

KARBON DIOKSIDA

oleh

Tjutju Susana¹⁾

ABSTRACT

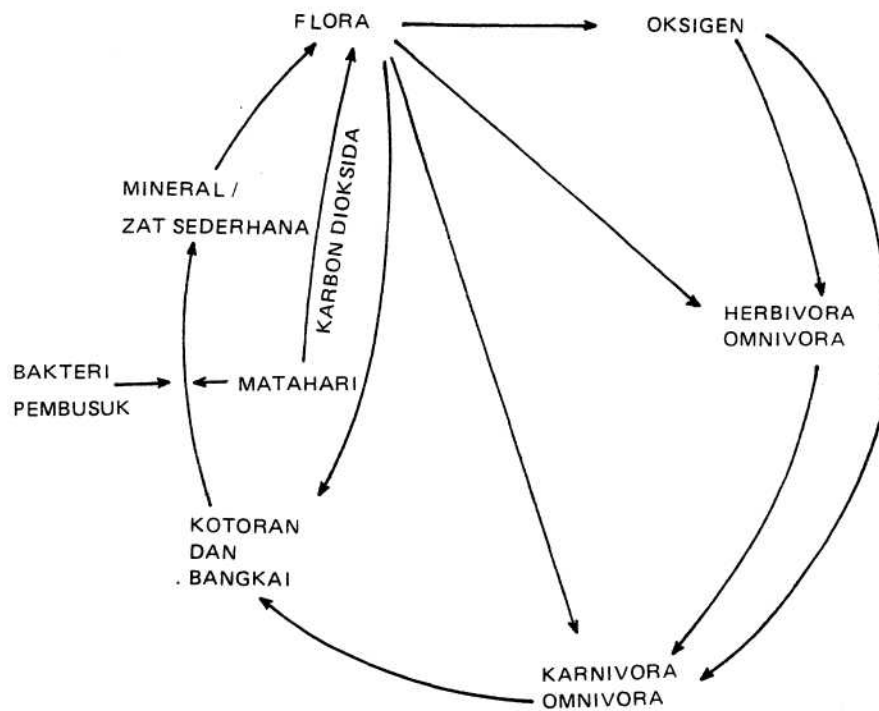
CARBON DIOXIDE. *Carbon dioxide is a chemical compound which consist of one atom of carbon and two atoms of oxygen, gaseous form at room temperature, easily dissolve in water and colorless. It forms an important compound for all plants in the photosynthetic process. In general the carbon dioxide concentration of sea water ranges between 1.5 – 2.5 μg atom C/l (18 ppm–30 ppm). It is originated from air through diffusion or brought by rainwater, and as the product of animal respiration as well as of organic decomposition by microorganisms. Carbon dioxide compounds can be in the ionic form (HCO_3^- , CO_3^{2-}) as well as in the molecular form (CO_2 , H_2CO_3). These four compounds act as buffer to netralize the excess of acid or basic in seawater.*

PENDAHULUAN

Karbon dioksida, lazim disebut gas asam arang yang merupakan senyawa kimia yang sangat penting bagi kehidupan organisme di dunia ini (Gambar 1). Udara bersih mengandung kira-kira 0,03% karbon dioksida. Jumlah karbon dioksida ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan kadar oksigen dan nitrogen yang terdapat dalam udara (Tabel 1.) (MASRUN 1980). Dalam keadaan normal air laut mengandung kira-kira 100 ppm karbon dioksida, dan dipergunakan oleh tumbuh-tumbuhan laut terutama fitoplankton untuk melakukan fotosintesis (ZOTTO-LI 1978).

Apabila tumbuhan atau hewan bernafas, maka akan dikeluarkan gas karbon dioksida sebagai hasil pembakaran bahan organik yang mengalami dekomposisi dan juga proses-proses oksidasi serta fermentasi yang dilakukan oleh mikroorganisme. Gas ini juga berperan penting dalam proses produksi gula dan tepung pada tumbuh-tumbuhan. Selain itu juga merupakan sumber karbon yang dibutuhkan untuk pertumbuhan semua tumbuhan berwarna hijau, dan secara tidak langsung untuk semua organisme. Zat-zat yang membangun tubuh organisme hidup, baik yang berupa gula, protein, lemak atau lain-lainnya, semuanya mengandung karbon. Karbon dioksida dengan zat kapur berperan bagi pembentukan tulang atau kerangka organisme.

1) Balai Penelitian dan Pengembangan Oseanografi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi - LIPI, Jakarta.



