

PRODUKSI BIOMASA MIKROALGA DENGAN NITRIFIKASI LIMBAH BERAMONIAK TINGGI

Indro Sumantri, Hadiyanto, Sumarno

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Kampus Baru Tembalang, Semarang-50239
Email : indrotekim@yahoo.com

Abstrak

Biodiesel merupakan salah satu energi alternative yang saat ini memperoleh perhatian yang besar. Hal ini disebabkan oleh banyaknya keuntungan/kelebihan biodiesel, diantaranya sumber yang terbarukan, bersih dan efisien, dan lebih ramah lingkungan. Mikroalga merupakan mikroorganisme fotosintetik yang mempunyai kandungan minyak sekitar 45-85%, sehingga sangat potensial untuk dijadikan biodiesel. Akan tetapi permasalahan yang dihadapi saat ini yaitu belum maksimalnya produksi mikroalga yang berbiomasa tinggi. Oleh karena itu, diperlukan suatu penelitian untuk mengoptimasi proses kultivasi dalam suatu photobioreaktor yang murah dan efisien untuk dengan menghasilkan mikroalga dengan biomasa yang maksimum. Dalam penelitian ini akan digunakan photobioreaktor open pond skala kecil (miniPOND) dengan tujuan untuk mempermudah control dan evaluasi serta lebih mudah dan cepat untuk kultivasi mikroalga.

*Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk memproduksi biodiesel dari mikroalga yang mempunyai biomassa tinggi dengan photobioreaktor open pond skala kecil (miniPOND). Kultivasi akan dilakukan dengan menggunakan reaktor kolam (open pond) skala laboratoirum dengan memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber fotosintesis. Penelitian yang dilakukan optimasi memperoleh data optimum untuk memproduksi mikroalga. Hal ini meliputi : jenis mikroalga yang tahan terhadap kadar amoniak tinggi yaitu *Chlamydomonas*, percobaan dilakukan secara batch dan kontinyu, percobaan batch digunakan untuk menentukan kondisi yang baik sebagai dasar untuk proses kontinyu. Rasio karbon dan nitrogen yang dilakukan meliputi stoikiometri (5,7 :1), dan antara 0,6 – 1,4. Percobaan dilakukan di reaktor dengan volume 50 L, laju aerasi 25 L/menit, pencahayaan lampu 45 W. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa waktu optimum untuk adalah 2 hari berdasarkan hasil pengamatan densitas optik. Pengaruh rasio C dan N tidak begitu terlihat karena hampir mempunyai nilai densitas optik yang hampir sama, densitas optik yang tinggi diperoleh untuk waktu 2 hari. Sistem kontinyu yang dilakukan terlihat bahwa untuk rasio C dan N 1:1 maka hasil panen mikroalga akan diperoleh terbaik pada waktu dua hari kultivasi.*

Kata kunci : biodiesel, mikroalga, *Chlamydomonas*, rasio C/N, bioreaktor, densitas optik.

PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini, penelitian di bidang energi alternatif biodiesel mengalami peningkatan secara berarti. Biodiesel merupakan sumber energi alternatif yang diperoleh dari minyak nabati, misalnya minyak sawit, minyak jagung, dan minyak jatropa, dan minyak hewani sebagai pengganti minyak fosil. Meskipun metodologi pembuatan biodiesel sendiri telah ada sejak 50 tahun lalu, akan tetapi eksplorasi penggunaan mikroalga sebagai sumber biodiesel masih belum optimal dilakukan.

