

Pertumbuhan dan Produktivitas Alga *Ankistrodesmus convolutus* pada Variasi Diameter Kolom Tumbuh

Tjandra Chrismadha, Nofdianto, Yayah Mardiaty,
Rosidah, dan Asih Kurniasih

Pusat Penelitian dan Pengembangan Limnologi-LIPI, Cibinong

ABSTRAK

Fotobioreaktor tubular dianggap sebagai alternatif pengembangan teknologi kultur alga satu sel yang potensial. Tujuan utama dari pengembangan fotobioreaktor tersebut adalah untuk meningkatkan distribusi radiasi cahaya terhadap permukaan sel-sel alga, sehingga sel-sel tersebut dapat memanfaatkan energi cahaya yang tersedia secara maksimal. Meskipun telah terbukti dapat meningkatkan laju tumbuh dan produktivitas kultur alga, desain tubular mempunyai keterbatasan pada volume kulturnya, terutama bila ditempatkan secara horizontal. Hal ini mengakibatkan kenaikan produktivitas yang dicapai kurang berarti bila dihitung pada unit permukaan lahan yang digunakan, sementara ongkos produksinya relatif tinggi. Karenanya berbagai penelitian masih harus dilakukan dalam upaya pengembangan fotobioreaktor tubular tersebut, yaitu di antaranya diameter kolom tumbuh optimum yang diduga merupakan karakter spesifik tiap jenis alga. Dalam makalah ini dilaporkan hasil percobaan awal pertumbuhan alga *A. convolutus* pada variasi diameter (5 cm, 10 cm, 15 cm, 30 cm) kolom tubular vertikal dengan ketinggian yang sama (40 cm). Pada sistem *batch* kultur terlihat korelasi negatif antara laju tumbuh dan produktivitas kultur dengan diameter kolom tumbuhnya. Penurunan kepadatan kultur maksimum pada hari ke-15 kultur dari $26,41 \pm 2,82$ juta sel/ml menjadi $3,17 \pm 1,28$ juta sel/ml terjadi dengan kenaikan diameter kolom tumbuh dari 5 cm menjadi 30 cm. Demikian juga penurunan kepadatan optik dari $3,72 \pm 0,06$ menjadi $0,48 \pm 0,02$, serta produktivitas biomassa dari 14,0 mg/l/hari menjadi 1,3 mg/l/hari juga terjadi sejalan dengan kenaikan diameter kolom tumbuh tersebut. Hasil ini memperlihatkan pentingnya memperhatikan faktor diameter kolom tumbuh dalam pengembangan fotobioreaktor tubular untuk kultur alga.

Kata kunci: Alga, *A. convolutus*, fotobioreaktor, pertumbuhan, produktivitas.

ABSTRACT

Tubular photobioreactor has been considered as a potential alternative in developing the technology for one-cell algae culture. The main objective of the photobioreactor development was to increase the distribution of light radiation to the algae cell surface, so that the cells can use the energy of the available light maximally. Though it was indicated that tubular design had increased the growth rate and productivity of algae culture, it had limitations in the volume of its culture, particularly when it was placed horizontally. This resulted in unfully achievement of the productivity increase if it was calculated based on the unit of the surfaced used, while the production cost was relatively high. Therefore, a number of research activities have to be conducted to develop the tubular photobioreactor, for example the optimum diameter of the growth column is estimated as the specific character for each algae. This paper reported a preliminary research on the growth of *A. convolutus* algae on several diameter variations (5 cm, 10 cm, 15 cm, 30 cm) of vertical tubular column at the same height (40 cm). On the batch culture system,

there was a negative correlation between the growth rate and the productivity of the culture and the diameter of the growth column. The decrease in the maximum culture density on the 15th day of the culture from 26.41 ± 2.82 million cells/ml to 3.17 ± 1.28 million cells/ml occurred with the increase in the diameter of growth column from 5 cm to 30 cm. And also the decrease in optic density from 3.72 ± 0.06 to 0.48 ± 0.02 , and biomass productivity from 14.0 mg/l/day to 1.3 mg/l/day. The results showed the importance of growth column diameter in developing the tubular photobioreactor for algae culture.

Key words: Algae, *A. convolutus*, photobioreactor, growth, productivity.