Gambar 1. Daur materi di alam (MASRUN 1980).

Tabel 1. Komposisi gas dalam udara (MASRUN 1980)

Komponen	% volume
Nitrogen	78,084
Oksigen	20,9476
Argon	0,943
Karbon dioksida	0,0314
Neon	0,001818
Helium	0,000524
Metan	0,0002
Kripton	0,000114
Belerang dioksida	0,0001
Hidrogen	0,00005
Nitrogen monoksida	0,00005
Xenon	0,0000087
Ozon	0,000007
Nitrogen dioksida	0,000002
Iodium	0,000001

KARBON DIOKSIDA DI ALAM

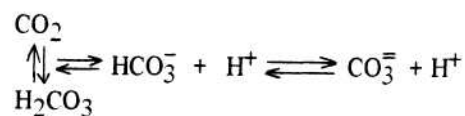
Jumlah karbon dioksida dalam biosfir hanya sedikit dan toksisitasnya relatif rendah. Beberapa bilyun tahun yang lampau terjadi kenaikan jumlah karbon dioksida yang sangat mencolok di atmosfer bumi yang disebabkan oleh letusan gunung berapi. Letusan gunung berapi pada jaman itu menyemburkan sejumlah besar karbon dioksida ke udara, diperkirakan 40.000 kali jumlah karbon dioksida di udara pada saat ini. Kirakira 25% dari seluruh senyawa yang terbentuk dengan karbon dioksida (kalsium dan magnesium) dipergunakan oleh tumbuh-tumbuhan dan kemudian terkubur oleh batuan pada saat terjadinya perubahan zaman. Sebagian kecil dari jumlah itu akan terkumpul dalam bentuk batu bara, pasir dan kantong gas alam bumi yang akhirnya menjadi bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil ini akan diambil dari dalam bumi oleh manusia untuk dimanfaatkan dalam berbagai keperluan hidupnya. Gas yang paling banyak dihasilkan dari setiap proses perubahan (oksidasi) adalah karbon dioksida (CO₂). Oleh karena CO₂ yang dihasilkan dari proses perubahan ini berbentuk gas, maka atmosfer bumi merupakan wadah yang akan menampung semua limbah CO₂ ini.

Selama manusia menggunakan kayu sebagai bahan bakar, penambahan karbon dioksida ke dalam atmosfer dapat diabaikan karena pengaruh hasil pembakaran itu sedikit sekali. Akan tetapi pada zaman industri seperti sekarang ini pemakaian bahan bakar setiap hari berlangsung sedemikian cepat dan jumlahnya semakin meningkat pula. Keadaan ini sudah tentu dapat mengubah kadar karbon dioksida dalam atmosfer. Pemasukan karbon dioksida ke atmosfer sebagai hasil pembakaran bahan bakar karbon diperkirakan sepuluh kali lipat jumlah karbon dioksida yang berasal dari hasil pernafasan. Oleh

karena itu bila tidak ada proses alam yang menghasilkan karbon dioksida (misalnya letusan gunung berapi) maka dalam waktu 500 tahun saja kadar karbon dioksida dalam atmosfer akan menjadi dua kali jumlahnya. Sebagian karbon dioksida yang masuk ke dalam atmosfer akan dipergunakan oleh tumbuh-tumbuhan dalam proses fotosintesis atau diserap oleh air.

KARBON DIOKSIDA DALAM AIR LAUT

Karbon dioksida adalah senyawa kimia yang terbentuk dari 1 atom karbon dan 2 atom oksigen (CO₂), mudah larut dalam air dingin, tidak berbau dan tidak berwarna. Karbon dioksida termasuk gas yang reaktif dan banyak terdapat dalam air laut. Karbon dioksida yang terdapat dalam air laut umumnya berasal dari udara melalui proses difusi, terbawa oleh air hujan, hasil proses respirasi mikroorganisme dan dari hasil penguraian zat-zat organik oleh mikroorganisme. Dalam air laut, senyawa karbon dioksida terdapat dalam bentuk ion dan bentuk molekul. Dalam bentuk ion adalah ion bikarbonat (HCO₃⁻) dan karbonat (CO₃⁼) sedangkan dalam bentuk molekul adalah molekul karbon dioksida bebas (CO₂) dan asam karbonat (H₂CO₃). Menurut HARVEY (1974) keempat bentuk karbon dioksida ini berada dalam keadaan keseimbangan. Reaksi keseimbangan ini dapat digambarkan sebagai berikut:

