

RESPON FITOPLANKTON TERHADAP PENINGKATAN KONSENTRASI KARBONDIOKSIDA UDARA

Tjandra Chrismadha*, Yayah Mardiaty** & Deni Hadiansyah**

ABSTRACT

*This research aims to study the potential of tropical planktonic microalgae isolated from water around Bogor for atmospheric CO₂ bioremedial agent. The experiment was carried out by means of laboratory scale batch monoculture of phytoplankton *Chlorella vulgaris* and *Ankistrodesmus convolutus* grown based on PHM medium in transparent plastic bottles with variation of atmospheric CO₂ concentration from ambient natural atmospheric concentration (0.05% v/v) up to 10.00% v/v by means of daily pure CO₂ gas addition. The result shows that increase in atmospheric CO₂ up to 1.00% v/v stimulated the productivity of these two phytoplanktons, in which the highest biomass yields was achieved at CO₂ concentration of 10.00% v/v. In that highest biomass yield condition the CO₂ absorption rate was 1.91 g CO₂/l/day in *C vulgaris* culture and 3.41 g CO₂/l/day in *A convolutus* culture. The decrease in biomass/chlorophyll ratio with CO₂ concentration indicated the excessive chlorophyll synthesis in phytoplanktons in respond to high CO₂ concentration which emphasizes the importance of high light intensity to stimulate CO₂ absorption as well as to increase the productivity in phytoplankton cultures.*

Key words: Phytoplankton, atmospheric CO₂, productivity.

ABSTRAK

*Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi mikroalga tropis yang diisolasi dari perairan sekitar Bogor sebagai agen penyerap karbondioksida di udara. Penelitian dilakukan melalui metode uji coba skala laboratorium menggunakan monokultur fitoplankton jenis *Chlorella vulgaris* dan *Ankistrodesmus convolutus* yang ditumbuhkan dalam media PHM secara batch culture dalam botol-botol plastik transparan dengan konsentrasi karbondioksida udara divariasikan antara konsentrasi dalam udara normal (0,05% v/v) hingga 10,00% v/v dengan penambahan gas karbondioksida murni setiap hari. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa kenaikan konsentrasi karbondioksida hingga 10,00% v/v menstimulasi tingkat produktivitas kedua jenis fitoplankton, dimana produktivitas biomassa tertinggi dicapai pada konsentrasi CO₂ 10,00% v/v. Pada tingkat produktivitas tertinggi tersebut daya serap kultur terhadap CO₂ di udara adalah 1,91 CO₂/l/hari pada kultur *C vulgaris* dan 3,41 g CO₂/l/hari pada kultur *A convolutus*. Rasio biomassa/klorofil yang cenderung menurun sejalan dengan peningkatan konsentrasi CO₂ di udara merupakan indikasi terjadinya sintesa klorofil yang berlebihan, serta menunjukkan pentingnya kondisi intensitas cahaya tinggi untuk menstimulasi laju penyerapan CO₂ konsentrasi tinggi dan meningkatkan laju produktivitas kultur fitoplankton.*

Kata kunci: Fitoplankton, CO₂, produktivitas

PENDAHULUAN

Saat ini terjadi peningkatan karbondioksida di atmosfer bumi akibat berbagai kegiatan manusia. Diperkirakan peningkatan CO₂ atmosfer tersebut mencapai 3 milyar ton pertahunnya terutama akibat penggunaan bahan bakar fosil dan deforestasi. Berbagai laporan menyebutkan peningkatan konsentrasi CO₂ atmosfer dari

sekitar 280 ppm menjadi 368 ppm selama 200 tahun terakhir (Karube *et al.*, 1992). Peningkatan konsentrasi CO₂ di udara ini telah memberikan kontribusi hingga 50% terhadap meningkatnya temperatur global yang dikenal sebagai efek rumah kaca. Pemanasan global menyebabkan terjadinya peningkatan paras muka laut serta berbagai gejala anomali iklim yang menyebabkan bencana banjir dan kekeringan.

