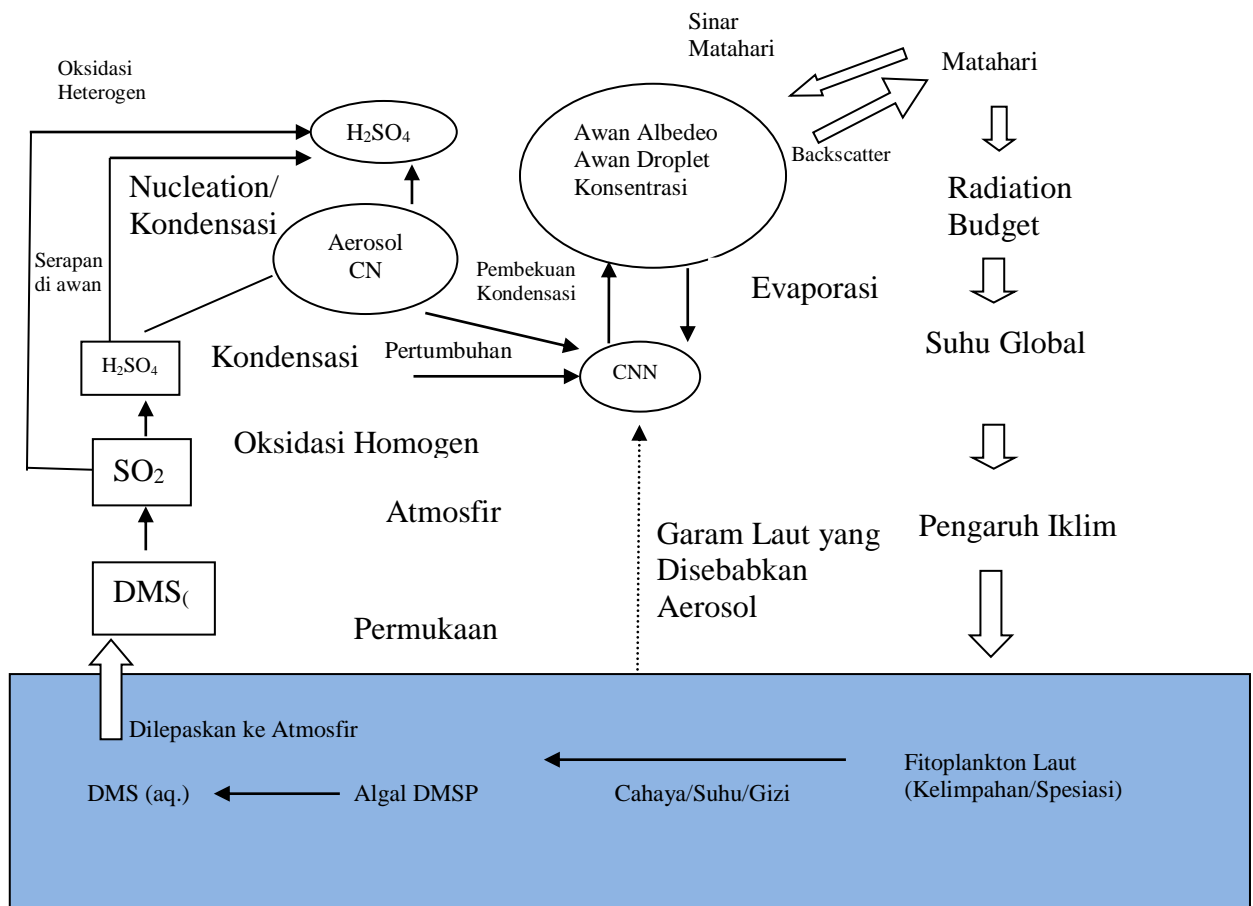
Millero (2006) menyatakan DMS dihasilkan dari *dimetilsulfoniopropionate* (DMSP) algae laut dari protein methionine melalui persamaan kimia berikut:



Pada persamaan di atas DMS dan asam arsiklik terbentuk bila DMSP memecah kelompok isozymes yang ketahu sebagai DMSP lyase, dimana ditemukan dimana-mana diantaranya pada komunitas mikrobial, dan ditemukan juga pada bakteri laut (Ledyard dan Dacey, 1994) dan DMSP yang terdapat pada fitoplankton (Steinke *et al.*, 1998). DMSP dan generasi produk pembelahannya melalui aksi DMSP lyases mempunyai beberapa fungsi yang berhubungan dengan sel dengan proses-proses metabolik dan keseimbangan homeostatis (Evans *et al.*, 2007). Selanjutnya dinyatakan bahwa fitoplankton yang aktif selama pertumbuhannya mengeluarkan beberapa produksi DMS walaupun mengalami peningkatan selama atau mendekati fase dimana sel-sel akan berakhir waktu hidupnya atau sel akan mati.

Millero (2006) menyatakan ketika permukaan laut jenuh dengan DMS, DMS akan berpindah ke atmosfer terutama selama *fitoplankton blooming* seperti disajikan pada Gambar 1. Selanjutnya Kumar dan Hader (1999) menguraikan secara rinci mekanisme terbentuknya DMS sampai dengan lepas ke atmosfer (Gambar 1) mengikuti mekanisme-mekanisme seperti diuraikan sebagai berikut:

- Beberapa algae laut seperti disebutkan sebelumnya menghasilkan DMSP, yang menjadi awal terbentuknya DMS. DMSP dipindahkan dari sel-sel algae ke laut yang selanjutnya dipecahkan menjadi DMS (Harvey *et al.*, 1996).
- Molekul DMS di atmosfer hanya memiliki masa hidup atau bertahan hidup kurang dari sehari. DMS bereaksi dengan hydroxil radikal dan dioksidasi menjadi sulfur dioksida (SO_4^{-2}), dan akhirnya menjadi Non-Sea Salt Sulfate (NSS). Salah satu dari SO_4^{-2} – NSS mengembun menjadi partikel-partikel yang ada atau menjadi salah satu sebagai bentuk-bentuk yang baru (homogeneous nuklei) atau diproses menjadi awan-awan *droplet* (proses heterogeneous) menjadi bentuk-bentuk partikel yang menjadi bagian dari awan-awan evaporasi.
- Dengan cepat awan-dasar menjadi partikel-partikel SO_4^{-2} – NSS yang lebih banyak menjadi komponen aerosol.



Gambar 1. Siklus umpan balik antara DMS-awan-iklim di atmosfer dan lapisan permukaan perairan (Kumar dan Hader, 1999).

- Bagian terbesar dari aerosol sebagai CNN dari berkembangnya awan droplet dengan udara yang bergerak ke atas mendekati udara dimana terdapat awan dasar. Pada tempat ini lebih didominasi oleh SO_4^{-2} – NSS.
- Jumlah CNN berpengaruh pada jumlah dan ukuran terbentuknya awan droplet, dimana akan berpengaruh kembali munculnya awan dan unsur-unsur radioaktif.
- Jumlah CNN berkaitan juga dengan waktu bertahan dan jumlah awan. CNN merefleksikan kembali cahaya matahari ke tempat dan lebih penting lagi membuat dingin planet.
- Pengaruh CNN pada awan albedo diketahui sebagai “pengaruh aerosol secara tidak langsung” yang berlawanan dengan “pengaruh langsung” sebagai partikel yang memencarkan kembali dan menyerap radiasi.
- Lebih diketahui adanya umpan balik meningkatnya DMS di atmosfer yang mempunyai peranan penting pada munculnya awan dan planet menjadi dingin. Timbal balik dari temperature rendah dengan produksi DMS planktonik yang arahnya belum diketahui apa meningkatkan atau mengurangi emisi.