PENDAHULUAN

Cahaya merupakan faktor utama untuk pertumbuhan alga. Di samping karena kurangnya intensitas cahaya yang tersedia, keterbatasan energi cahaya pada kultur alga juga dapat dipengaruhi oleh kepadatan kulturnya. Seperti telah ditunjukkan oleh Vonshak dan Richmond (1985) pada kultur alga di kolam arus deras, hambatan distribusi radiasi cahaya meningkat sejalan dengan naiknya kepadatan kultur, sehingga laju tumbuh dan produktivitas menurun pada kepadatan tinggi.

Masalah hambatan distribusi cahaya akibat kepadatan sel yang tinggi disarankan untuk ditanggulangi dengan desain fotobioreaktor kolom yang dapat meningkatkan rasio permukaan/volume kolom tumbuh (Pirt *et al.*, 1979, 1983; Bocci *et al.*, 1988; Lee dan Bazin, 1990). Telah pula dibuktikan bahwa fotobioreaktor kolom dapat meningkatkan laju fotosintesis pada berbagai jenis alga, seperti *Phorphyridium cruentum* (Chaumont *et al.*, 1988), *Spirulina platensis* (Torzillo *et al.*, 1986), dan *Phaeodactylum tricornutum* (Chrismadha dan Borowitzka, 1993). Desain kolom juga dipercaya dapat mengurangi masalah kontaminasi dan kondisi kimia fisik kultur alga (Tredici dan Materassi, 1992; Richmond *et al.*, 1993).

Nilai rasio permukaan/volume sangat berkaitan dengan diameter kolom. Makin kecil kolom, makin tinggi nilai rasio permukaan/volumenya. Juga telah dibuktikan bahwa laju fotosintesa alga berbanding terbalik dengan diameter kolom tersebut (Kok, 1953). Diameter kecil juga mempermudah terjadinya gerak turbulen di dalam kolom yang dipercaya memberikan kontribusi besar pada meningkatnya laju fotosintesis (Pirt *et al.*, 1983). Namun berkurangnya diameter kolom juga berarti penurunan volume total kultur, yang selanjutnya berakibat pada penurunan total produktivitas biomassa alga. Karenanya pengkajian nilai tambah peningkatan laju tumbuh pada reaktor kolom harus pula memperhatikan produktivitas totalnya per satuan luas lahan yang digunakan. Dalam hal ini perlu dikaji diameter optimum bagi produktivitas biomassa alga yang maksimal.

Dalam makalah ini dilaporkan hasil percobaan pengaruh diameter kolom pada pertumbuhan dan produktivitas kultur alga *A. convolutus*.

BAHAN DAN METODE

A. convolutus yang digunakan pada percobaan ini merupakan koleksi Puslitbang Limnologi-LIPI hasil isolasi dari kolam Kebun Raya Bogor. Inokulum diambil dari kultur 500 ml umur 14 hari, yang ditumbuhkan dalam media PHM steril pada intensitas cahaya 2.500 luks dan suhu ruangan 28-32°C.

Percobaan dilakukan pada kolom gelas dengan empat taraf perlakuan diameter, yaitu 5 cm, 10 cm, 15 cm, dan 30 cm, dengan permukaan kultur yang sama, yaitu 40 cm. Aerasi dari pompa udara empat mata (multi extra) yang disaring dengan kapas, dan pengaduk magnetik digunakan untuk mengaduk kultur serta pergantian udara di dalam kultur. Media tumbuh yang digunakan adalah media PHM dengan pH awal 6,0. Cahaya didapat dari delapan buah lampu TL 40 watt, di mana kedudukan kolom tumbuh diatur hingga intensitas cahaya yang jatuh di permukaan 5.500 luks.

Inokulasi dilakukan dengan faktor pengenceran 10 kali, sehingga kepadatan awal kultur adalah $1,1 \times 10^6$ sel/ml. Setelah itu, kultur dibiarkan tumbuh secara *batch culture* selama 37 hari. Kontaminasi *Vorticella* ditemukan pada dua minggu terakhir pengamatan, terutama pada kolom berdiameter 5 dan 10 cm, namun diperkirakan jumlahnya tidak signifikan mengganggu parameter-parameter yang diamati.