* Staf Peneliti Puslit Limnologi-LIPI

** Teknisi Litkayasa Puslit Limnologi-LIPI

Mengingat dampak yang ditimbulkannya, dipandang perlu untuk melakukan langkah-langkah strategis untuk mengurangi konsentrasi gas CO₂ di atmosfer.

Fitoplankton pada umumnya memiliki karakteristik fotosintesis yang lebih efisien dibanding dengan berbagai tumbuhan terestrial dan telah disarankan menjadi salah satu alternatif upaya pengurangan emisi karbondioksida ke atmosfer (Miyachi, 1997; Pedroni, *et al.*, 2004). Penelitian-penelitian untuk menggunakan mikroalga sebagai penyerap karbondioksida telah dilakukan di berbagai negara, khususnya dalam upaya adaptasi dan seleksi jenis yang toleran terhadap kandungan karbondioksida tinggi serta tingkat penyerapan karbondioksida yang tinggi juga. Miyachi (1997) misalnya melaporkan jenis mikroalga *Chlorococcum littorale* yang dapat tumbuh baik pada konsentrasi CO₂ di atas 20%. Sementara Chang & Yang (2003) melaporkan strain *Chlorella sp.* NTU-H15 dan *Chlorella Sp.* NTU-H25 yang mampu tumbuh pada aerasi yang mengandung CO₂ di atas 40% dimana pH kultur turun hingga nilai 4. Kultur *Spirulina* juga telah digunakan dalam upaya pengendalian emisi CO₂ dari generator pembangkit listrik berbahan bakar diesel (Pedroni, *et al.* 2004).

Beberapa permasalahan yang menghambat penggunaan fitoplankton dalam upaya pengendalian emisi CO₂ adalah turunya nilai pH kultur pada konsentrasi CO₂ tinggi, suhu buangan gas CO₂ yang relatif tinggi, serta adanya gas ikutan NO_x dan SO_x (Miyachi, 1997; Chang & Yang, 2003) yang kesemuanya menghambat pertumbuhan fitoplankton, sehingga diperlukan seleksi strain fitoplankton yang bersifat toleran terhadap permasalahan tersebut.

Upaya penggunaan mikroalga untuk mitigasi peningkatan CO₂ atmosfer di Indonesia belum pernah dilakukan. Pada penelitian ini dikaji potensi mikroalga tropis yang diisolasi dari perairan sekitar Bogor sebagai agen penyerap karbondioksida di udara. Sebagai tahap awal telah dilakukan uji coba

untuk mengamati respon dua jenis mikroalga, yaitu *Chlorella vulgaris* dan *Ankistrodesmus convolutus* terhadap konsentrasi CO₂ tinggi di udara.

METODE

Penelitian dilakukan melalui metode uji coba skala laboratorium menggunakan monokultur fitoplankton jenis *Chlorella vulgaris* dan *Ankistrodesmus convolutus* yang ditumbuhkan dalam media PHM (Borowitzka, 1988) secara *batch culture* dalam botol-botol plastik transparan tertutup volume 680 ml, sementara volume kultur fitoplanktonnya adalah 180 ml dengan kepadatan awal diatur sekitar 3 juta sel/ml. Botol-botol tersebut ditempatkan dalam suatu konstruksi berputar agar teraduk sempurna dan diberi pencahayaan secara kontinu dari sumber cahaya berupa lampu TL 3 x 40 watt di salah satu sisinya. Karena keterbatasan kapasitas konstruksi berputar, percobaan dilakukan dalam tiga tahap. Tahap pertama percobaan digunakan kultur *C vulgaris* dengan perlakuan variasi konsentrasi CO₂ udara di dalam botol yang relatif rendah, yaitu konsentrasi CO₂ udara normal (0,05% v/v), 0,50% v/v, 1,00% v/v, dan 2,00% v/v, masing-masing dengan dua kali ulangan. Karena pola respon laju tumbuh masih terlihat linear, maka dilakukan percobaan tahap kedua dengan jenis alga yang sama namun rentang konsentrasi CO₂ lebih tinggi, yaitu 0,05% v/v, 2,00% v/v, 5,00% v/v, dan 10,00% v/v. Variasi konsentrasi CO₂ didapat dengan menambahkan gas CO₂ murni (*grade* teknis) kedalam botol kultur setiap hari. Volume CO₂ yang ditambahkan untuk mencapai persentase gas CO₂ yang diperlukan berdasar hitungan volume udara di dalam botol sebanyak 500 ml. Sebagai contoh untuk mendapatkan konsentrasi CO₂ 5,00% v/v dimasukan gas CO₂ murni sebanyak 25 ml. Penambahan gas CO₂ dilakukan dengan menyedot gas CO₂ murni yang dihembuskan kedalam botol erlemeyer 500 ml menggunakan *syringe* volume 5 - 50 ml

