

UJI COBA PENINGKATAN PRODUKTIVITAS KULTUR MIKROALGA,  
*ANKISTRODESMUS CONVULUTUS* PADA FOTOBIOREAKTOR  
TUBULARBERPENYEKAT

Tjandra Chrismadha\*, Tenni Rustiani, Rosidah, Yayah Mardiaty

Puslit Limnologi LIPI, Kompleks LIPI Cibinong, Jl Raya Bogor Km 46,  
Cibinong

Ph 021 8757071, Fax 021 8757076, email

**Abstrak**

Suatu seri penyekat horisontal dipasang pada fotobioreaktor tubular tegak, berfungsi sebagai pengatur distribusi suspensi kultur alga ke area terang di permukaan kolom tubular dan area gelap di bagian dalamnya. Jenis mikroalga *Ankistrodesmus convolutus* ditumbuhkan secara *batch* di dalam fotobioreaktor tersebut dalam media PHM, sumber cahaya lampu TL 3X40 watt ( $I = 5.500$  luks di permukaan kolom) dan suhu ruangan  $27 - 31^{\circ}\text{C}$ . Uji coba dilakukan untuk melihat pengaruh variasi jarak penyekat, yaitu 1 inchi, 2 inchi, dan 3 inchi terhadap pertumbuhan dan komposisi biokimia mikroalga tersebut. Sebagai pembanding digunakan fotobioreaktor tubular tegak tanpa penyekat. Jarak penyekat tidak berpengaruh secara nyata terhadap capaian kepadatan optik, namun berpengaruh nyata terhadap capaian biomassa, kandungan klorofil, serta nilai rasio protein/karbohidrat biomassa kedua jenis mikroalga tersebut. Diduga bahwa pemaparan pada area terang dan gelap secara intermitan telah menciptakan sinkronisasi kinerja reaksi terang dan reaksi gelap pada proses fotosintesis serta reaksi katalisis pembentukan struktur fungsional sel jenis alga tersebut.

Kata kunci: penyekat, fotobioreaktor tubular, mikroalga, *Clorella vulgaris*, *Scenedesmus dimorphus*

**Latar Belakang**

Permasalahan kultur mikroalga adalah tingkat produktivitas dan kualitas biomassa yang rendah. Fotobioreaktor tubular telah dilaporkan dapat meningkatkan laju fotosintesis. Peningkatan laju fotosintesis tersebut diduga disebabkan oleh terjadinya fenomena 'flashing light effect', meskipun peran fenomena tersebut masih belum difahami secara mendasar. 'Flashing light effect' pada awalnya ditemukan di laut, dimana riak-riak air laut akibat gerak gelombang merefleksikan cahaya matahari yang datang secara acak kedalam kolom air di sebelah dalamnya. Refleksi cahaya tersebut menciptakan kilatan-kilatan cahaya yang datang secara intermitan ke permukaan sel-sel alga yang ada di dalam kolom air tersebut. Percobaan-percobaan di laboratorium memperlihatkan bahwa sel-sel alga mendapat keuntungan dari kondisi tersebut, yaitu dengan meningkatnya efisiensi fotosintesis (Grobelaar 1989). Beberapa ahli berpendapat bahwa, sementara siklus gelap terang harian dianggap menyediakan waktu yang cukup untuk sel-sel alga beradaptasi terhadap siklus cahaya tersebut, siklus intermitan cahaya yang dihasilkan oleh pengadukan kultur berlangsung terlalu singkat untuk proses adaptasi seperti di atas, sehingga sel-sel alga beradaptasi pada intensitas cahaya rata-

ratanya (e.g. Rabe & Benoit 1962; Raven 1988). Sementara beberapa ahli lainnya mengkaitkan peningkatan efisiensi fotosintesis tersebut dengan sinkronisasi waktu terjadinya reaksi gelap dan reaksi terang fotosintesis pada kultur tersebut, dimana fraksi gelap dari cahaya intermitan memberikan waktu yang cukup bagi sel-sel alga untuk menyelesaikan proses reaksi gelap tersebut, sebelum menerima energi cahaya untuk aktivasi proses fotosintesis selanjutnya (Goldman 1979).