Pengambilan sampel untuk pengukuran kepadatan optik dan kepadatan sel dilakukan seminggu dua kali, sedang pengukuran konsentrasi biomassa dilakukan seminggu sekali. Kepadatan optik diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 750 nm. Kepadatan sel dihitung di bawah mikroskop pada haemasitometer *Improved Neubauer*. Berdasarkan laju pertambahan kepadatan sel, dihitung laju tumbuh kultur berdasar rumus sebagai berikut:

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

di mana: μ = laju tumbuh (pembelahan sel/hari)

X_t = kepadatan sel pada waktu t (sel/ml)

X_0 = kepadatan awal kultur (sel/ml)

t = waktu (hari)

Konsentrasi biomassa (gram berat organik/ml) ditentukan dengan menyaring 10 ml kultur pada kertas saring Whatman GF/A yang sebelumnya sudah dipanaskan pada suhu 450°C semalam dan ditimbang. Filter berikut sampel selanjutnya dikeringkan pada suhu 100°C selama satu jam dan ditimbang. Setelah itu filter tersebut diabukan pada suhu 450°C semalam dan ditimbang kembali. Konsentrasi biomassa dihitung dari selisih berat kering pada suhu 100°C dengan berat filter setelah diabukan. Dari laju pertumbuhan biomassa dihitung produktivitas kultur berdasar rumus sebagai berikut:

$$P = \frac{B_t - B_o}{t}$$

di mana: P = produktivitas biomassa (g/l/hari)

B_t = konsentrasi biomassa hari t

B_o = konsentrasi biomassa awal

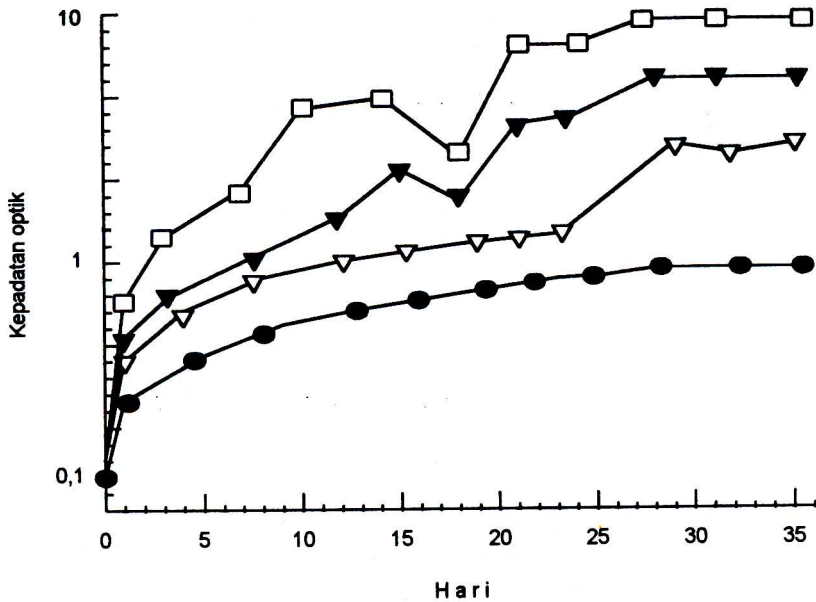
t = waktu (hari)

HASIL DAN PEMBAHASAN

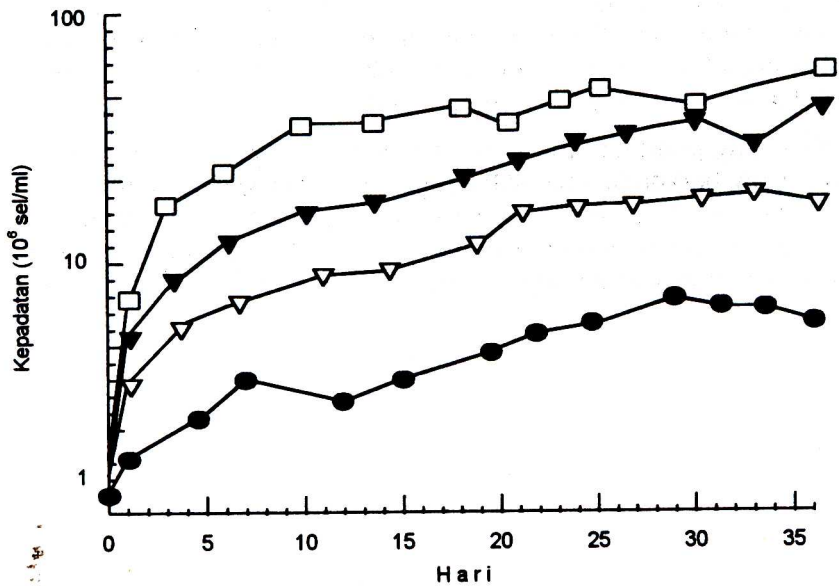
Pertumbuhan kultur alga dapat diekspresikan dalam bentuk laju pertambahan kepadatan optik (Gambar 1) dan laju pertambahan kepadatan selnya (Gambar 2). Dari kedua parameter tersebut dapat dilihat pengaruh nyata diameter kolom terhadap pertumbuhan alga. Hal ini terlihat baik dari puncak kepadatan optik dan kepadatan sel yang dicapai. Kepadatan optik maksimum yang dicapai pada kolom diameter 5 cm adalah 7,54, dan menurun menjadi 4,26; 2,37; dan 0,77 berturut-turut sesuai dengan meningkatnya diameter kolom menjadi 10, 15, dan 30 cm. Demikian juga penurunan kepadatan sel maksimum terjadi dari 52,19 juta sel/ml menjadi 40,04 juta sel/ml, 19,99 juta sel/ml, dan 6,52 juta sel/ml dengan naiknya diameter kolom seperti tersebut di atas.