dan menghembuskannya kedalam botol kultur percobaan.

Percobaan tahap ketiga dilakukan pada kultur jenis *A convolutus* dengan perlakuan sama seperti pada percobaan tahap kedua.

Parameter respon yang diamati adalah pertumbuhan kultur, produktivitas biomassa, serta kandungan klorofil. Pertumbuhan kultur diamati melalui parameter kepadatan sel yang dihitung setiap tiga hari dengan menggunakan haemocytometer di bawah mikroskop. Pengamatan dilakukan selama sembilan hari masa inkubasi untuk mendapatkan kondisi tumbuh eksponensial, dimana faktor-faktor tumbuh masih dapat dianggap ideal, sehingga pertumbuhan mikroalga benar-benar dipengaruhi oleh variasi konsentrasi CO₂. Berdasar data kepadatan sel selanjutnya dihitung laju tumbuh kultur menurut persamaan sebagai berikut:

$$\mu = \frac{\ln(X_t/X_0)}{t}$$

dimana μ adalah laju tumbuh (pembelahan sel/hari), X_t kepadatan sel pada waktu t , X_0 adalah kepadatan sel awal, dan t adalah waktu (hari). Hasil perhitungan laju tumbuh percobaan tahap kesatu dan kedua digabungkan menjadi satu untuk lebih mempermudah evaluasi respon kultur *C vulgaris* terhadap perlakuan variasi konsentrasi CO₂ yang diberikan.

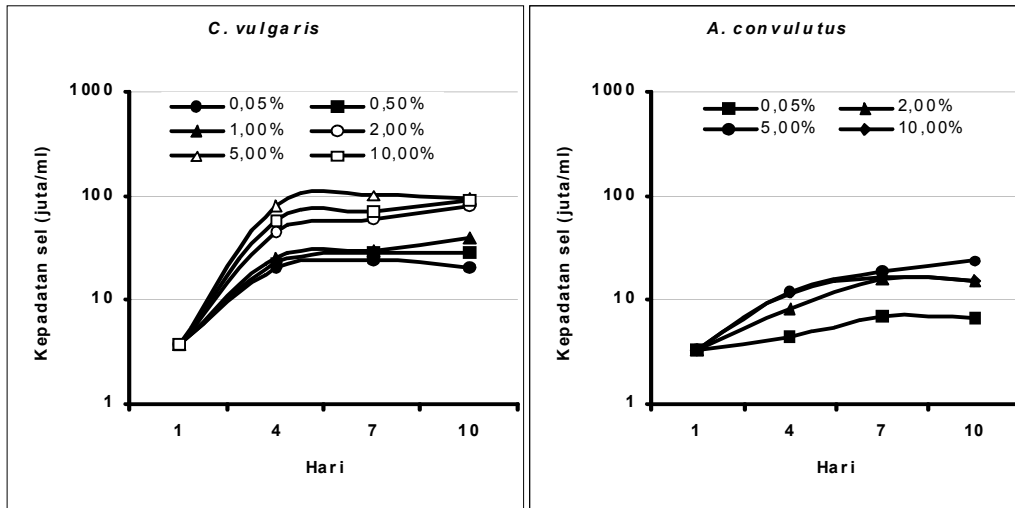
Produktivitas biomassa kultur diamati melalui parameter berat organik. Parameter tersebut diukur dengan menyaring 10 ml sampel melalui filter Whatman GF/A yang sebelumnya telah dipanaskan pada 600 °C selama satu jam. Filter selanjutnya dioven pada 100 °C selama 1 jam, disimpan dalam desikator dan ditimbang. Untuk menentukan berat organik filter kemudian diabukan pada suhu 600 °C selama satu jam, dan setelah disimpan dalam desikator selama 5 jam, filter tersebut ditimbang kembali. Berat organik alga didapat dengan