Disamping berpengaruh pada unjuk kerja fotosintesis kultur mikroalga, cahaya intermitan diduga juga mempengaruhi komposisi biokimia sel alga, khususnya yang terkait dengan mekanisme adaptasi alga terhadap cahaya. Seperti telah dilaporkan sebelumnya, komposisi biokimia alga, khususnya lipid, terkait erat dengan struktur organ fotosintesis alga yang selalu beradaptasi terhadap intensitas cahaya yang ada (Rosenberg, 1973; Harwood, 1988; Sukenik *et al.*, 1989; Nichols, 1985). Sebagai contoh, jenis *Spirulina platensis* meningkatkan kandungan total lemaknya pada intensitas cahaya tinggi (Tedesco *et al.*, 19890), sementara pada kondisi yang sama jenis *Nannochloropsis sp.* justru menurunkan kandungan total lemaknya (Sukenik *et al.*, 1989).

Pada kultur mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Scenedesmus dimorphus*, fenomena 'flashing light effect' yang didekati dengan kontrol distribusi kultur dalam tubular agar secara intermitan terpapar pada cahaya yang ada di permukaan kolom, yaitu dengan mengalirkan kultur dalam kolom berpenyekat, menghasilkan peningkatan capaian kepadatan optik, kandungan klorofil sel, serta nilai rasio protein/karbohidrat secara konsisten (Chrismadha *et al.*, 2000). Pada penelitian ini dilakukan uji coba lebih lanjut pada kultur mikroalga *Ankistrodesmus convolutus* untuk pemahaman lebih luas dan mendalam fenomena tersebut di atas.

## Metode

Kultur alga *Ankistrodesmus convolutus* ditumbuhkan pada kolom fotoreaktor tegak berpenyekat, dengan perlakuan variasi jarak penyekat, yaitu 1 inchi, 2 inchi, dan 3 inchi, serta kontrol kolom fotoreaktor tanpa penyekat dan laju tumbuh serta komposisi biomassa, meliputi konsentrasi biomassa, klorofil, protein, dan karbohidrat diamati. Fotobioreaktor terdiri dari kolom gelas berdiameter 10 cm dan tinggi 50 cm, dengan volume efektif kultur 2500 ml. Dinding penyekat terbuat plat melamin 1 mm yang ukurannya disesuaikan dengan diameter kolom gelas tersebut, terdiri dari penyekat dalam yang menempel pada kolom sentral dan berjarak 1 cm dari dinding kolom luar, serta penyekat luar yang menempel pada dinding kolom luar dan berjarak 1 cm dari kolom sentral. Kedua macam penyekat tersebut disusun berselang seling sepanjang kolom gelas hingga permukaan media kultur dengan rangka 2 batang stainless steel. Kolom sentral terbuat dari pleksiglas berdiameter 22 mm, berfungsi untuk mengakomodasi pergerakan sirkulasi kultur, yang didorong dengan tenaga aerasi (air lifting).

Media yang digunakan adalah media PHM-1 (Borowitzka 1988) dengan pH awal 7, sedangkan sumber cahaya didapat dari 4 buah lampu TL 40 watt yang dipasang pada kedua sisi kolom fotoreaktor dengan intensitas cahaya terpasang pada permukaan kolom 5.500 luks. Setelah innokulasi, kultur dibiarkan tumbuh secara batch selama 7 hari, dan perkembangan

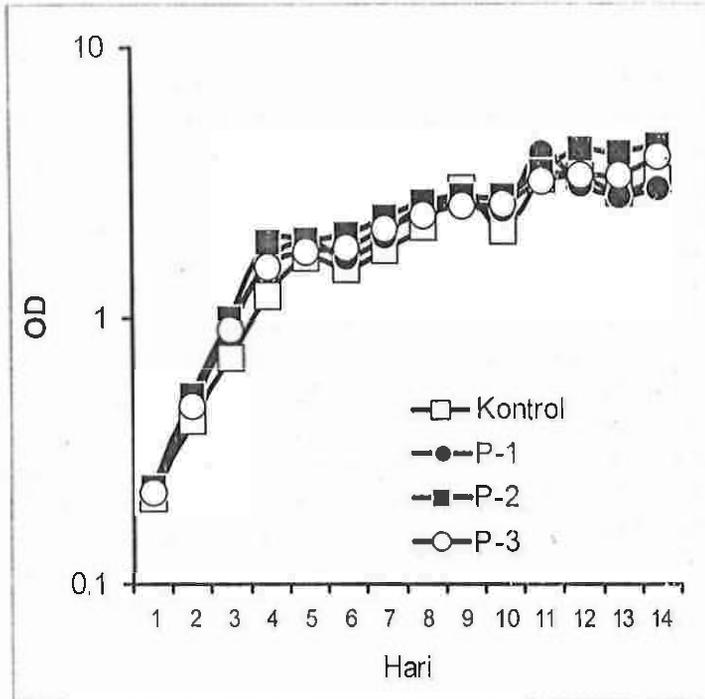
kepadatan selnya diamati pada hari ke 3 dan 7, sementara pengambilan sampel untuk parameter-parameter biomasa, klorofil, karbohidrat, dan protein, dilakukan pada hari ke 7 (fase tumbuh eksponensial) dan ke 14 (awal fase stasioner). Percobaan dilakukan menggunakan empat ulangan.