Selain beberapa uraian di atas, di atmosfer DMS teroksidasi menjadi bentuk partikel aerosol asidik yang berpengaruh langsung pada keseimbangan radiasi bumi dengan memantulkan kembali radiasi matahari (Charlson *et al.* 1987). Sedangkan pengaruh tidak langsungnya adalah pembentukan partikel awan kondensasi nuklei (CNN) (Andreae dan Crutzen, 1997) yang berfungsi dapat meningkatkan pembentukan awan *droplet* untuk menyerap radiasi matahari dan memantulkan kembali radiasi matahari dan mengurangi potensi meningkatnya awan albedo (Kumar dan Hader, 1999).

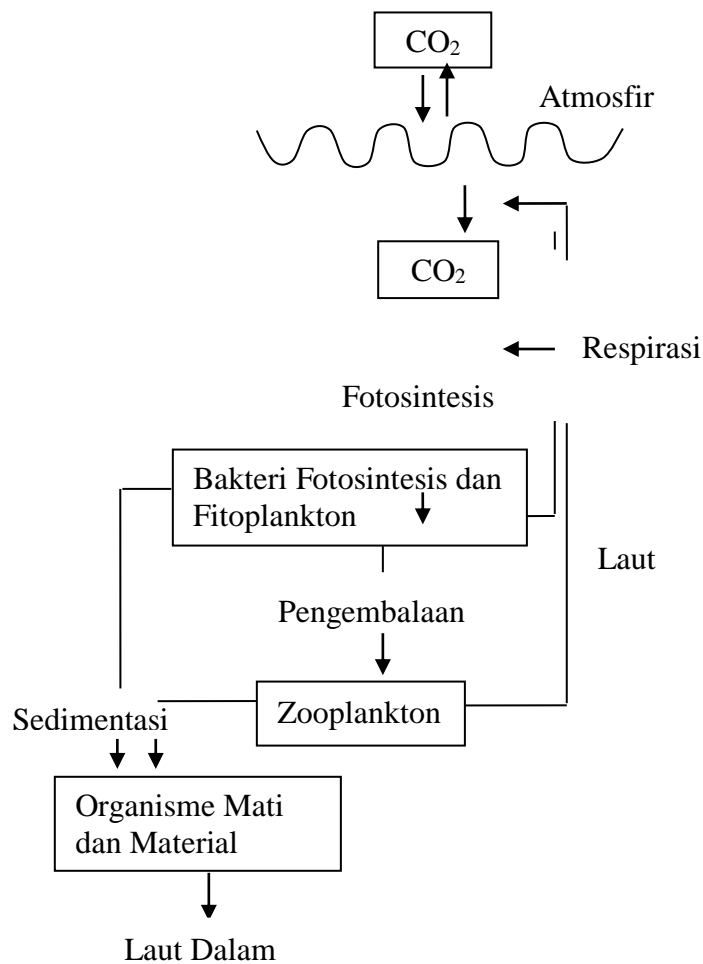
Kontribusi DMS Dalam Mengurangi Kandungan Sulfur Atmosfir

DMS yang berpindah ke atmosfer hanya 10% (Kumar dan Hader, 1999) atau sekitar 0.5-1.0 Tmol (Kettle dan Andreae, 2000) dari keseluruhan DMS yang dihasilkan di permukaan laut. Namun dapat memberikan kontribusi dalam mengurangi kandungan sulfur sekitar 48-100% (Andreae dan Crutzen, 1997). Hal ini dapat dilihat dari sumber utama emisi sulfur dari antropogenik SO_2 yang terukur sekitar 71 Tg S per tahun dan DMS yang dipindahkan dari laut yang diukur sekitar 40 Tg S per tahun (Kumar dan Hader, 1999). DMS memainkan peran yang penting dalam pengaturan iklim sejarah geologi bumi. Peningkatan 30% emisi DMS dapat memberikan pengaruh dingin sekitar 1 K (-272.15 °C). Secara global, DMSP merupakan sumber utama DMS. Millero (2006) melaporkan bahwa pada beberapa tahun terakhir telah terjadi pengurangan senyawa sulfur yang salah satunya karena peran dari DMS.