Penghitungan laju tumbuh juga menunjukkan pola respon yang sama, yaitu naiknya laju tumbuh dari 0,12 pembelahan sel/hari pada diameter kolom 30 cm, menjadi 0,19 pembelahan sel/hari, 0,27 pembelahan sel/hari, dan 0,31 pembelahan sel/hari berturut-turut pada diameter 15, 10, dan 5 cm. Hasil ini sejalan dengan yang telah dilaporkan oleh Tamiya *et al.* (1953) pada *Chlorella*, di mana laju fotosintesis jenis alga tersebut berbanding terbalik dengan diameter kolom tumbuhnya.

Fenomena di atas diduga berkaitan dengan rasio permukaan/volume kolom tumbuh. Rendahnya nilai rasio tersebut mengakibatkan terhambatnya distribusi cahaya sampai ke tengah kolom, terutama bila kepadatan kulturnya tinggi. Penelitian-penelitian bioenergetik fotosintesis telah menunjukkan bahwa sel-sel alga hanya memberikan respon pada radiasi cahaya yang jatuh ke permukaan selnya (Rabe dan Benoit, 1962; Raven, 1988). Pada kultur yang padat radiasi cahaya hanya mencapai beberapa mm dari permukaan kultur, sehingga laju fotosintesis sangat tergantung pada distribusi sel-sel alga ke bagian permukaan kulturnya. Rasio permukaan/volume yang tinggi memberikan kesempatan pada sel-sel alga didalamnya untuk lebih sering terekspose ke bagian permukaan, sementara makin kecil nilai rasio tersebut, diperlukan pengadukan yang makin kuat untuk mencapai distribusi sel optimal seperti di atas. Pirt *et al.* (1983) melaporkan bahwa distribusi sel optimal demikian tercapai bila di dalam kolom telah terjadi gerak turbulen yang cukup kuat, yaitu berkorelasi dengan angka Reynold di atas 2.000.



Gambar 1. Kepadatan optik kultur *A. convulutus* pada berbagai diameter kolom tumbuh; 5 cm = segiempat kosong, 10 cm = segitiga isi, 15 cm = segitiga kosong, 30 cm = lingkaran isi.



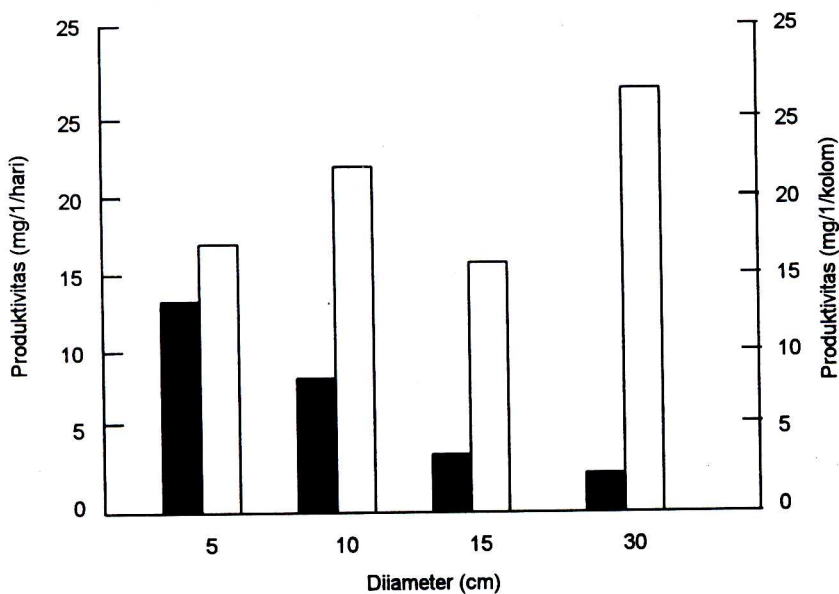
Gambar 2. Kepadatan sel kultur *A. convulutus* pada berbagai diameter tumbuh (legenda sama dengan Gambar 1).