Penghitungan kepadatan sel dilakukan pada haematometer di bawah mikroskop. Biomasa alga diekspresikan dalam berat organiknya, yang ditentukan dengan menyaring 3 ml sampel melalui kertas saring Whatman GF/A yang sebelumnya telah dipanaskan pada 600 °C selama satu jam. Setelah itu kertas saring dikeringkan dengan oven pada suhu 100 °C semalam dan ditimbang. Untuk menentukan berat organik, kertas saring kemudian diabukan pada 600 °C selama satu jam, dan setelah disimpan di dalam desikator yang berisi silika gel semalam, kertas saring tersebut ditimbang kembali. Bobot organik alga didapat dengan mengurangi bobot kertas saring setelah dikeringkan dengan berat setelah diabukan. Antara 2 - 5 ml sampel juga difilter pada kertas saring Whatman GF/A untuk analisa kadar klorofil, karbohidrat total, dan protein total. Kandungan klorofil ditentukan dengan metode ekstraksi dengan 90% aseton (Jeffrey & Humphrey 1975). Kandungan karbohidrat total dianalisa dengan fenol-asam sulfat (Kochert 1978), sementara total protein ditentukan dengan folin-fenol (Lowrey et al/1951).

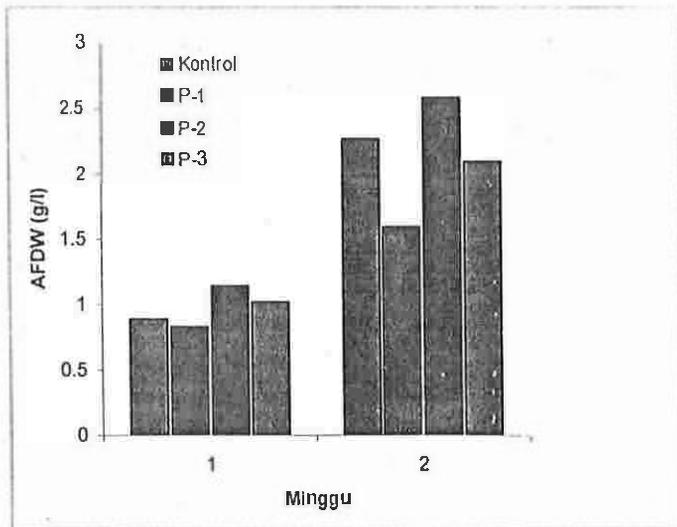
### Hasil dan Pembahasan

Hasil percobaan memperlihatkan bahwa cahaya intermitan yang dikontrol melalui jarak penyekat di dalam kolom fotoreaktor tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap laju perkembangan kepadatan sel *A. convolutus* (Gambar 1), dengan nilai laju tumbuh berkisar antara 0,292 sampai dengan 0,315 pembelahan sel per hari. Hasil percobaan ini konsisten dengan hasil percobaan sebelumnya yang memperlihatkan pengaruh tidak nyata konstruksi penyekat pada fotobioreaktor berpenyekat terhadap pertumbuhan jenis *S. dimorphus* dan *C. vulgaris* (Chrismadha et al., 2000).

Konsentrasi maksimum biomassa yang dicapai selama 14 hari kultur adalah 2,58 g/l pada kultur dengan jarak penyekat 2 inchi, sekitar 14 % lebih tinggi dibanding capaian biomassa kultur pada kolom tanpa penyekat (Gambar 2). Akan tetapi secara keseluruhan tidak terlihat pola pengaruh penyekat yang jelas terhadap produktivitas kultur alga tersebut, dimana pada jarak penyekat 1 inchi dan 3 inchi capaian biomassa kultur justru lebih rendah dari pada kultur kontrolnya. Percobaan sebelumnya juga memperlihatkan peningkatan capaian konsentrasi biomassa konsisten pada *S. dimorphus* dan *C. vulgaris* akibat pemasangan konstruksi penyekat berjarak 2 inchi, yaitu 20% pada *C vulgaris* dan 40% pada *S dimorphus* (Chrismadha et al., 2000).