mengurangi berat filter setelah pemanasan 100 °C dengan beratnya setelah diabukan. Kandungan klorofil kultur ditentukan dengan metode ekstraksi dengan larutan 90% aseton (Jeffrey & Humprey 1975). Disamping itu, pH kultur juga diamati untuk melihat status ketersediaan CO₂ di dalam cairan media bagi sel-sel alga yang dikultur.

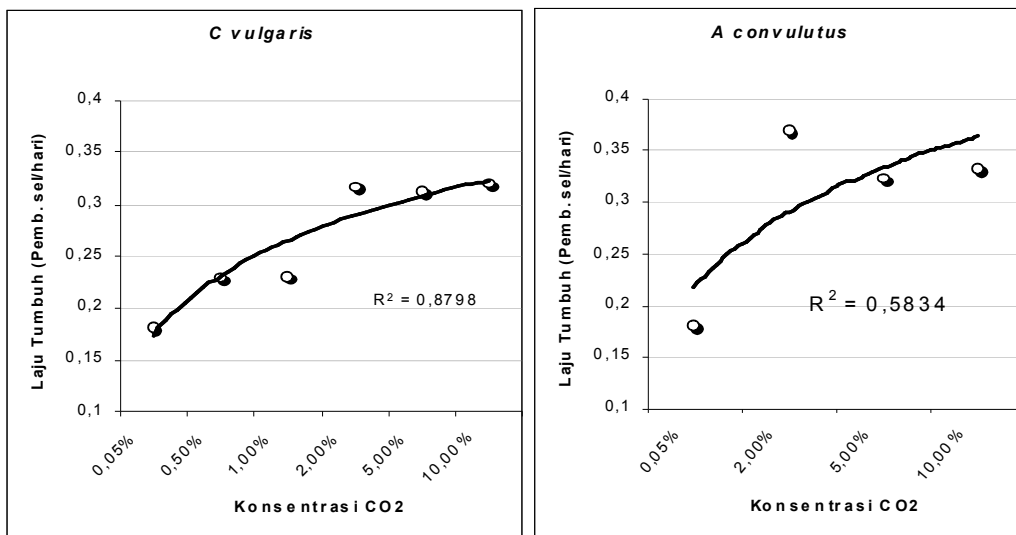
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kultur *C vulgaris* dan *A convolutus* menunjukkan pola respon tumbuh hiperbolik terhadap kenaikan konsentrasi CO₂ udara, dimana titik jenuhnya teramati pada konsentrasi CO₂ 5,00% v/v. Hal ini dapat dilihat dari capaian kepadatan kultur serta laju tumbuh kedua jenis alga tersebut. Kultur *C vulgaris* mencapai kepadatan tertinggi 102,00 juta sel/ml pada konsentrasi CO₂ udara 5,00% v/v, sementara pada konsentrasi CO₂ udara normal kepadatan sel maksimumnya hanya sekitar 24,03 juta sel/ml (Gambar 1). Sedangkan bila dilihat dari parameter laju tumbuh, kultur *C vulgaris* terlihat sangat responsif terhadap kenaikan konsentrasi CO₂ atmosfer hingga 2,00% v/v, dimana kenaikan laju tumbuh mencapai 74,58%. Namun respon tersebut melemah pada peningkatan konsentrasi CO₂ udara lebih lanjut. Pada konsentrasi CO₂ 5,00% v/v kenaikan laju tumbuh hanya mencapai 71,73%, sementara pada konsentrasi CO₂ 10,00% v/v kenaikan laju tumbuh mencapai 76,55% (Gambar 2).

