

# Desain Closed Photobioreaktor *Chlorella Vulgaris* Sebagai Mitigasi Emisi CO<sub>2</sub>

Rizqa Daniyati, Gatut Yudoyono, dan Agus Rubiyanto

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: arubi@physics.its.ac.id

**Abstrak** — Telah dilakukan desain *closed photobioreaktor* yang sesuai dengan perkembangan mikroalga *Chlorella Vulgaris* pada *closed fotobioreaktor*. Penelitian ini menggunakan jenis *flat-plate* berdimensi 14x15x20 cm dengan efektivitas media kultur 2500 ml dan sumber cahaya lampu Tungsten Halogen 20 Watt 220 Volt sebanyak dua buah yang diletakkan pada sisi kanan dan kiri reaktor dengan intensitas cahaya 1000 lux. Penelitian ini menggunakan dua buah fotobioreaktor yaitu jenis I tidak disuplai dengan CO<sub>2</sub> dan jenis II disuplai dengan CO<sub>2</sub> sebanyak 15 % dengan kepadatan sel awal kultur *Chlorella Vulgaris*  $14,6857 \times 10^5$  sel/ml kemudian pengamatan selanjutnya dilakukan setiap hari menggunakan Haemocytometer. Pengambilan data konsentrasi O<sub>2</sub> dilakukan setiap hari sebanyak 3 kali pada lama penyinaran 1, 4, dan 7 jam dengan menggunakan sensor gas O<sub>2</sub> KE-50. Nilai  $\Delta$  konsentrasi optimum O<sub>2</sub> pada fotobioreaktor I terjadi pada hari ke-2 yaitu 0,68% dan pada fotobioreaktor II 0,54%.

**Kata Kunci** — Closed fotobioreaktor, *Chlorella Vulgaris*, CO<sub>2</sub>, Konsentrasi O<sub>2</sub>

## I. PENDAHULUAN

**G**LOBAL WARMING semakin hari semakin meningkat seiring dengan munculnya pabrik-pabrik industri baru di dunia yang menghasilkan limbah cair, gas, maupun padat dan menimbulkan masalah dalam penanganannya. Terutama limbah gas berupa gas rumah kaca yang termasuk di dalamnya adalah emisi gas CO<sub>2</sub> dari pembakaran bahan bakar fosil telah terakumulasi di atmosfer sehingga berdampak pada pemanasan dan perubahan iklim di bumi. Banyak penanganan yang telah dilakukan untuk mengurangi *Global Warming* ini salah satunya dengan adanya ide pembuatan bioreaktor menggunakan alga yang mudah dikembangbiakkan dan memiliki potensi lebih besar untuk mengurangi gas rumah kaca daripada dengan penanganan dengan cara reboisasi hutan [1].

Fotobioreaktor merupakan bioreaktor yang digabungkan dengan sumber cahaya tertentu untuk asupan energi cahaya ke dalam reaktor. Fotobioreaktor merupakan sistem tertutup yang lebih mudah dikontrol dan disesuaikan desainnya dengan lokasi pemasangan, dan lebih bisa mencegah kontaminasi, mencegah penguapan air dan CO<sub>2</sub>, dan tidak memerlukan area yang luas. Dengan fotobioreaktor, produktivitas biomassa yang tinggi bisa dicapai dan kontaminasi lebih mudah dihindari.

Beberapa model fotobioreaktor telah diteliti, diawali sejak tahun 1950an oleh Davis (1953) di Carnegie Institution di Washington. Fotobioreaktor tersebut berkapasitas satu

liter, 65% nya dalam bentuk tabung gelas maupun plastik dan sisanya berupa ruang pengendapan.

Alga merupakan organisme berkloroplas yang menghasilkan oksigen melalui proses fotosintesis. Jumlahnya yang melimpah dan cara perkembang biakannya yang mudah memungkinkan menjadikan alga sebagai sumber daya terbarukan. Alga dinilai efektif mereduksi emisi CO<sub>2</sub> karena kemampuannya dalam mereduksi CO<sub>2</sub> dalam proses fotosintesis [2].

Keuntungan penggunaan mikroalga dalam proses mitigasi emisi gas CO<sub>2</sub> adalah prosesnya berjalan alami seperti prinsip ekosistem alam sehingga sangat ramah lingkungan dan tidak menghasilkan limbah sekunder. Keunggulan lainnya adalah pada proses ini daur ulang nutrisi berjalan sangat efisien dan menghasilkan biomassa yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan [2]. Sebaliknya kelemahannya dari penggunaan mikroalga adalah prosesnya yang membutuhkan waktu yang relatif lama, memerlukan cahaya dan beberapa fisiologi yang belum diketahui secara jelas [3].