Gambar 1. Pengaruh penyekat terhadap pertumbuhan alga *A. convolutus* yang tumbuh dalam fotobioreaktor dengan variasi jarak penyekat: P-1 = 1 inchi, P-2= 2 inchi, dan P-3 = 3 inchi.

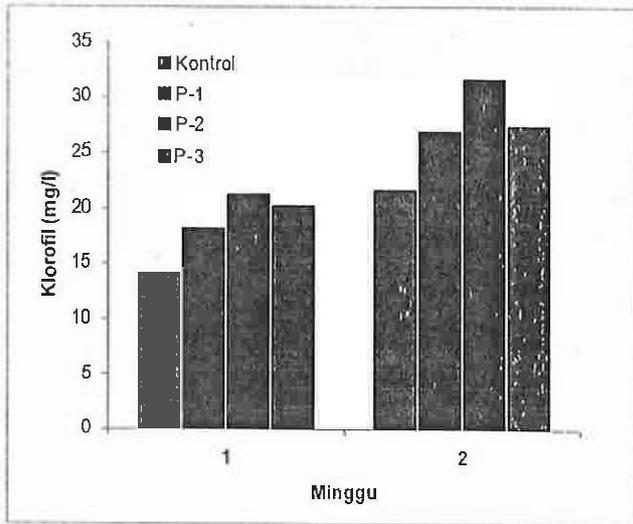


Gambar 2. Pengaruh penyekat terhadap kandungan biomassa kultur alga *A. convolutus* yang tumbuh dalam fotobioreaktor dengan variasi jarak penyekat: P-1 = 1 inchi, P-2 = 2 inchi, dan P-3 = 3 inchi.

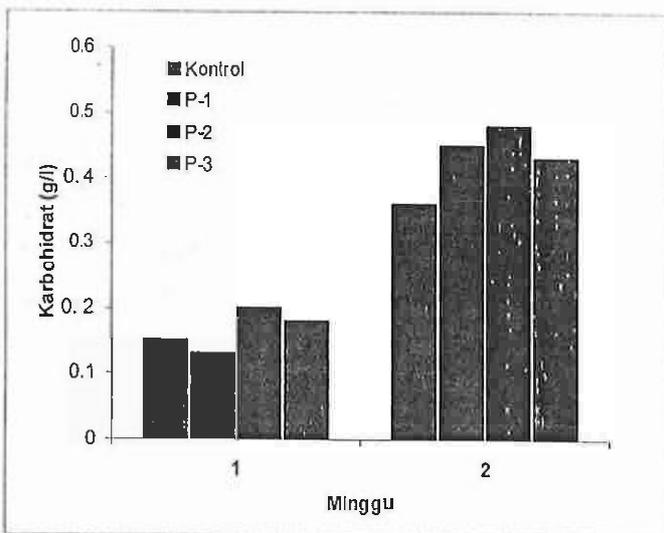
Seperti juga pada kultur *S. dimorphus* dan *C. vulgaris*, konstruksi penyekat menstimulasi sintesa klorofil dalam sel-sel *A. convolutus*. Kenaikan konsentrasi klorofil hingga 46% dicapai oleh kultur dengan jarak penyekat 2 inchi, sementara kultur berjarak penyekat 1 inchi mengalami kenaikan 24%, dan kultur berjarak penyekat 3 inchi mengalami kenaikan 26%. Respon