Kenaikan laju tumbuh yang konsisten juga menunjukkan bahwa intensitas cahaya yang tersedia masih menjadi faktor pembatas tumbuh alga. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya pada jenis yang sama yang memperlihatkan kurang sensitifnya jenis alga ini terhadap perubahan intensitas cahaya (Chrismadha *et al.*, 1997). Di samping itu, kenaikan pH kultur pada kolom berdiameter kecil, yaitu mencapai 8,5 pada kultur dalam kolom 5 cm merupakan indikasi penyerapan gas CO₂ yang intensif oleh sel-sel alga, sehingga keterbatasan suplai CO₂ juga perlu untuk dipertimbangkan.

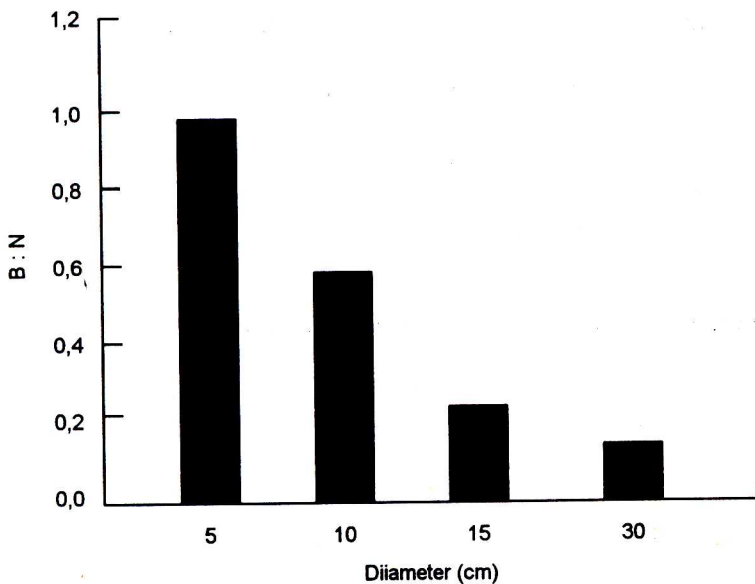
Gambar 3 memperlihatkan produktivitas biomassa kultur. Kajian produktivitas biomassa tersebut dapat dilihat dari dua aspek, yaitu produktivitas per satuan volume kultur dan produktivitas totalnya. Produktivitas per satuan volume kultur secara nyata berbanding terbalik dengan diameter kolomnya, yaitu tertinggi 14 mg/l/hari pada kolom diameter 5 cm, dan menurun menjadi 8,5 mg/l/hari; 2,9 mg/l/hari; dan 1,3 mg/l/hari, sejalan dengan kenaikan diameter kolom menjadi 10, 15, dan 30 cm. Akan tetapi bila diperhatikan produktivitas totalnya tidak terlihat adanya pengaruh nyata dari diameter kolom tumbuh. Bahkan produktivitas total tertinggi dicapai pada kolom diameter 30 cm, yaitu 26 mg/kolom/hari. Hal ini terutama disebabkan oleh berkurangnya volume total kultur pada kolom berdiameter kecil.

Karenanya pengkajian nilai produktivitas ini harus dilakukan dengan hati-hati. Konsentrasi biomassa yang tinggi dianggap mempermudah proses panen dan pasca-panen, sehingga konsentrasi biomassa yang padat sangat diharapkan. Namun di sisi lain penurunan produktivitas total akibat berkurangnya volume kultur tetaplah harus diperhatikan. Suatu kondisi optimum diameter kolom yang berkaitan dengan pencapaian kepadatan biomassanya harus dikaji sesuai dengan keperluan produksi biomassa dan proses panen dan pascapanennya.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah efisiensi konversi nutrisi menjadi biomassa alga yang berkorelasi terbalik dengan diameter kolom tumbuh. Meskipun bila dilihat dari segi biaya produksi nutrisi kurang signifikan dibanding dengan biaya panen atau pascapanen, namun residu nutrisi yang tinggi akibat rendahnya efisiensi konversi nutrisi menjadi biomassa dapat berbahaya dilihat dari aspek toksikologi.