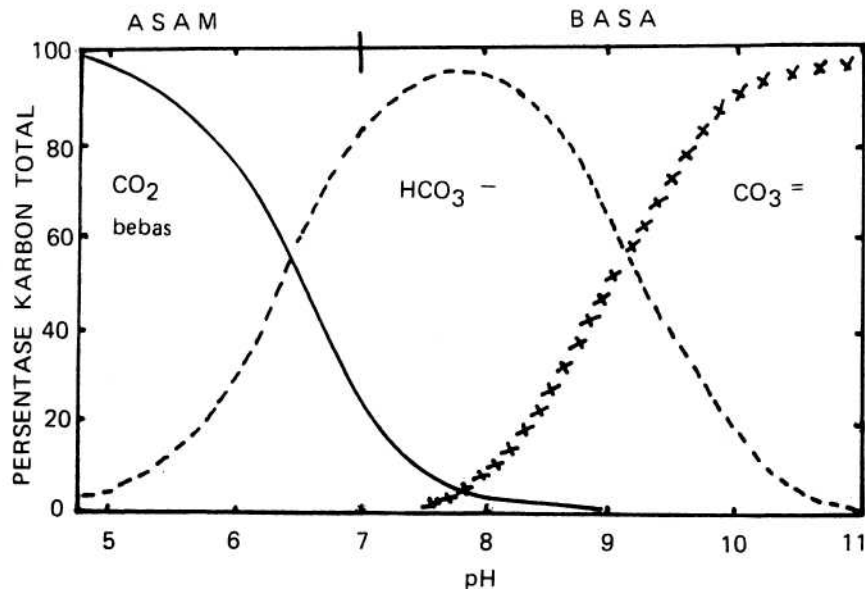


Arah reaksi keseimbangan ini sangat tergantung pada pH air. Dalam perairan yang pH-nya lebih rendah dari 7, reaksi keseimbangan akan bergeser ke arah kiri. Ini berarti bahwa senyawa CO₂ bebas lebih banyak terdapat dalam air dibandingkan dengan senyawa HCO₃⁻ atau CO₃⁼. Sedangkan dalam

perairan yang pH-nya lebih tinggi dari 7, senyawa karbon dioksida umumnya tidak terdapat dalam bentuk bebas, tetapi terikat dalam bentuk bikarbonat (HCO_3^-) dan karbonat ($\text{CO}_3^{=}$) (Gambar 2) (BEER 1983). Oleh karena air laut mempunyai pH lebih besar dari 7, maka senyawa karbon dioksida yang terdapat dalam air laut sebagian besar berada dalam bentuk bikarbonat dan karbonat.

Menurut HORNE (1969) kadar karbon dioksida total dalam air laut berkisar antara 1,5 - 2,5 $\mu\text{g A C/l}$ atau 18 ppm - 30 ppm. Kadar ini sekitar 15-25 kali lebih tinggi jika dibandingkan dengan kadar karbon dioksida total yang terdapat dalam air tawar yaitu 0,1 $\mu\text{g A C/l}$. Hal ini menunjukkan bahwa air laut mempunyai kemampuan yang lebih besar untuk menyerap CO_2 dari

udara dibandingkan dengan air tawar. Karbon dioksida yang berdifusi ke dalam air laut atau yang terbawa oleh air hujan akan bereaksi dengan ion kalsium dan magnesium membentuk garam-garam kalsium karbonat (CaCO_3) dan magnesium karbonat (MgCO_3). Oleh karena itu tinggi rendahnya kadar kalsium dan magnesium sangat mempengaruhi kadar CO_2 dalam air laut. Kadar kalsium (422 ppm) dan magnesium (1326 ppm) dalam air laut jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kadar kalsium (1,5 ppm) dan magnesium (4,1 ppm) dalam air tawar. Hal inilah yang menyebabkan air laut mempunyai kemampuan yang lebih besar untuk menyerap CO_2 dibandingkan dengan air tawar. Di samping itu adanya turbulensi dan gelombang air laut akan turut memperbesar kemampuan air laut untuk menyerap karbondioksida dari udara (ZOTTOLI 1978).



Gambar 2. Hubungan antara pH dengan persentase CO_2 terlarut (—), bikarbonat (---) dan karbonat (++++) dalam air (BEER 1983).

FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPE- NGARUHI KELARUTAN CO₂ DALAM AIR LAUT

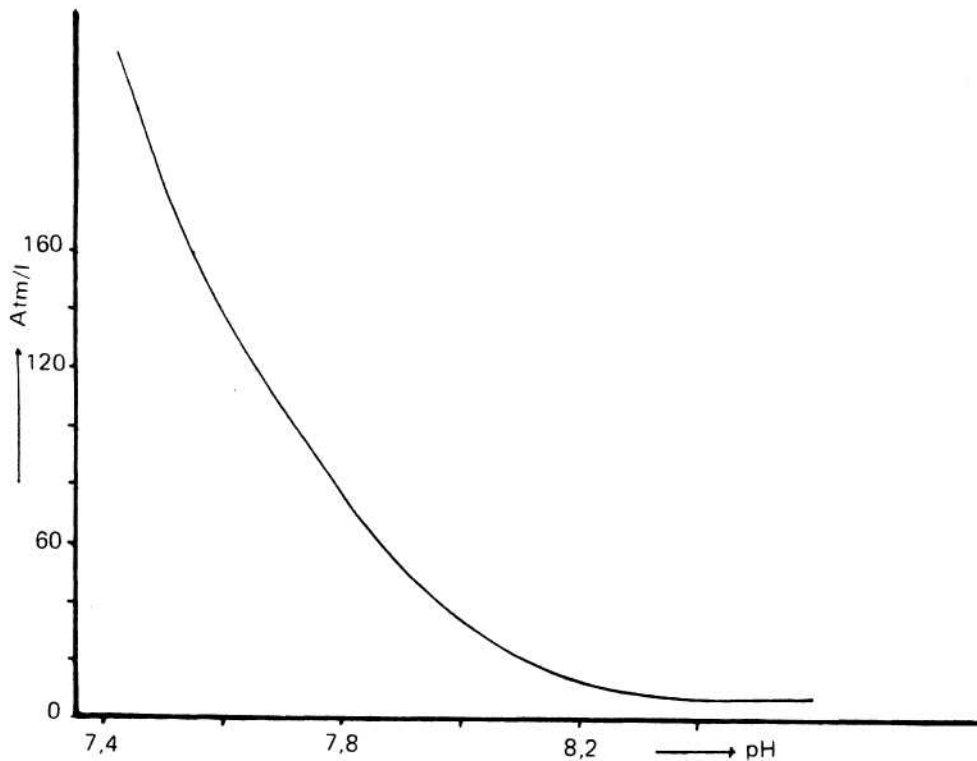
Seperti gas-gas lainnya, kelarutan CO₂ dalam air laut dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

1. Temperatur dan tekanan

Kelarutan CO₂ dalam air laut sangat tergantung pada temperatur air laut. Kenaikan temperatur akan menyebabkan gas CO₂ keluar dari air, sehingga kenaikan temperatur air akan menyebabkan kadar CO₂ semakin rendah. Karbon dioksida lebih mudah larut dalam air dingin, namun di Samudera Hindia kadar CO₂ semakin tinggi apabila temperatur air meningkat (HORNE 1969). Menurut KROOPNICK (1974) tingginya kadar CO₂ di perairan jeluk disebabkan

oleh banyaknya cangkang foraminifera dan organisme laut lainnya yang mengeluarkan karbonat. Di Samudera Atlantik kadar CO₂ terlarut pada lapisan permukaan 10% lebih tinggi dibandingkan dengan di lapisan dasar. Demikian juga di Samudera Pasifik kadar CO₂ pada lapisan permukaan sekitar 1,2 kali lebih tinggi dibandingkan dengan kadar CO₂ di lapisan dasar.

Pengaruh tekanan terhadap CO₂ dapat digambarkan sebagai berikut: Bila sejumlah tertentu air laut dikocok dengan gelembung-gelembung gas mulia selama 5 - 10 menit, maka CO₂ akan masuk ke dalam gelembung gas mulia sehingga menimbulkan tekanan partial CO₂ yang sebanding dengan tekanan partial yang ditimbulkan oleh air. Tekanan partial yang ditimbulkan oleh air laut ini akan semakin tinggi dengan semakin rendahnya pH air laut (Gambar 3).



Gambar 3. Hubungan antara tekanan partial CO₂ yang ditimbulkan oleh air laut dengan pH (ZOTTOLI 1978).