Pola yang hampir sama didapat pada kultur *A convolutus* meskipun tingkat responnya relatif berbeda. Kepadatan sel maksimum kultur *A convolutus* tercapai pada konsentrasi CO₂ 5,00% v/v, yaitu sebesar 23,75 juta sel/ml, dan turun menjadi 16,50 juta sel/ml pada konsentrasi CO₂ 10,00% v/v. Akan tetapi kenaikan laju tumbuh pada kultur *A convolutus* lebih tinggi dibanding dengan pada kultur *C vulgaris*, yaitu mencapai 105,28% pada konsentrasi CO₂ 2,00%.



Gambar 1. Pertumbuhan Kultur Fitoplankton pada Konsentrasi CO₂ Udara yang Berbeda

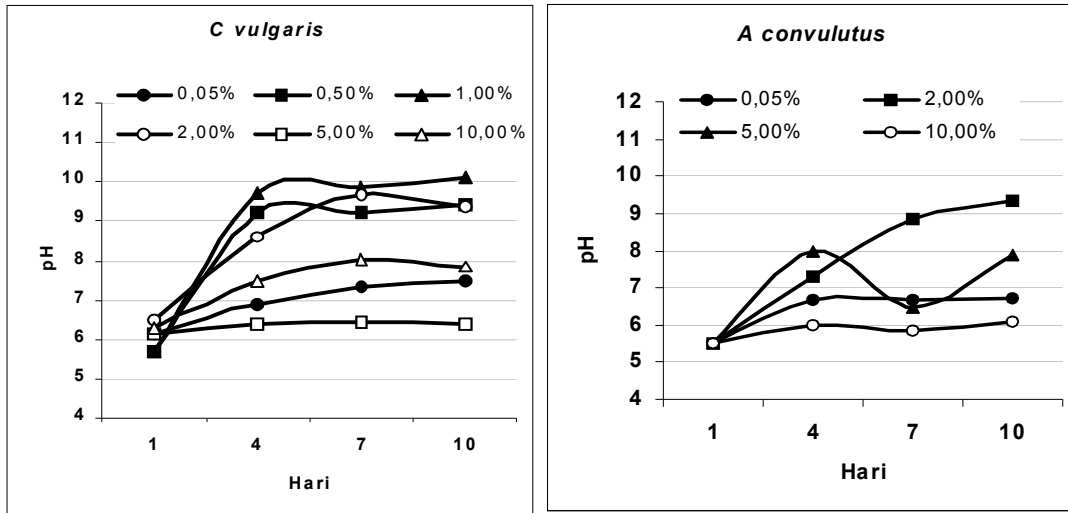


Gambar 2. Respon Laju Tumbuh Kultur Fitoplankton terhadap Variasi Konsentrasi CO₂ Udara

Hasil ini konsisten dengan pola umum respon fitoplankton terhadap faktor tumbuh yang bersifat sumberdaya (*resource factors*) yang cenderung membentuk kurva hiperbolik (Goldman, 1979). Sejalan dengan hasil ini Burkhardt *et al.* (1999) juga telah melaporkan variasi respon dari 7 jenis alga laut terhadap konsentrasi CO₂ yang diberikan melalui udara aerasi.