Mikroalga merupakan mikroorganisme fotosintetik yang berpotensi digunakan untuk produk fine chemicals (Borowitzka, 1999), unsur tambahan makanan untuk manusia dan hewan, sistem imobilisasi pembentukan senyawa ekstraselular, untuk biosorpsi logam berat, fiksasi CO₂. Dengan kandungan minyak mencapai 77%, mikroalga juga sangat

berpotensi digunakan sebagai biodiesel yang merupakan sumber energi alternatif dan berdasar perhitungan mikroalga mampu menghasilkan minyak 200 kali lebih banyak dibandingkan sumber nabati lainnya. Keuntungan yang didapat dari biodiesel mikroalga yaitu sumbernya yang terbarukan. Selain itu dengan lokasi berada di katulistiwa, Indonesia mempunyai sumber sinar matahari yang sangat cukup sebagai sumber energi untuk fotosintetik mikroalga (Vonshak dan Torzillo, 2004).

Berdasarkan perhitungan, pengolahan mikroalga pada lahan seluas 4.5 juta hektar mampu menghasilkan biodiesel yang akan dapat mengganti seluruh kebutuhan solar di Amerika Serikat (Oilgae.com, 26/12/2006). Lebih lanjut, luas lahan ini hanya 1% dari total lahan yang sekarang digunakan untuk lahan pertanian dan padang rumput (sekitar 0.5 miliar ha). Semua

jenis alga memiliki komposisi kimia sel yang terdiri dari protein, karbohidrat, lemak (*fatty acids*) dan *nucleic acids* yang persentasenya bervariasi jenis alganya. Ada jenis alga yang memiliki komponen *fatty acids* lebih dari 40%. Dari komponen *fatty acids* inilah yang akan diekstraksi dan diubah menjadi biodiesel (Richmond, 2004).

Persoalan yang dihadapi saat ini dalam pembuatan biodiesel dari mikroalga yaitu belum optimalnya biomasa yang dihasilkan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan suatu metode kultivasi mikroalga dalam suatu bioreaktor yang murah dan efisien. Proses pembuatan biodiesel dari biomasa ini juga akan dioptimasi lanjut sebagai satu rangkaian penelitian.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh biomasa setinggi mungkin dari mikroalga dan untuk memanfaatkan biomasa ini sebagai sumber biodiesel (Chisti, 2008). Perolehan mikroalga biomasa tinggi dilakukan dalam suatu photobioreaktor dengan menggunakan energi seefisien mungkin (Wen Teng-WU dan Chih-Hung Hsieh, 2008).

Selain itu secara khusus penelitian ini bertujuan: (a). Untuk menentukan jenis mikroalga yang mempunyai potensial sebagai penghasil minyak yang tinggi (*Algae Strain isolation*) (Sobczuk dkk, 2006), (b). Untuk merancang photobioreaktor yang murah, efisien dan tidak memerlukan energi yang tinggi. Photobioreaktor akan menggunakan sinar matahari sebagai sumber energi dan pertumbuhan mikroalga. (c). Untuk optimasi proses kondisi /parameter dalam kultivasi mikroalga. Dengan optimasi proses ini diharapkan akan diperoleh produktivitas mikroalga yang tinggi. Parameter proses yang akan di evaluasi yaitu kecepatan pertumbuhan (growth rate), Yield, nutrisi yang digunakan, dan *shear stress*. (d). Untuk mengoptimasi pemanfaatan biomassa dari mikroalga untuk pembuatan biodiesel. (e). Mengidentifikasi permasalahan kultivasi di photobioreaktor system terbuka (biofouling dan kontaminasi) dan memberikan pemecahannya.

Untuk pembuatan biodiesel dari mikroalga sangat diperlukan biomasa dengan konsentrasi sel (density) yang tinggi. Dari beberapa penelitian, maksimum biomasa yang didapat sekitar 0.15-0.3 g/L (Bedell, 1984) sehingga diperlukan suatu metode untuk menaikkan density biomasa mikroalga. Salah satu yang dapat dikembangkan yaitu dengan