Tekanan partial CO_2 dalam air laut dapat ditentukan berdasarkan kadar CO_2 dalam air laut yang berasal dari udara. Hubungan antara tekanan partial CO_2 dan kadar CO_2 dalam air laut dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$P_{\text{CO}_2} = (\text{CO}_2) \times P_T$$

$$P_{\text{CO}_2} = \text{tekanan partial } \text{CO}_2$$

$$(\text{CO}_2) = \text{kadar } \text{CO}_2 \text{ di udara.}$$

$$P_T = \text{tekanan atmosfer total.}$$

Tekanan partial CO_2 juga berhubungan dengan beberapa parameter fisika, yaitu berbanding terbalik dengan kecepatan angin dan temperatur air laut, dan berbanding lurus dengan temperatur sedimen.

b. Kandungan garam dalam air laut

Dalam air laut, CO_2 yang terlarut akan bereaksi dengan kalsium membentuk CaCO_3 . Garam karbonat yang terbentuk ini merupakan komponen penyangga yang penting untuk mencegah perubahan pH air laut di samping berfungsi sebagai faktor pengontrol

pengendapan dan kelarutan kalsium (poli, meta) fosfat. Tinggi rendahnya kadar CO_2 bebas akan mempengaruhi kandungan Ca, dan seterusnya akan mempengaruhi kadar orto-fosfat dalam suatu perairan. Hal ini berkaitan erat dengan kandungan orto fosfat dalam perairan tersebut, karena kandungan kalsium yang berlebih dapat menyebabkan timbulnya endapan Ca fosfat. Endapan poli atau meta fosfat yang terbentuk dapat berubah kembali menjadi orto fosfat apabila keseimbangan antara kandungan Ca yang terlarut dan yang mengendap terganggu. Salah satu faktor yang dapat mengganggu keseimbangan ini adalah tingginya kadar CO_2 bebas. Oleh karena senyawa fosfat anorganik yang terdapat dalam air laut sebagian besar terdapat sebagai senyawa orto fosfat, maka kandungan kalsium (Ca) dalam air laut dapat dijadikan sebagai petunjuk tentang kesuburan suatu perairan. Menurut JOHNSON (dalam WARDOYO 1982), perairan yang mengandung kadar Ca = 2,5 ppm adalah suatu perairan yang tidak subur, sedangkan yang mengandung kadar Ca > 25 ppm adalah suatu perairan yang subur (Tabel 2).

Tabel 2. Klasifikasi kualitas air berdasarkan kandungan ion kalsium (Ca) (JOHNSON dalam WARDOYO 1982).

Ca (ppm)	CaCO_3 eq (ppm)	Tingkat kesuburan
2,5	6,25	tidak subur
2,5 - 9,9	6,25 - 24,90	kurang subur
10,0 - 25,0	25,0 - 62,50	sedang
> 25	> 62,5	subur

c. Derajat keasaman (pH)

Menurut HARVEY (1974) apabila CO₂ dikeluarkan dari air laut, misalnya dalam proses fotosintesis tanaman atau dengan memasukkan udara bebas kedalamnya maka derajat keasaman (pH) akan bertambah, tekanan partial berkurang dan ion bikarbonat akan berubah menjadi ion karbonat.

d. Lapisan minyak

Karbon dioksida yang terdapat dalam air laut umumnya berasal dari udara melalui proses difusi, dan dari proses respirasi makro-organisme serta dari hasil penguraian zat-zat organik oleh mikro-organisme. Proses difusi tersebut akan terganggu apabila terdapat sejumlah lapisan minyak yang menutupi permukaan air laut, akibatnya kadar CO₂ dalam air laut akan berkurang.

e. Gelombang/turbulensi

Karbon dioksida yang berasal dari atmosfer dapat larut dalam air laut sebagai hasil interaksi terhadap permukaan air laut. Proses pelarutan CO₂ dalam air laut ini semakin mudah dengan adanya gelombang atau turbulensi.

f. Kandungan fitoplankton

Pengaruh fitoplankton terhadap kadar CO₂ dalam air laut adalah adanya proses respirasi dan fotosintesis. Pada saat siang hari (ada sinar matahari), seluruh fitoplankton akan melakukan proses fotosintesis. Dalam proses fotosintesis ini CO₂ akan diserap oleh fitoplankton, sehingga proses ini akan menurunkan kadar CO₂ dalam air laut. Sedangkan pada saat malam hari (tidak ada sinar matahari), terjadi proses respirasi yaitu fitoplankton akan mengeluarkan CO₂ dan memasukkannya ke dalam air laut. Adanya proses respirasi ini akan menaikkan kadar CO₂ dalam air laut. Karbon dioksida yang

dihasilkan dalam proses respirasi ini akan bereaksi dengan air laut menghasilkan H₂CO₃ yang bersifat asam. Hal ini akan menyebabkan pH air laut menjadi turun.