B. PERAN DAN KONTRIBUSI FITOPLANKTON DALAM SUPLAI OKSIGEN KE BIOSFIR DAN PENYERAPAN KARBON DIOKSIDA ATMOSFIR

Sedangkan peran fitoplankton yang masih berkaitan dengan pengaturan iklim global adalah terlihat dari perannya sebagai paru-paru bumi dan komponen utama dalam siklus karbon global (Thebault *et al.*, 2009). Fitoplankton sebagai paru-paru bumi dengan

jumlahnya yang lebih kecil yang hanya 1% dari total biomassa organisme fotosintetis, namun dapat menyumbangkan lebih dari 45% total produksi oksigen di biosfir (Field *et al.* 1998). Sedangkan sebagai siklus karbon global, fitoplankton dapat mengurangi kandungan karbon dioksida atmosfer yang saat ini meningkat 25% dibanding saat preindustri (Fer dan Haugan, 2003) dan setiap tahunnya mengalami peningkatan 2% (Lalli dan Parsons, 1995; Fer dan Haugan, 2003) melalui pompa biologis karbon dari atmosfer dan menyimpannya di laut dalam (Thebault *et al.*, 2009) (Gambar 2).



Gambar 2. Aliran karbon dari atmosfer ke laut dalam melalui pompa biologis (Kumar dan Hader, 1999).

Melalui proses fotosintesis, fitoplankton laut dapat mentransformasi sekitar 100 Gt karbon dalam bentuk karbon dioksida setiap tahunnya yang difiksasi dalam bentuk karbon organik (Sullivan *et al.*, 1993). Nilai ini jauh lebih besar bila dibandingkan dengan karbon yang diserap oleh sistem pertanian yang hanya berkisar dari 9-12 Gt karbon setiap tahunnya (Kumar dan Hader, 1999). Pada bagian perairan lainnya seperti daerah kontinental shelf dapat menyerap CO₂ atmosfer dengan laju penyerapan antara 0,33 dan 0,36 Pg karbon per

tahun (Tang *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penambahan penenggelaman CO₂ dari 27% - 30% yang diserap oleh laut lepas (Takahashi *et al.*, 2009).

C. PERAN DAN KONTRIBUSI FITOPLANKTON PERAIRAN LAUT INDONESIA

Jenis Fitoplankton

Pada dasarnya bila dilihat dari kenyataan perairan laut Indonesia memiliki peran dan kontribusi yang sangat besar dalam memainkan peran sebagai pengatur iklim global baik sebagai penghasil DMSP maupun penyerap karbon dioksida atmosfer. Hal ini didasari 2 alasan penting, yaitu alasan pertama, Indonesia memiliki luas perairan sekitar 3.257.483 km² dengan panjang garis pantai sekitar 95.186 km yang didalamnya terdapat ratusan bahkan ribuan teluk, laguna, selat, perairan laut dangkal maupun laut yang dalam yang sangat luas. Alasan kedua, perairan laut Indonesia memiliki potensi fitoplankton dengan kelimpahan maupun komposisinya yang tinggi. Hal ini diketahui dari hasil penelitian yang dilakukan menemukan beberapa jenis fitoplankton yang predominan di atas 10% pada beberapa perairan laut Indonesia (Tabel 1).

Tabel 1. Jenis fitoplankton yang predominan di atas 10% pada beberapa perairan laut Indonesia

No	Genera	Lokasi Perairan Laut			
		Teluk Banten ^a	Teluk Semangka ^b	Laut Arafura ^c	Laut Banda ^c
1.	<i>Chaetoceros</i>	✓	✓	✓	✓
2.	<i>Coscinodiscus</i>	✓	✓	✓	✓
3.	<i>Leptocylindrus</i>	✓	✓	✓	✓
4.	<i>Rhizosolenia</i>	✓	✓	✓	✓
5.	<i>Thalassiosira</i>	✓	✓	✓	✓
6.	<i>Thalassiothrix</i>	✓	✓	✓	✓

Keterangan: ✓ = ditemukan

Sumber: ^aAlianto (2011); ^bDamar (2003); ^cArinardi *et al.* (1997)