mengoptimalkan pemanfaatan sinar matahari (intensitas cahaya 1500-2500 W/ $\mu\text{mol. m}^2$) sebagai salah satu sumber cahaya yang murah. Cahaya matahari ini digunakan mikroalga untuk proses fotosintesis dan pertumbuhan. Akan tetapi, penetrasi maksimum dari sinar matahari ke dalam kultur alga hanya mampu mencapai 2-3 cm dari permukaan, dan ini kurang efisien bagi kultivasi dengan volume yang besar terutama di bagian dasar kolam alga. Di bagian dasar alga akan mendapat sedikit sinar matahari yang tentu saja akan mengakibatkan alga tidak tumbuh. Di lain pihak, sinar matahari yang berlebihan akan menjadi penghambat pertumbuhan (*photoinhibition*), sehingga diperlukan suatu optimasi dan korelasi antara fotosintesis dan productivity dari mikroalga. Sehingga diperlukan suatu penelitian untuk mengoptimisasi penggunaan sinar matahari di dalam photobioreaktor. Hal ini bisa dilakukan dengan menggunakan sistem distributor cahaya. Oleh karena itu perancangan dan implementasi sistem distribusi cahaya dalam bioreaktor sangat diperlukan.

Kultivasi mikroalga dapat dilakukan di tempat tertutup (*closed photobioreactor*) (Grima, dkk, 1999) ataupun sistem terbuka (*open photobioreactor*) (Welssman dan Goebel, 1987) (Miron, dkk, 1999). Keuntungan dari photobioreaktor tertutup yaitu kemudahan akan pengendalian akan temperature, pH, dan cahaya (UV light), sedangkan untuk photobioreaktor terbuka (Olaizola, 2000) mengalami kesulitan dalam pengendalian misalkan mudah terkontaminasi, cahaya matahari yang tergantung cuaca, dan produktivitas masih lebih rendah dari sistem tertutup (Ugwu, dkk, 2007). Dengan melihat hal tersebut, pemilihan jenis photobioreaktor sangat penting dilakukan untuk menghasilkan biomasa yang tinggi dengan pemanfaatan sinar matahari yang maksimum (Hadiyanto, 2009).

Pemanfaatan biomasa mikroalga ke biodiesel akan melalui proses separasi yang tentunya menimbulkan sisa ampas. Hal ini bisa diatasi dengan pemanfaatan sisa separasi untuk pemanfaatannya sebagai bentuk produk lain. Tentunya penelitian ini sangatlah diperlukan, sehingga akan diperoleh suatu bentuk proses biodiesel yang benar-benar terbaharui dan tidak merusak alam (Fukuda, dkk, 2001).

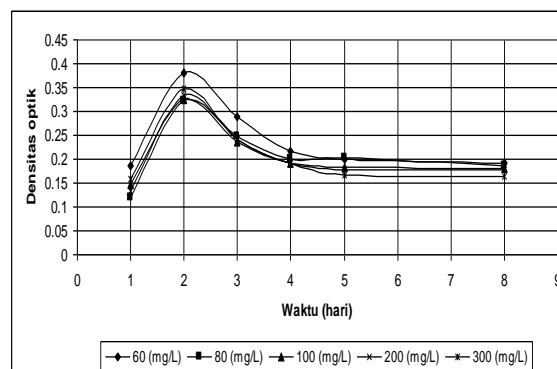
METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan untuk optimasi untuk memperoleh data optimum untuk memproduksi mikroalga. Hal ini meliputi : jenis mikroalga yang tahan terhadap kadar amoniak tinggi yaitu *Chlamydomonas* sudah terbukti tahan terhadap amoniak tinggi. Variabel percobaan yang tetap adalah laju aerasi : 25 L/menit, volume reaktor 50 L, kultur yang digunakan 100 % atau 50 %, sedangkan sebagai variabel yang berubah meliputi : rasio C/N dari yang stoikiometri (5,7 :1), rasio C/N : 0,6 – 1,4, sistem batch dan kontinyu. Respon yang diamati setiap hari adalah : densitas optik dan amoniak sisa dalam larutan. Data yang diperoleh secara batch merupakan dasar untuk percobaan sistem kontinyu.