Gambar 3 memperlihatkan perkembangan pH kultur selama masa percobaan.

Pada kultur mikroalga nilai pH kultur sangat berkaitan dengan kesetimbangan karbon dalam media, yaitu antara gas CO₂ terlarut dengan ion-ion karbonat dan kondisi alkalinitas medianya. Proses fotosintesis mengkonsumsi senyawa CO₂ terlarut dan menggeser kesetimbangan karbon ke arah ion-ion karbonatnya. Karena itu pH kultur pada umumnya meningkat sejalan dengan pertumbuhan kultur tersebut.



Gambar 3. Perkembangan pH Kultur Fitoplankton pada Konsentrasi CO₂ Udara yang Berbeda.

Pada percobaan ini, kenaikan pH kultur yang tajam, mencapai >9 teramati pada kultur *C. vulgaris* yang diberi udara dengan konsentrasi CO₂ 0,50% v/v, 1,00% v/v, dan 2,00% v/v, sementara pada perlakuan konsentrasi CO₂ lainnya meskipun masih terlihat kecenderungan kenaikan pH, namun tidak pernah melebihi angka delapan. Pada kultur *A. convolutus* kenaikan pH hingga >9 hanya terjadi pada kultur dengan konsentrasi CO₂ 2,00% v/v. Hasil ini menunjukkan bahwa perkembangan pH kultur pada kedua jenis mikroalga tersebut merupakan hasil kesetimbangan dari suplai CO₂ dari udara kedalam media kultur dan laju penyerapan CO₂ terlarut oleh sel-sel alga melalui proses fotosintesisnya. Seperti telah dikemukakan di atas, titik jenuh konsentrasi CO₂ dalam udara untuk pertumbuhan kultur fitoplankton berkisar antara 2,00% – 5,00% v/v. Hal ini berarti bahwa di atas titik jenuh tersebut penambahan CO₂ sudah melampaui kemampuan sel-sel fitoplankton untuk menyerapnya, sehingga CO₂ terlarut masih tersedia melimpah dan kesetimbangan ion karbon tidak bergeser ke arah ion karbonatnya. Hal inilah yang menyebabkan pada konsentrasi CO₂ tinggi pH kultur relatif lebih stabil. Laju penyerapan CO₂ oleh sel-sel alga diduga tersti-

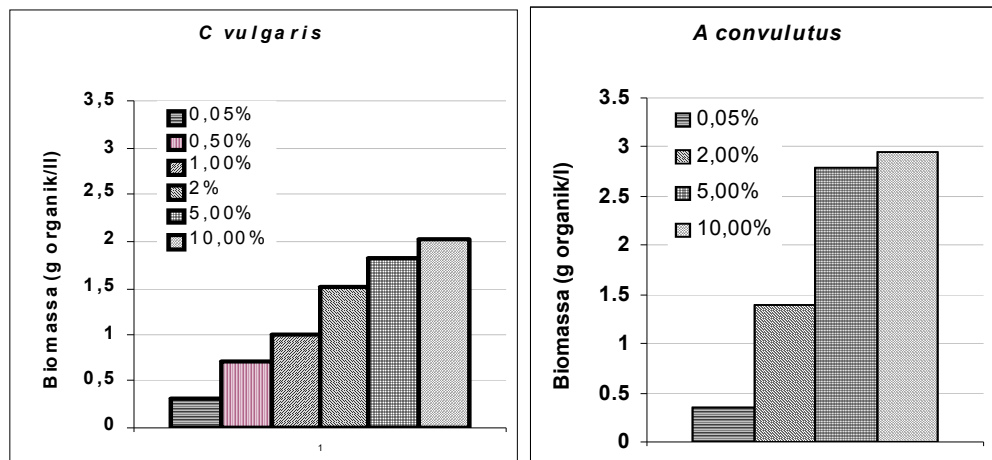
mulasi oleh peningkatan kandungan CO₂ dalam media, sehingga pada kultur tanpa penambahan CO₂ laju penyerapan CO₂-nya rendah dan akibatnya pH kultur meskipun tampak meningkat, namun tidak pernah melampaui nilai delapan.