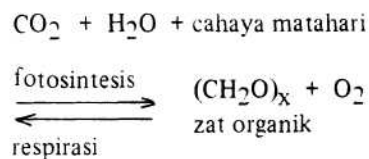
MANFAAT DAN TOKSISITAS KARBON DIOKSIDA

Sebagaimana halnya gas oksigen, maka gas CO₂ juga merupakan senyawa kimia penunjang utama kehidupan. Karbon dioksida dalam air laut antara lain dipergunakan dalam proses fotosintesis dan pembentukan kulit binatang laut (Gambar 4.).

Di dalam air laut, CO₂ bereaksi dengan molekul air menjadi asam karbonat dengan memberi ion hidrogen kepada air sehingga air bersifat asam. Reaksinya adalah sebagai berikut :

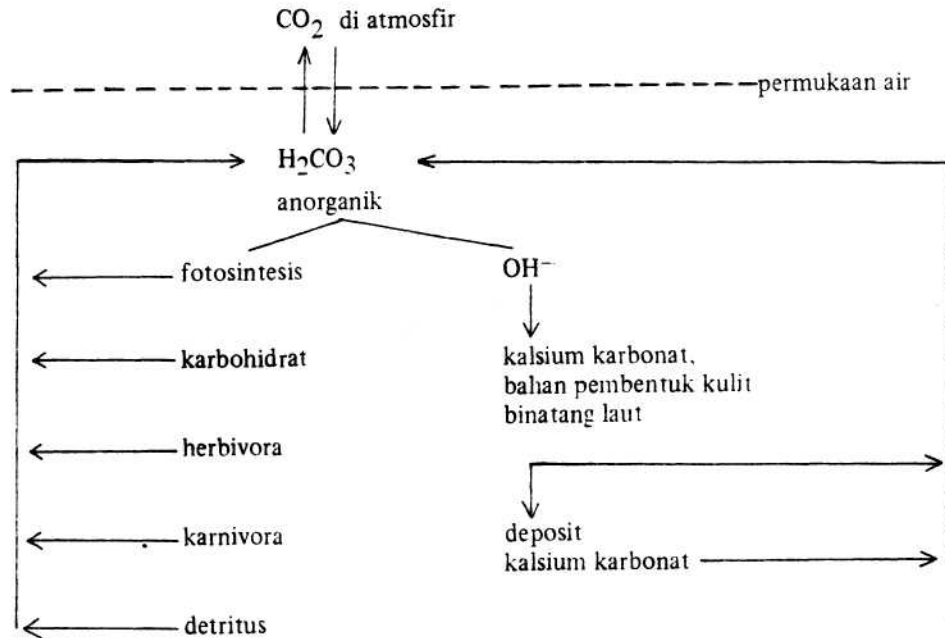


Pada pagi hari terjadi proses fotosintesis, dalam proses ini tumbuh-tumbuhan mengambil CO₂ dari dalam air laut dan menggantikannya dengan oksigen.



Sebaliknya pada waktu malam hari terjadi proses respirasi yang akan menghasilkan CO₂. Hal inilah yang mengakibatkan nilai pH air laut pada malam hari lebih rendah dibandingkan dengan siang hari. Dengan demikian dapat diperkirakan bagaimana tingginya kadar CO₂ dalam suatu perairan yang banyak ditumbuhi oleh rumput laut.

Gas CO₂ sebenarnya tidak beracun bagi organisme perairan, namun pada kadar tertentu dapat mengganggu sistem pernafasan pada manusia dan hewan yang dapat



Gambar 4. Siklus biologis karbon dioksida dalam air laut (MINTARDJO *et al.* 1985).

mengakibatkan mati lemas karena kekurangan oksigen (HESLOP 1960). Dalam keadaan tertentu, misalnya perairan yang tercemar oleh bahan-bahan organik maka kadar CO_2 bebas menjadi tinggi sehingga dapat bersifat racun terhadap ikan dan organisme laut lainnya. Keracunan ini terjadi karena CO_2 bereaksi dengan haemoglobin, sehingga organisme mengalami sesak nafas dan akhirnya mati lemas. Menurut WARDOYO (1982) kadar CO_2 bebas yang lebih tinggi dari 15 ppm akan mengganggu kehidupan ikan. Sedangkan pada manusia kadar CO_2 bebas sebesar 30 ppm akan menyebabkan sulit bernafas, dan pada kadar lebih tinggi dari 30 ppm akan menyebabkan kematian.