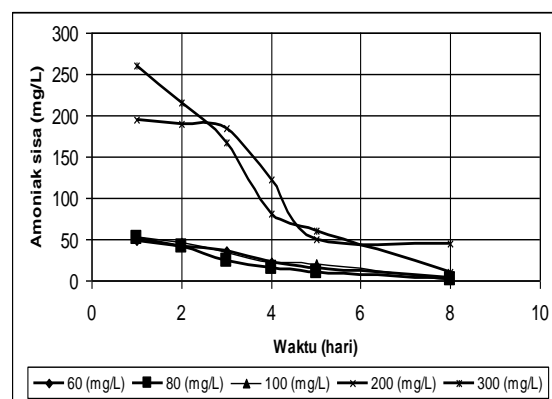
Hasil percobaan untuk rasio C/N stoikiometri dengan beban amoniak awal mulai dari 60 sampai dengan 300 mg/L menunjukkan bahwa nilai densitas optik terbaik pada hari kedua, setelah hari kedua cenderung turun dan mendatar sekitar densitas optik antara 0,15-0,2. Sementara nilai amoniak sisa turun tajam sampai hari ke empat. Untuk rasio C/N antara 0,6 – 1,4 dengan kadar awal amoniak awal sebesar 300 mg/L dan kultur yang digunakan 50 % dan 100 % dari bak kultur mikroalga. Hasil yang diperoleh menunjukkan, semakin tinggi media kultur yang digunakan maka akan semakin baik hasil yang diperoleh. Nilai optimum densitas optik maksimal pada 2 hari dan rasio yang baik adalah 1. Sedangkan amoniak sisa yang paling baik adalah antara 1 – 2 hari untuk kultur 50 % dan 3-4 hari untuk kultur 100 %. Untuk percobaan sistem kontinyu dilakukan pada waktu 4 hari dengan pertimbangan sisa amoniak dalam larutan dengan media kultur 100 %.

Untuk sistem kontinyu dengan waktu tinggal larutan 3 hari, rasio C/N : 1, kultur 50 % dan 100 % dan konsentrasi amoniak awal 300 mg/L, menunjukkan bahwa kultur dengan konsentrasi mikroalga yang tinggi lebih baik dibandingkan kultur 50 % untuk parameter densitas optik. Sedangkan sisa amoniak yang ada dalam larutan relatif sama antara media kultur 50 % dan 100 %.

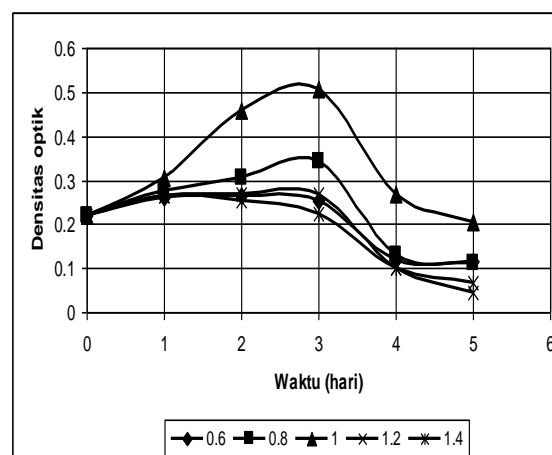
HASIL PERCOBAAN



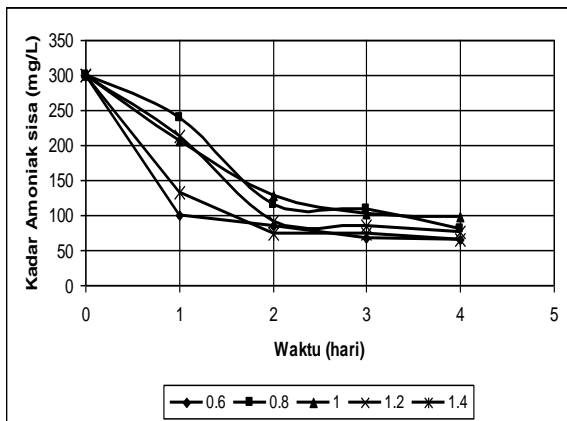
Gambar 1. Pengamatan densitas optik untuk berbagai kadar amoniak (rasio C/N = 5,7/1) sistem batch