Status Penelitian Fitoplankton

Penelitian fitoplankton laut di perairan Indonesia diperkirakan mulai dilakukan pada akhir abad ke 19 dan penelitian saat itu terutama ditujukan pada penelitian taksonomi. Pada tahun 1960-an sampai akhir 1980 penelitian fitoplankton lebih difokuskan pada penelitian kelimpahan dan komposisinya. Pada tahun 1990 sampai sekarang penelitian fitoplankton tidak hanya terfokus pada kelimpahan dan komposisinya tapi berkembang pada penelitian aspek fisiologinya. Penelitian aspek fisiologi fitoplankton laut di perairan Indonesia terutama berkaitan dengan transformasi karbon dioksida yang difiksasi dalam bentuk karbon organik. Penelitian ini belum berkembang dengan baik dan masih sangat sedikit serta dilakukan hanya pada perairan teluk (perairan dangkal) di Indonesia. Sedangkan penelitian tentang

transformasi karbon dioksida yang difiksasi dalam bentuk karbon organik di perairan laut lepas atau laut dalam belum pernah dilakukan.

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan transformasi karbon dioksida yang difiksasi dalam bentuk karbon organik di perairan teluk di Indonesia telah dilakukan oleh Damar (2003) di Teluk Jakarta, Teluk Semangka, dan Teluk Lampung serta Alianto (2011) di Teluk Banten. Sebagai contoh, hasil penelitian transformasi karbon dioksida yang difiksasi dalam bentuk karbon organik disajikan pada Tabel 2. Nilai karbon organik fitoplankton (Tabel 2) merupakan hasil fiksasi fitoplankton yang dominan di perairan laut dangkal (Tabel 1) khususnya yang terdapat di perairan Teluk Banten. Hal ini menunjukkan dari sekitar 20.000 jenis fitoplankton yang ada di perairan (Falkowski dan Raven, 1997) termasuk perairan laut hanya sebagian kecil yang berperan penting dalam pengaturan iklim global.

Tabel 2. Nilai karbon organik fitoplankton di perairan Teluk Banten

No.	Bulan Pengamatan	Rata-Rata Nilai Karbon Organik (mg C m ⁻³ jam ⁻¹)
1.	April	280.548
2.	Mei	216.974
3.	Juni	85.375
4.	Juli	36.255
5.	Agustus	128.079
6.	September	54.810
	Total	802.041

Sumber: Diolah dari Alianto (2011)

Sama pula halnya dengan penelitian jenis-jenis fitoplankton yang menghasilkan DMSP di perairan laut Indonesia belum pernah dilakukan. Beberapa jenis Dinoflagellata, Coccolitophores, dan Cyanobakteri yang telah diketahui menghasilkan DMSP terdiri atas *Alexandrium tamerense* dari taksa Dinoflagellata (Wolfe *et al.*, 2002), *Emiliania huxleyi* (Evans *et al.*, 2007) dan *Phaeocystis* spp. (Brussaard *et al.*, 2005) dari taksa Coccolitophores. Jenis-jenis fitoplankton ini merupakan jenis-jenis fitoplankton laut yang dominan di perairan laut lepas atau laut dalam (Brussaard *et al.*, 2005; Evans *et al.*, 2007).

II. KESIMPULAN

Hingga saat ini dari perkiraan sekitar 20.000 jenis fitoplankton yang ada di perairan termasuk perairan laut hanya sebagian kecil yang berperan penting dalam pengaturan iklim global. Taksa fitoplankton yang berperan dalam pengaturan iklim global yang berkaitan dengan pengurangan kandungan sulfur atmosfer hanya terdiri dari Dinoflagellata, Coccolitophores, dan Cyanobakteri. Hal yang sama terjadi pula pada fitoplankton yang berperan dalam pengaturan iklim global yang berkaitan dengan pengurangan kandungan