kenaikan kandungan klorofil ini tidak setinggi pada kultur *S. dimorphus* dan *C. vulgaris* (Chrismadha *et al.*, 2000), diduga karena intensitas cahaya yang digunakan pada percobaan ini lebih tinggi dibanding dengan percobaan sebelumnya. Seperti telah banyak dilaporkan intensitas cahaya tinggi pada umumnya menurunkan kandungan klorofil pada sel-sel mikroalga. Adanya peningkatan kandungan klorofil merupakan fenomena yang sangat menarik dalam pengembangan fotobioreaktor berpenyekat. Hal ini dikaitkan potensi mikroalga sebagai sumber potensial berbagai jenis pigmen dan asam lemak tak jenuh rantai panjang (PUFA), yang proses sintesisnya terkait erat dengan pembentukan organ fotosintesis alga. Seperti telah dilaporkan sebelumnya, bahwa jenis-jenis PUFA, khususnya  $C_{20:5}$  dan  $C_{20:4}$ , pada umumnya terikat pada galaktolipid (Constantopoulos, 1970; Sukenik *et al.*, 1989; Sukenik & Wahnou, 1991) yang laju sintesisnya terkait dengan pembentukan thylakoid membran (Rosenberg, 1973) yang sangat dipengaruhi oleh cahaya. Peningkatan kandungan klorofil pada kultur alga yang tumbuh dalam kolom fotobioreaktor berpenyekat kemungkinan juga diikuti dengan meningkatnya kandungan PUFA alga-alga tersebut.

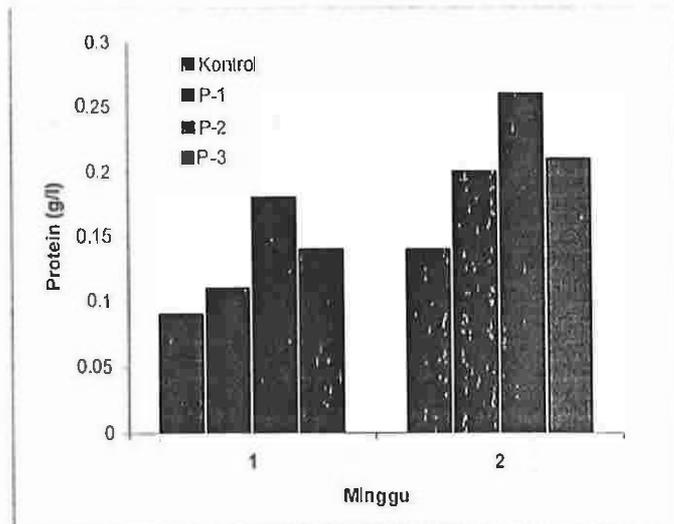
Konstruksi penyekat secara konsisten juga meningkatkan sintesa protein pada kultur *A. convolutus*, yaitu hingga 86% pada jarak penyekat 2 inchi, 43% pada jarak penyekat 1 inchi, dan 50% pada jarak penyekat 3 inchi, sementara konstruksi penyekat tersebut tidak memperlihatkan pengaruh yang nyata terhadap kandungan karbohidrat kultur *A. convolutus*, meskipun sedikit kenaikan tampak pada minggu ke dua. Kandungan klorofil dan protein yang tinggi memberikan indikasi adanya optimalisasi proses katalitik lanjut dari produk awal fotosintesis menjadi organ struktur fungsional sel. Bila diperhatikan bahwa faktor pembatas tumbuh kultur mikroalga adalah laju reaksi katalitik tersebut (Raven 1988), terutama pada intensitas cahaya tinggi (Goldman 1979), maka struktur penyekat menjadi alternatif menarik untuk meningkatkan laju tumbuh dan produktivitas mikroalga, khususnya berkaitan dengan pengembangan desain fotobioreaktornya. Dari hasil penelitian ini terlihat perlunya menentukan desain konstruksi penyekat optimum agar keunggulan fenomena tersebut dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan produktivitas kultur alga. Hal ini perlu diperhatikan mengingat tingkat produktivitas yang lebih rendah pada jarak penyekat 1 inchi dan 3 inchi dibanding dengan kultur kontrolnya, yang memperlihatkan indikasi adanya peningkatan respirasi sel akibat pemasangan konstruksi penyekat tersebut.



Gambar 3. Pengaruh penyekat terhadap kandungan klorofil kultur alga *A. convolutus* yang tumbuh dalam fotobioreaktor dengan variasi jarak penyekat; P-1 = 1 inchi, P-2 = 2 inchi, dan P-3 = 3 inchi.



Gambar 4. Pengaruh penyekat terhadap kandungan karbohidrat kultur alga *A. convolutus* yang tumbuh dalam fotobioreaktor dengan variasi jarak penyekat; P-1 = 1 inchi, P-2 = 2 inchi, dan P-3 = 3 inchi.



Gambar 5. Pengaruh penyekat terhadap kandungan protein kultur alga *A. convolutus* yang tumbuh dalam fotobioreaktor dengan variasi jarak penyekat: P-1 = 1 inchi, P-2 = 2 inchi, dan P-3 = 3 inchi.