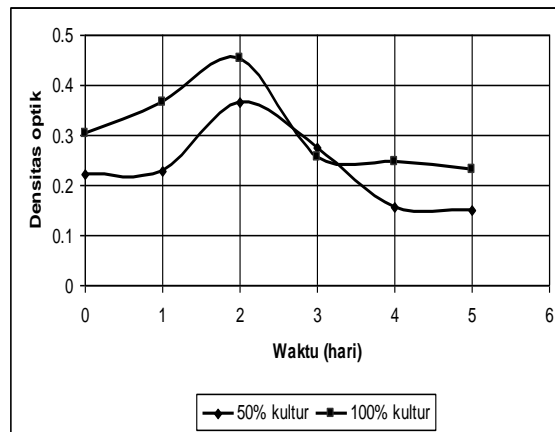
Gambar 2. Kadar amoniak sisa untuk berbagai kadar amoniak (rasio C/N = 5,7/1) sistem batch



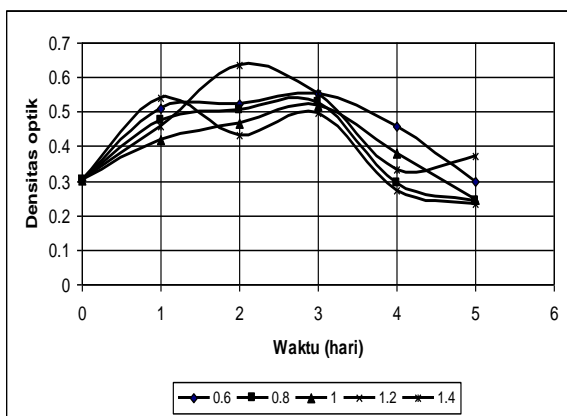
Gambar 3. Pengamatan densitas optik untuk berbagai rasio C/N (NH3 awal : 300 mg/L) sistem batch



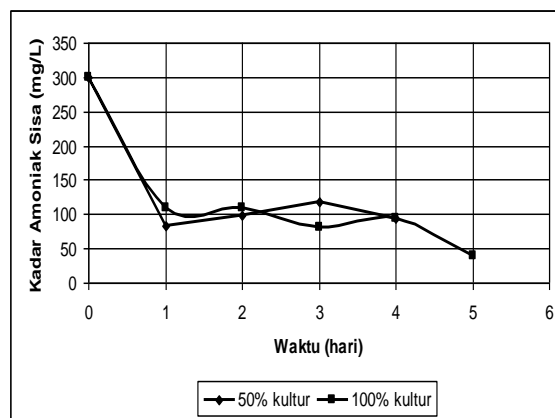
Gambar 4. Kadar amoniak sisa untuk berbagai rasio C/N (kultur 50%) sistem batch



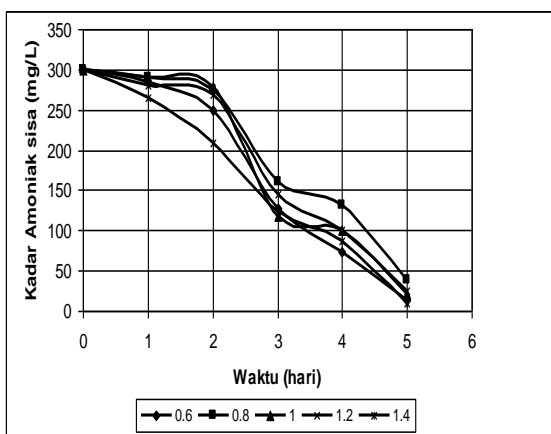
Gambar 7. Pengamatan densitas optik sistem kontinyu



Gambar 5. Pengamatan densitas optik untuk berbagai rasio C/N (NH3 awal : 300 mg/L) sistem batch