karbon dioksida atmosfer. Hal ini tentu menjadi menarik bagi para ilmuwan maupun peneliti Indonesia untuk melakukan penelitian yang berkaitan dengan inventarisasi taksa atau jenis fitoplankton serta peran dan kontribusinya dalam pengaturan iklim global di perairan Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Alianto. 2011. Kajian dinamika pertumbuhan fitoplankton dan keterkaitannya dengan variabilitas intensitas cahaya matahari dan nutrisi inorganik terlarut di perairan Teluk Banten. Disertasi. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 196 pp
- Alianto, dan A. Damar. 2009. Pengembangan model pengelolaan berbasis ekosistem dalam menentukan status pemanfaatan dan potensi sumberdaya ikan pelagis kecil dengan pendekatan wood web di perairan laut. *Laporan Penelitian Hibah Bersaing*. Universitas Negeri Papua. Manokwari, Papua Barat. 86 pp
- Alianto, E.M. Adiwilaga, A. Damar, dan E. Harris. 2009. Estimasi potensi ikan pelagis kecil berbasis produktivitas primer fitoplankton di perairan laut. In *Prosiding Seminar Nasional Tahunan VI Hasil-Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan*. Jurusan Perikanan dan Ilmu Kelautan Fakultas Pertanian Universitas Gajah Mada. Yogyakarta, Indonesia. pp KL-02: 1-10
- Andreae, M.O., and P.J. Crutzen. 1997. Atmospheric aerosols: Biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry. *Science*. 276: 1052-1058
- Arinardi, O.H., A.B. Sutomo, S.A. Yusuf, Trimarningsih, Elly Asnaryanti dan S.H. Riyono. 1997. *Kisaran Kelimpahan dan Komposisi Plankton Predominan Di Perairan Kawasan Timur Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta. 138 pp
- Brussaard, C.P.D., B. Kuipers, and M.J.V. Veldhuis. 2005. A mesocosm study *Phaeocystis globosa* population dynamics. 1. Regulatory role of viruses in bloom. *Harmful Algae*. 4: 859-874.
- Charlson, R.J., J.E. Lovelock, M.O. Andreae, and S.G. Warren. 1987. Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud albedo and climate. *Nature*. 326: 655-661
- Damar, A. 2003. Effects of Enrichment on Nutrient Dynamics, Phytoplankton Dynamics and Productivity in Indonesian Tropical Waters: A Comparison Between Jakarta Bay, Lampung Bay and Semangka Bay. Ph.D Dissertation. Christian Albrechts University. Kiel. Germany.
- Evans, C., S.V. Susanne, V. Kadner, and L.J. Darroch, W.H. Wilson, P.S. Liss, and G. Mallin. 2007. The relative significance of viral lysis and microzooplankton grazing as pathways of dimethylsulfoniopropionate (DMSP) cleavage: An *Emiliana huxleyi* culture study. *Limnol. Oceanogr.* 52(3): 1036-1045
- Falkowski, P.G., and J.A. Raven. 1997. *Aquatic Photosynthesis*. Blackwell Science, Malden Massachusetts. 256 pp
- Fer, I., and P.M. Haugan. 2003. Dissolution from a liquid CO₂ lake disposed in the deep ocean. *Limnol. Oceanogr.* 48: 872-883
- Field, C. B., M. J. Behrenfeld, J. T. Randerson, and P. Falkowski. 1998. Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281: 237-240
- Franklin, D.J., R.L. Airs, M. Fernandes, T.G. Bell, J. Bongaerts, J.A. Berges, and G. Malin. 2012. Identification of senescence and death in *Emiliana huxleyi* and *Thalassiosira pseudonana*: Cell