Kandungan CO₂ dalam udara juga mempengaruhi capaian konsentrasi biomassa kultur fitoplankton (Gambar 4) dengan pola respon kurva hiperbolik. Capaian konsentrasi biomassa tertinggi terjadi pada konsentrasi CO₂ 10,00% v/v, yaitu 2,05 g/l pada kultur *C. vulgaris* dan 2,95 g/l pada kultur *A. convolutus*. Capaian konsentrasi biomassa tersebut setara dengan daya serap CO₂ dari udara sebesar 1,91 g CO₂/l/hari pada kultur *C. vulgaris* dan 3,41 g CO₂/l/hari pada kultur *A. convolutus*. Pengamatan di bawah mikroskop memperlihatkan bahwa ukuran sel-sel alga pada kultur dengan konsentrasi CO₂ tinggi cenderung lebih besar, sehingga meskipun capaian kepadatan selnya relatif lebih rendah pada konsentrasi CO₂ 10,00% v/v, namun timbangan biomasnya lebih tinggi. Hal ini mudah dipahami karena sel-sel alga dengan suplai karbon yang cukup mempunyai kesempatan untuk berkembang lebih maksimal dibanding dengan sel-sel alga dengan suplai karbon terbatas. Karena itu dilihat dari aspek

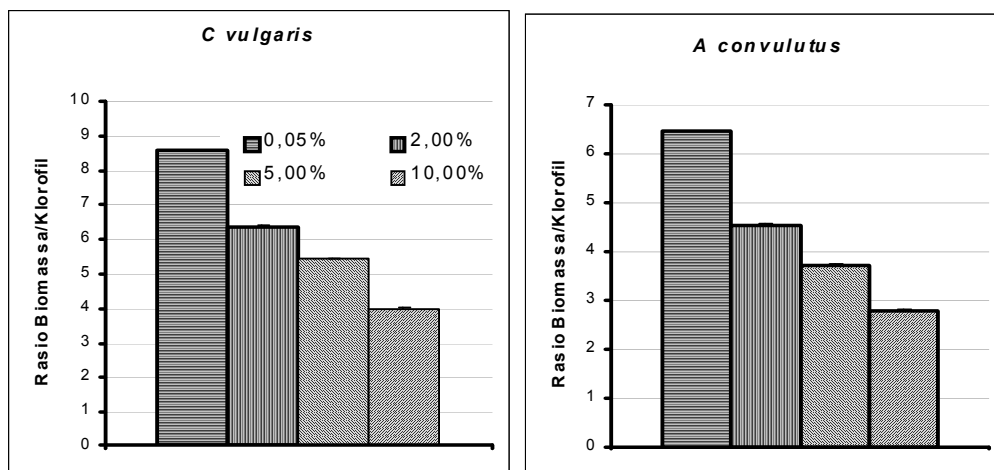
produktivitas biomassa konsentrasi CO₂ optimum untuk kultur fitoplankton adalah 10,00% v/v.

Hasil penelitian juga memperlihatkan terjadinya kenaikan konsentrasi klorofil kultur sejalan dengan kenaikan konsentrasi CO₂ di udara. Laju kenaikan konsentrasi klorofil ini lebih tinggi dibanding dengan laju kenaikan biomasanya, sehingga nilai persentasi klorofil terhadap biomassa pada konsentrasi CO₂ tinggi cenderung meningkat. Dengan demikian bila diperhatikan parameter rasio biomassa/klorofil, terlihat kecenderungan menurun sejalan dengan peningkatan konsentrasi CO₂ di udara (Gambar 5). Hal ini merupakan indikasi ter-