Tingginya kadar CO_2 dalam suatu perairan merupakan indikasi adanya kegiatan biologis, sedangkan tingginya kadar ok-

sigen terlarut merupakan indikasi bersihnya suatu perairan. Akan tetapi keadaannya tidak selalu demikian karena organisme tertentu dapat mengeluarkan oksigen.

PERAN KARBON DIOKSIDA DALAM PROSES FOTOSINTESIS DAN PENGARUHNYA TERHADAP IKLIM

Karbon dioksida yang diserap oleh lautan sebagian besar dipergunakan oleh tumbuh-tumbuhan air dalam proses fotosintesis, sisanya diendapkan sebagai garam karbonat atau tetap terlarut sebagai CO_2 bebas dalam air laut. Adanya karbon dioksida dalam proses ini merupakan persyaratan mutlak. Dalam reaksi fotosintesis nampak bahwa proses ini menguras CO_2 dari air dan menggan-

tikannya dengan oksigen. Dengan demikian karbon dioksida dalam air berkurang sedangkan oksigen bertambah.

Kadar CO₂ dalam air laut dan intensitas cahaya matahari merupakan dua unsur penting yang sangat mempengaruhi kecepatan proses fotosintesis. Apabila intensitas cahaya matahari rendah (seperti di daerah kutub), maka cahaya matahari merupakan unsur utama yang menentukan tingkat fotosintesis. Sebaliknya apabila intensitas cahaya matahari tinggi (seperti di daerah khatulistiwa) maka kadar CO₂ yang paling menentukan tingkat fotosintesis.

Secara fisis CO₂ berperan penting terhadap kestabilan biosfir, karena CO₂ membentuk selimut isolasi di sekeliling bumi walaupun kadarnya rendah. Penambahan kadar CO₂ di atmosfer dapat merubah suhu menjadi lebih tinggi sehingga iklim berubah, dan akhirnya dapat berpengaruh terhadap makhluk hidup. Pancaran sinar infra merah dekat yang berasal dari sinar matahari adalah merupakan pancaran panas yang setelah sampai ke permukaan bumi diserap oleh tanah dan benda-benda yang ada di permukaannya. Tanah dan benda-benda lain yang kena panas selanjutnya memancarkan kembali panas yang telah diserapnya ini sebagai radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang. Radiasi hasil pengembalian ini diserap oleh CO₂ dan uap air yang ada di atmosfer sehingga menambah panas yang sudah ada. Apabila kadar CO₂ yang berlebih ini merata di seluruh permukaan bumi maka temperatur udara rata-rata di seluruh permukaan bumi akan naik, akibatnya salju di kutub utara dan di puncak-puncak pegunungan akan mencair sehingga air laut menjadi naik.

METODE PENENTUAN KADAR CO₂ DALAM AIR LAUT

Kadar CO₂ dalam air laut perlu ditentukan karena ada kaitannya dengan kehidup-

am biota laut. Selain itu juga berhubungan dengan pencemaran, karena tinggi rendahnya kadar CO₂ dalam suatu perairan berhubungan erat dengan jumlah limbah organik dalam perairan tersebut. Kadar CO₂ total dalam air laut dapat ditentukan dengan mudah, apabila nilai-nilai salinitas, suhu dan derajat keasaman (pH) telah diketahui.

Yang dimaksud dengan kandungan CO₂ total dalam air laut adalah kadar rata-rata semua bentuk CO₂ dan semua jenis karbon dalam air laut yang bereaksi dengan asam membentuk CO₂. Menurut PARSONS (1984) metode penentuan kadar CO₂ total adalah berdasarkan pengukuran pH air laut sebelum dan sesudah penambahan larutan asam klorida 0,01 N. Penambahan asam ini dimaksudkan untuk mengumpulkan asam-asam lemah dalam air laut yang anionnya telah berikatan dengan kation. Selanjutnya dapat dihitung kadar CO₂ total setelah dihitung alkalinitas total dan alkalinitas karbonatnya berdasarkan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Karbon dioksida total} = \text{alkalinitas karbonat} \times F_T$$

$$\text{Alkalinitas karbonat} = \text{alkalinitas total} - A$$

$$\text{Alkalinitas total} = 2,5 - 1250 \frac{a_H}{f}$$

A = faktor koreksi untuk asam borat, dihitung dari tabel antara salinitas, pH dan temperatur.

a_H = aktivitas ion hidrogen, nilainya 10^{-pH}

f = faktor untuk penentuan alkalinitas total, merupakan fungsi klorinitas atau salinitas.