- staining, chlorophyll alterations, and dimethylsulfoniopropionate (DMSP) metabolism. *Limnol. Oceanogr.* 57(1): 305-317
- Ghosal, S., M. Rogers, and A. Wray. 2000. The turbulent life of phytoplankton. In *Proceedings of the Summer Program*. Center for Turbulence Research. Moffett, CA. pp 31-45
- Gislason, H. 2003. The effects of fishing on non-target species and ecosystem structure and function. In *Responsible fisheries in the marine ecosystem*. Sinclair, M., and G. Valdimarsson. FAO and CABI, London. pp 255-274
- Keller, M.D., W.K. Bellows, and R.R.L. Guillard. 1989. Dimethyl sulfide production in marine phytoplankton. In *Biogenic sulphur in the environment*. E. Saltzman and W.J. Cooper (eds.). American Chemical Society. 167-182 p
- Kettle, A.J., and M.O. Andreae. 2000. Flux of dimethylsulfide from the ocean: A comparison of updated data sets and flux models. *J. Geophys. Res.* 105: 26793-26808
- Kumar, H.D., and D.P. Hader. 1999. *Global Aquatic and Atmospheric Environmet*. Springer-Verlag, New York. 393 pp
- Lalli, C.M., and T.R. Parsons. 1995. *Biological Oceanography: An Introduction*. Butterworth-Heinemann, Oxford. 301 pp
- Ledyard, K.M., and J.W.H. Dacey. 1994. Dimethylsulfide production from dimethylsulfoniopropionate by a marine bacterium. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 110: 95-103
- Miller, C.B. 2004. *Biological Oceanography*. Blackwell Science, USA. 402 pp
- Millero, F.J. 2006. *Chemical Oceanography*. CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton. 496 pp
- Pauly, D., V. Christensen. 1995. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*. 374: 255-277
- Slezak, D., and G.J. Herndl. 2003. Effect of ultraviolet and visible radiation on the cellular concentrations of dimethylsulfoniopropionate (DMSP) in *Emiliana huxleyi* (strain L). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 246: 61-71
- Simo, R., S.D. Archer, C. Pedros-Alio, L. Gilpin, and C.E. Stelfox-Widdicombe. 2002. Coupled dynamics of dimethylsulfoniopropionate and dimethylsulfide cycling and the microbial food web in surface water of the North Atlantic. *Limnol. Oceanogr.* 47(1): 53-61
- Simo, R. 2001. Production of atmospheric sulfur by oceanic plankton: Biogeochemical, ecological and evolutionary links. *Trend Ecol. Evol.* 16: 287-294
- Steinke, M., G.V. Wolfe, and G.O. Kirst. 1998. Partial characterisation of dimethylsulfoniopropionate (DMSP) lyase isozymes in 6 strain of *Emiliana huxleyi*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 175: 215-225
- Sullivan, C.W., K.R. Arrigo, C.R. McClain, J.C. Comiso, and J. Firestone. 1993. Distributions of phytoplankton blooms in the Southern Ocean. *Science*. 262: 1832-1837
- Takahashi, T., S.C. Sutherland, R. Wanninkhof, C. Sweeney, and 27 others. 2009. Climatological mean and decadal change in surface ocean pCO₂, and net sea-air CO₂ flux over the global oceans. *Deep-Sea Res. II*. 56: 554-577
- Tang, Q., J. Zhang, and J. Fang. 2011. Shellfish and seaweed mariculture increase atmospheric CO₂ absorption by coastal ecosystems. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 424: 97-104
- Thebault, J., L. Chauvaud, S. L'Helguen, J. Clavier, A. Barats, S. Jacquet, C. Pecheyran, and D. Amouroux. 2009. Barium and molybdenum records in bivalve shells: geochemical proxies for phytoplankton dynamics in coastal environments?. *Limnol. Oceanogr.* 54: 1002-1014

Kerjasama

Asosiasi Ahli Perubahan Iklim dan Kehutanan Indonesia &
Direktorat Mobilisasi Sumber Daya Sektoral dan Regional, Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, KLHK

- Valle, D.A., D.J. Kieber, D.A. Toole, J. Brinkley, and R.P. Kiene. 2009. Biological consumption of dimethylsulfide (DMS) and its importance in DMS dynamics in the Ross Sea, Antarctica. *Limnol. Oceanogr.* 54(3): 785-798
- Wolfe, D.A., S.L. Strom, J.L. Holmes, T. Radzio, and M.B. Olson. 2002. Dimethylsulfoniopropionate cleavage by marine phytoplankton in response to mechanical, chemical, or dark stress. *J. Phycol.* 38: 948-960