Raven (19884) menerangkan bahwa sintesis pigmen berlebihan merupakan pola adaptasi sel-sel mikroalga terhadap kondisi intensitas cahaya yang rendah, dan memerlukan alokasi budget energi sel, sehingga mengurangi tingkat efisiensi pertumbuhan sel. Namun fenomena demikian menjadi menarik bila diperhatikan permasalahan pengembangan kultur ditempat terbuka, khususnya di daerah tropis, dimana intensitas cahaya yang sangat tinggi menjadi salah satu faktor pembatas utama. Pemaparan secara intermitan pada cahaya tinggi tersebut melalui struktur reaktor berpenyekat dapat menjadi salah satu alternatif pemecahan masalahnya. Penelitian-penelitian lebih lanjut untuk mengungkap lebih jauh mekanisme adaptasi cahaya dan kaitannya dengan pengembangan fotobioreaktor untuk produksi biomassa mikroalga masih perlu untuk terus dilakukan, khususnya dalam rangka meningkatkan daya adaptasi kultur mikroalga pada intensitas cahaya matahari yang sangat tinggi di tempat terbuka.

### Pustaka

- Borowitzka, M.A. 1988. Algal Growth Media sources of Algal Cultures. Dalam: M.A. Borowitzka & L.J. Borowitzka (ed.). Microalgal Biotechnology. Him. 456 - 465.
- Goldman, J.C. 1979. Outdoor Algal Mass Culture II. Photosynthetic Yield Limitations. Water Research. 13: 119 - 136.
- Grobbelaar, J.U. 1989. Do light/dark cycles of medium frequency enhance phytoplankton productivity? Journal of Applied Phycology. 1: 333- 340

- Chrismadha, T., S.H. Nasution, Y. Mardiaty, A. Kurniasih. (1997). Respon tumbuh alga *Ankistrodesmus convolutus* dan *Chlorella sp* terhadap intensitas cahaya. Makalah dipresentasikan pada: Ekspose Hasil Penelitian Puslitbang Limnologi 1996/1997. Cibinong, 18 - 19 Maret 1997.
- Chrismadha, T, I.D.A. Sutapa, Hidayat, Rosidah, Y. Mardiaty. 2000. Pengaruh Cahaya Intermitan Terhadap Fotosintesis Kultur Alga *Chlorella vulgaris*. Makalah dipresentasikan pada Seminar Nasional Biologi VIII di Bandung.
- Harwood, J.L. 1988. Fatty acids metabolism. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 39: 101- 138
- Jeffrey, S.W. and G.F. Humprey. (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
- Kochert, G. (1978). Carbohydrate determination by phenol-sulphuric acid method. In: Handbook of Phycological Methods: Physiological and Biochemical Methods. Hellebust, J.A. and Craigie, J.S. (Eds). Cambridge: Cambridge University Press. Pp: 95-75
- Lowrey, O.H., N.J. Rosenbrough, A.L. Farr, and R.J. Randall (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. The Journal of Biological Chemistry. 193: 265-275
- Nichols, B.W. 1973. Lipid composition and metabolism. In: The Biology of Blue-green Algae. Carr, N. G. and Whitton, B.A. (Eds.) Berkeley: University of California Press. Pp. 144 – 161.
- Raven, J.A. 1988. Limits to Growth. Dalam: M.A. Borowitzka & L.J. Borowitzka (ed.). Microalgal Biotechnology. Hlm. 331 – 387.
- Rosenberg, A. 1973. Chloroplast lipids of photosynthesising eukaryotic protists. In: Lipids and biomembranes of eukaryotic mikroorganisms. Erwin, J.A. (Ed.) New York: Academic Press. Pp. 233 – 257.
- Sutapa, I. Dan T. Chrismadha, 2000. Kajian unjuk kerja fotobioreaktor tubular berdasarkan parameter koefisien transfer massa (KLa). Makalah dipresentasikan pada Seminar Hasil-hasil Penelitian Bioteknologi III, di Cibinong.
- Tedesco, M.A., and E.O. Duerr (1989). Light, temperature, and nitrogen starvation effects on the total lipid and fatty acid content and composition of *Spirulina platensis* UTEX1928. J. Appl. Phycol. 1: 201-209
- Terry, K.L. 1986. Photosynthesis in modulated light: Quantitative dependence of photosynthetic enhancement on flashing rate. Biotechnology and Bioengineering. 28: 988 – 995.