F_T = faktor koreksi berdasarkan harga-harga konstanta kesetimbangan (K₁ dan K₂) yang sudah tertentu besarnya (dalam tabel).

Metode penentuan kadar CO₂ total dengan cara menghitung pH adalah merupa-

kan cara tidak langsung, metode lainnya adalah secara langsung yaitu dengan memakai spektrofotometer infra merah.

Cara pengambilan dan pengawetan contoh air laut

Di perairan dangkal, pengambilan contoh air permukaan dilakukan dengan memakai alat dari pipa plastik yang dilengkapi dengan keran penutup (pipa "tygon"). Contoh air laut yang diperoleh harus segera dipindahkan dari pipa "tygon" ke dalam botol gelas melalui selang karet atau plastik. Pemandahan contoh air ini harus dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak ada gelembung-gelembung udara dalam botol gelas. Bila contoh air tidak segera dianalisis, ke dalam contoh air harus ditambahkan HgCl_2 sebanyak 100 mg/l sebagai pengawet, kemudian tutup botol dilapisi dengan Apiezon L dan setelah ditutup dibungkus dengan parafilm untuk menghindari terjadinya kebocoran. Botol berisi contoh air laut ini harus segera disimpan dalam suatu tempat yang mempunyai temperatur 4°C dan terlindung dari cahaya matahari. Contoh air laut yang telah diawetkan ini dapat disimpan selama 1 - 2 bulan.

Di perairan jeluk contoh air laut diambil dengan memakai tabung Nansen. Cara pengawetan dan penyimpanannya adalah sama dengan yang dilakukan pada contoh air yang berasal dari perairan dangkal.

METODE PENENTUAN KADAR CO_2 BEBAS DALAM AIR TAMBAK

Kadar CO_2 bebas dalam air tambak ditentukan berdasarkan teori bahwa CO_2 hanya terdapat dalam air apabila pH air maksimum 8,3. Dalam hal ini contoh air laut ditetesi indikator fenolftalin, jika warna air berubah menjadi merah muda, ini berarti

pH air lebih tinggi dari 8,3 sehingga tidak terdapat CO_2 bebas. Sedangkan jika contoh air tetap tidak berwarna, berarti terdapat CO_2 bebas dalam contoh air tersebut. Selanjutnya contoh air segera dititrasi dengan larutan Na_2CO_3 atau NaOH sampai berwarna merah muda. Banyaknya Na_2CO_3 atau NaOH yang terpakai dalam titrasi menunjukkan banyaknya CO_2 bebas dalam contoh air tersebut (MINTARDJO *et al.* 1985).

Kandungan CO_2 bebas dalam air tambak jarang terukur. Hal ini mungkin karena kandungan fitoplankton dalam air tambak cukup tinggi sehingga CO_2 yang ada terpakai dalam proses fotosintesis.

DAFTAR PUSTAKA

- BEER, T. 1983. *Environmental oceanography, an introduction to the behavior of coastal water*. Pergamon Press, New York : 93 pp.
- HARVEY, H.W. 1974. *The chemistry and fertility of sea waters*. Cambridge University Press, New York : 112 pp.
- HESLOP, R.B. and P.L. ROBINSON 1960 *Inorganic chemistry*. Elsevier Publishing Company, New York : 287 pp.
- HORNE, R.A. 1969. *Marine chemistry, the structure of water and the chemistry of hydrosphere*. John Willey & Sons. New York: 212 pp.
- KROOPNICK, P. 1974. The dissolved O_2 - CO_2 system in the eastern equatorial Pacific. *Deep Sea Research* 21 : 211-214.
- MASRUN, R.S. 1980 *Kimia Lingkungan*. UNPAD, Bandung : 25 hal.
- MINTARDJO, K.; A. SUNARYANTO; UTA-MININGSIH dan HERMIYANINGSIH 1985. Persyaratan tanah dan air. *Dalam: Pedoman budidaya tambak*. Direktorat Jenderal Perikanan Departemen Pertanian, Balai Budidaya Air Payau, Jepara: 85-86.

- PARSONS, T.R.; Y. MAITA and CM. LAILI
1984. *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon Press. New York : 142-149 pp
- WARDOYO, S.T.H 1982. Methods for chemical analysis. *Dalam* : Review on water analysis manual. Faculty of Fisheries, Bogor Agricultural University: 27 pp.
- ZOTTOLI, R. 1978 *Introduction to marine environments*. The C.V. Mosby Company, New York : 20 pp.