Gambar 8. Pengamatan amoniak sisa sistem kontinyu



Gambar 6. Kadar amoniak sisa untuk berbagai rasio C/N (kultur 100%) sistem batch

PEMBAHASAN

Hasil percobaan untuk rasio C/N : 5,7/1 sistem batch (Gambar 1 dan 2) menunjukkan bahwa hasil mikroalga yang baik diperoleh pada waktu 2 hari. Nilai densitas optik paling tinggi sementara untuk sisa kadar amoniak dalam larutan yang paling baik adalah 4 hari. Selama 2-4 hari kadar amoniak sisa yang ada masih banyak yang memungkinkan mikroalga untuk tumbuh (Ugwu dkk, 2007) tetapi hal ini tidak bisa dimanfaatkan karena mikroalga bersifat autotrofik (Bedell, 1984). Hal ini kemungkinan konversi karbon yang ada menjadi mikroalga masih rendah sehingga masih banyak karbon dan nitrogen yang melimpah dalam larutan (Wen Teng-WU dan Chih-Hung Hsieh, 2008). Sedangkan setelah 2 hari pengamatan kemungkinan terjadinya pengeluaran amoniak ke udara oleh adanya aerasi sangat memungkinkan karena amoniak mempunyai titik didih yang rendah (Hadiyanto, 2009).

Kemungkinan yang lain adalah penggunaan sodium bikarbonat (NaHCO_3) (Sobczuk dkk, 2006), sebagai sumber karbon harus memperhitungkan unsur sodium yang ada dalam larutan, adanya unsur sodium ini akan mengakibatkan mikroalga yang terbentuk sangat ringan dan mudah ke luar reaktor (wash out), hal ini teramati dengan semakin mudarnya warna hijau yang ada dalam larutan.

Penggunaan nitrogen yang berlebih (Gambar 3-6) dilakukan dengan variasi C/N : 0,6-1,4 (mol) (Chisti, 2007), hal ini dimaksudkan untuk membuat unsur karbon sebagai pereaksi terbatas yang habis bereaksi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa adanya nitrogen yang berlebih hasil mikroalga yang diperoleh semakin tinggi (densitas optik semakin tinggi) untuk waktu sekitar 2-3 hari. (Olaizola, 2000), demikian juga dengan konsentrasi amoniak sisa yang ada dalam larutan yang sudah rendah untuk waktu 3 hari. Rasio C/N yang paling baik diperoleh sekitar 1 dengan media kultur 50 % dari bak kultur mikroalga dan waktu yang paling baik atas dasar sisa amoniak adalah sekitar 3 hari.

Untuk sistem kontinyu (Gambar 7 dan 8), waktu reaksi yang digunakan adalah 3 hari dan rasio C/N : 1 (Ugwu dkk, 2007) berdasarkan hasil di atas. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa hasil mikroalga yang diperoleh ternyata lebih rendah dibandingkan dengan sistem batch, baik untuk kultur 50 % dan 100%. Dalam sistem batch, mikroalga tidak ke luar dari sistem sedangkan sistem kontinyu maka mikroalga yang ada jika laju pertumbuhannya lebih kecil dari pada laju pelarutannya maka akan banyak mikroalga yang terbang (Borowitzka, 1999). Jika pengamatan dilakukan untuk sisa amoniak yang ada maka akan terlihat bahwa amoniak yang ada sejak hari pertama sudah kecil (Richmond, 2004). Jadi kemungkinannya sudah terbentuk mikroalga akan tetapi densitas yang ada sangat rendah/kecil (adanya kecenderungan unsur sodium untuk membentuk filamen yang densitasnya rendah) (Vonshak dan. Torzillo, 2004), sehingga akan ikut terbang (wash out) bersama-sama dengan larutan yang ada, demikian pula dengan mikroalga spesies *Chlamydomonas* yang sangat kecil dan sulit diendapkan sehingga mudah terbang.