jadinya sintesa klorofil yang berlebihan pada kondisi konsentrasi CO₂ tinggi tersebut yang berpotensi untuk menurunkan tingkat efisiensi produksi kultur fitoplankton (Raven, 1984). Namun hal tersebut dapat juga merupakan komplikasi dari tingginya kepadatan kultur sehingga menghambat penetrasi cahaya kedalam kolom kultur yang selanjutnya menyebabkan kondisi kekurangan intensitas cahaya, sehingga proses fotosintesis tidak dapat berlangsung maksimal. Ini berarti bahwa untuk lebih memanfaatkan kandungan CO₂ tinggi di udara kultur fitoplankton perlu diberi suplai intensitas cahaya yang lebih besar.



Gambar 4. Capaian Biomassa Kultur Fitoplankton pada Konsentrasi CO₂ yang Berbeda



Gambar 5. Rasio Biomassa/klorofil Kultur Fitoplankton pada Konsentrasi CO₂ yang Berbeda

KESIMPULAN

1. Kenaikan konsentrasi karbondioksida hingga 10,00% v/v menstimulasi tingkat produktivitas kedua jenis fitoplankton yang diuji coba dengan pola respon tumbuh kurva hiperbolik.
2. Produktivitas biomassa tertinggi yang dicapai pada konsentrasi CO₂ optimum untuk kultur fitoplankton adalah 2,05 g/l pada kultur *C vulgaris* dan 2,95 g/l pada kultur *A convolutus*, setara dengan daya serap CO₂ dari udara sebesar 1,91 g CO₂/l/hari dan 3,41 g CO₂/l/hari. Nilai rasio biomassa/klorofil yang cenderung menurun sejalan dengan peningkatan konsentrasi CO₂ di udara merupakan indikasi terjadinya sintesa klorofil yang berlebihan. Hal ini menunjukkan pentingnya kondisi intensitas cahaya tinggi untuk menstimulasi laju penyerapan CO₂ konsentrasi tinggi di udara.

PUSTAKA

- Borowitzka, M.A., 1988, Algal growth media and sources of algal cultures, *In: Borowitzka, M.A & L.J. Borowitzka (Eds.) Microalgal Biotechnology*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 456 – 465.
- Burkhard, S., I. Zondervan & U. Riebesell, (1999), Effect of CO₂ concentration on C:N:P ratio in marine phytoplankton: A species comparisons, *Limnol. and Ocean.* 44 (3): 683 – 690.
- Chang, E-H. & S-S. Yang, 2003, Some characteristics of microalgae isolated in Taiwan for biofixation of carbon dioxide, *Bot. Bul. Ac. Sin.* 44: 43 – 52.
- Goldman, J.C., 1979, Outdoor Algal Mass Culture II. Photosynthetic Yield Limitations, *Wat. Res.*, 13: 119 – 136.
- Jeffrey, S.W. & G.F. Humphrey, (1975), New Spectrophotometric equation for determining chlorophyll a, b, c1, and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochim. Physiol. Pflanzen.* 1967: 191-194
- Karube, I, T. Takeuchi, & D.J. Barnes, 1992, Biotechnological reduction of CO₂ emission. *Adv. Biochem. Eng./Biotech.* 46: 63-79.
- Miyachi, S., 1997, Use of microalgae as a measure to counter increasing atmospheric CO₂ concentration, Abstract of the 2nd Asia Pacific Marine Biotechnology Conference and Algal Biotechnology, Phuket, Thailand, 7 – 10 May 1997, pp. 3-4.
- Pedroni, P., J. Davison, H. Beckert, P. Bergman & J. Benemann, 2004, A proposal to establish an international network on biofixation of CO₂ and greenhouse gas abatement with microalgae. *J. Ener. Env. Res.* 1(1): 1-20.
- Raven, J.A. 1984. A cost-benefit analysis of photon absorption by photosynthetic unicells. *New Phytologist.* 98: 593 – 62.