Gambar 3. Produktivitas kultur *A. convulutus* pada berbagai diameter kolom ■ mg/l/hari, □ mg/kolom/hari.



Gambar 4. Rasio konsentrasi biomassa terhadap konsentrasi nitrogen *A. convulutus* pada berbagai diameter kolom tumbuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Bocci, F., G. Torzillo, M. Vincenzi, and R. Materassi. 1988.** Growth physiology of *Spirulina platensis* in tubular photobioreactor under natural light. *In* Stadler, T., J. Mollion, M.C. Verdu, Y. Karamanos, H. Morvan, and D. Christiaen. (Eds.). *Algal Biotechnology*. Elsevier Applied Science, London: 219-228
- Chaumont, D., C. Thepenier, and C. Gudin. 1988.** Scaling up a tubular photoreactor for continuous culture of *Phorphyridium cruentum* from laboratory to pilot plant. *In* Stadler, T., J. Mollion, M.C. Verdu, Y. Karamanos, H. Morvan, and D. Christiaen. (Eds.). *Algal Biotechnology*. Elsevier Applied Science, London: 199-208.
- Chrismadha, T. and M.A. Borowitzka. 1993.** Growth and lipid production of *Phaeodactylum tricornutum* in a tubular photobioreactor. *In* Moi, P.S., Y.K. Lee, M.A. Borowitzka, and B.A. Whitton. (Eds.). *Algal Biotechnology in the Asia Pacific Region*. Institute of Advance Studies, University of Malaya. Kuala Lumpur.
- Chrismadha, T., S.H. Nasution, Y. Mardiaty, Rosidah, and A. Kurniasih. 1997.** Respon tumbuh alga *Ankistrodesmus convolutus* dan *Chlorella* sp. terhadap intensitas cahaya. Makalah akan dipresentasikan pada Ekspose Hasil Penelitian Puslitbang Limnologi LIPI 1996/97.
- Kok, B. 1953.** Experiments on photosynthesis by *Chlorella* in flashing light. *In* Burlew, J.S. (Ed.). *Algal culture from laboratory to pilot plant*. Washington. Cambridge University. pp. 65-75.
- Lee, E.T.Y. and M.J. Bazin. 1990.** A laboratory scale air-lift helical photobioreactor to increase biomass output rate of photosynthetic algal culture. *New Phytology*. 116: 331-335.
- Pirt, S.J., N. Panikov, and Y.K. Lee. 1979.** The miniloop: a small scale air-lift microbial culture vessel and photobiological reactor. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 29: 437-441.
- Pirt, S.J., Y.K. Lee, M.R. Walach, M. Pirt, and H.H.M. Balyuzi. 1983.** A tubular bioreactor for photosynthetic production of biomass from carbondioxyde: design and performance. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 33B: 35-58.
- Rabe, A.E. and J. Benoit. 1962.** Mean light intensity - A useful concept in correlating growth rate of dense culture of microalgae. *Biotechnology and Bioengineering*. 4: 377-390.
- Raven, J.A. 1988.** Limit to grow. *In* Borowitzka, M.A. and Borowitzka, L.J. (Eds.). *Microalgae Biotechnology*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 331-356.

- Richmond, A., S. Boussiba, A. Vonshak, and R. Kopel. 1993.** A new tubular reactor for mass production of microalgae outdoor. *Journal of Applied Phycology*. 5: 327-332.
- Tamiya, H., E. Haze, K. Shibata, T. Iwamura, T. Nikei, and T. Sasa. 1953.** Kinetics of growth of *Chlorella*, with special reference to its dependence on quantity of available light and on temperature. *In* Burlew, J.S. (Ed.). *Algal culture from laboratory to pilot plant*. Washington. Cambridge University. pp. 204-234.
- Torzillo, G., B. Pushparaj, F. Bocci, W. Balloni, R. Materassi, and G. Florenzano. 1986.** Production of *Spirulina* biomass in closed photobioreactors. *Biomass*. 11: 61-74.
- Tredici, M.R. and R. Materassi. 1992.** From open pond to vertical alveolar panels - The italian experience in the development of reactors for the mass cultivation of phototrophic microorganisms. *Journal of Applied Phycology*. 4: 221-231.
- Voushak, A.S. and A. Richmond. 1985.** Problems in developing the biotechnology of algal mass production. *Plant and Soil*. 89: 129-135.