KESIMPULAN

1. Untuk penggunaan spesies *Chlamydomonas* dalam pengolahan limbah amoniak tinggi,

sistem batch lebih tinggi hasilnya dibandingkan dengan sistem kontinyu,

2. Semakin tinggi kadar nitrogen yang berlebihan semakin tinggi hasil mikroalga yang diperoleh, yang paling baik rasio C/N : 1,
3. Sistem dengan kultur yang lebih rendah lebih menguntungkan dibandingkan dengan sistem kultur yang lebih tinggi mikroalganya, karena akan ada adaptasi mikroalga yang ada.

SARAN

1. Untuk sistem kontinyu sebaiknya mikroalga yang terbang bisa dikembalikan ke sistem semula agar tidak ada mikroalga yang terbang, perolehan mikroalga dapat dilakukan dengan penambahan flokulan seperti alum.
2. Sedapat mungkin dibatasi adanya unsur sodium dalam larutan karena kemungkinan terbentuknya mikroalga yang sangat rendah densitasnya dibandingkan dengan air sehingga akan mudah terbang.

DAFTAR PUSTAKA

- Wellsman, J.C and Goebel, R.P, 1987, *Design and Analysis of Microalgal Open Ponds for the Purpose of Producing Fuels*, Sub Contract Report at Solar energy Research Institute- Colorado USA.
- Wen Teng-WU and Chih-Hung Hsieh, 2008, Cultivation of microalgae for optimal oil production, *Journal of Biotechnology*, 136(1):p:S521.
- Y. Chisti, 2007, Biodiesel from microalgae, *Biotechnol. Adv.* **25**, pp. 294–306.
- E. Molina Grima, F.G. Ación Fernández, F. García Camacho and Y. Chisti, 1999, Photobioreactors: light regime, mass transfer, and scaleup, *J. Biotechnol.* **70** (1999), pp. 23–247.
- T. Mazzuca Sobczuk, F. García Camacho, E. Molina Grima and Y. Chisti, 2006, Effects of agitation on the microalgae *Phaeodactylum tricornutum* and *Porphyridium cruentum*, *Bioprocess Biosyst. Eng.* **28**, pp. 243–250.
- Y. Chisti, 2008, Biodiesel from microalgae beats bioethanol, *Trends Biotechnol.* **26**, pp. 126–131.
- Bedell, G.W., 1984, Stimulation of Commercial Algal Biomass Production by the Use of Geothermal Water for Temperature Control,

- Biotechnology and Bioengineering* 27:1063-1066.
- Ugwu, C.U, Aoyagi, H and Uchiyama, H, 2007, Photobioreactors for Mass cultivation of Algae, *Bioresource Technology*, in press
- Hadiyanto, 2009, *Design High Raceways Algae Pond using CFD*, Internal Report TUDelft, Netherlands.
- Fukuda H, Kondo A, Noda H, 2001, Biodiesel fuel production by transesterification of oil, *J. Biosci Bioeng* 92:405-416.
- Borowitzka MA,1999, Pharmaceuticals and agrochemicals from microalgae. In: Cohen Z,editor. *Chemicals from Microalgae*. Taylor &Francis:p: 313-352.
- Sanchez Miron A, Contreras Gomez A, Garcia Camacho F, Molina Grima E, Chisti Y, 1999, Comparative Evaluation of Compact photobioreactor for large scale monoculture of microalgae, *J. Biotechnology* 70: 249-270.
- M. Olaizola, 2000,Commercial production of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* using 25,000-liter outdoor photobioreactors, *J. Appl. Phycol.* **12**, pp. 499–506.
- A. Vonshak and G. Torzillo, 2004, Environmental stress physiology. In: A. Richmond, Editor, *Handbook of Microalgal Culture*, Blackwell Publishers, Oxford , pp. 57–82.
- Richmond A.2004. Biological principles of mass cultivation. In: Richmond A, editor: *Handbook of microalgae culture : Biotechnology and applied phycology*. Blackwell.p:125-177.