Pada penelitian ini dilakukan penelitian tentang fotobioreaktor dengan menggunakan alga jenis *chlorella vulgaris* sebagai reaktor penghasil O<sub>2</sub> serta pengoptimalan energi cahaya sebagai sumber energinya, dimana digunakan jenis *flat-plate* dimensi 14x15x20 cm dengan pengendalian pH, temperatur serta faktorvisio kimia. Variasi diberikan dengan memberikan suplai CO<sub>2</sub> di ke-2 jenis fotobioreaktor. Kemudian dapat diketahui konsentrasi O<sub>2</sub> yang dihasilkan dari fotobioreaktor dan kemampuannya dalam mengatasi emisi gas CO<sub>2</sub>. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan referensi untuk pengoptimalan *closed fotobioreaktor chlorella vulgaris* dan digunakan oleh industri-industri untuk mengurangi polusi udara, terutama mengurangi emisi gas rumah kaca yang diakibatkan oleh emisi gas CO<sub>2</sub>.

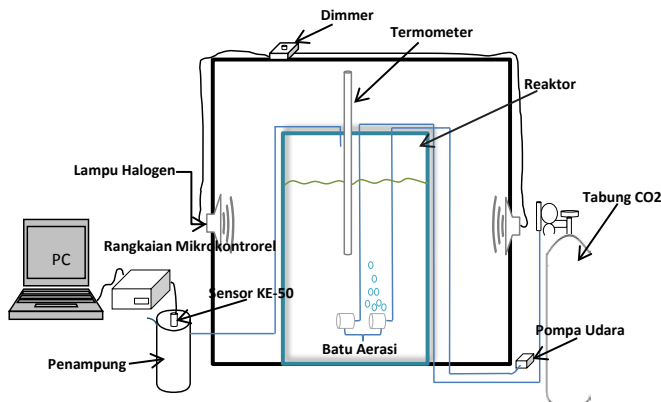
## II. METODELOGI PENELITIAN

### A. Desain Fotobioreaktor

Desain fotobioreaktor ini terdiri dari 2 buah kolam kaca berbentuk flat plate dengan dimensi yang sama yaitu 14 cm x 15 cm x 20 cm dengan volume efektif media 2500 ml. Reaktor ini termasuk jenis *flat plate closed photobioreaktor* dimana desain ini relatif murah dan lebih mudah dibersihkan selain itu distribusi cahaya sebagai sumber energinya dapat lebih merata.

Sebelum pemilihan lampu yang digunakan untuk sistem pada fotobioreaktor maka sampel *Chlorella Vulgaris*

diuji absorbasinya menggunakan spektrometer uv-vis. Dari hasil yang diperoleh disimpulkan bahwa *Chlorella Vulgaris* hampir menyerap semua panjang gelombang *visibel* serta pada daerah inframerah sehingga digunakan lampu halogen sebagai pencahayaan sistem.



Gambar 1. Skema Desain closed Fotobioreaktor

Reaktor diletakkan di dalam chamber cahaya berukuran 40 cm x 50 cm x 50 cm dengan diberikan sumber cahaya lampu Halogen 20 watt 220 volt di sisi kanan dan kiri yang dihubungkan dengan Dimmer Lamp untuk pengatur intensitas cahaya yang diberikan ke sistem. Bagian dalam chamber cahaya di lapiasi dengan aluminium foil agar intensitas cahaya yang dihasilkan bisa terkuantisasi sehingga fotobioreaktor mendapatkan penyinaran yang maksimal (Gambar 1).

Pada bagian atas fotobioreaktor diberikan tiga saluran, saluran pertama merupakan saluran keluaran untuk gas hasil sistem fotobioreaktor ke penampung untuk di ukur konsentrasinya. Saluran kedua untuk aerasi dari pompa udara yang dihubungkan dengan selang dan bagian ujungnya dihubungkan dengan batu aerasi. Untuk saluran yang ketiga adalah untuk pengambilan sampel algae untuk dihitung kepadatannya setiap 2 hari sekali. Untuk menghindari kebocoran gas sehingga gas yang dihasilkan bisa mengalir ke penampung gas maka setiap sambungannya dilapisi dengan vaselin. Suhu pada fotobioreaktor diukur dengan menggunakan termometer tabung setiap hari. Untuk sirkulasi udara dalam chamber cahaya diberi kipas yang diarahkan ke lubang sebagai sirkulasi udara agar udara di dalam chamber cahaya tidak mencapai suhu maksimum fotobioreaktor.

### B. Media Kultur

Media yang digunakan dalam penelitian ini adalah air kolam fisika FMIPA ITS yang telah disanitasi dengan melakukan perebusan dengan suhu 110°C, sebelumnya air tersebut disaring. Media air tersebut diberikan nutrisi berupa pupuk Urea 100 gr yang telah dilarutkan dengan akuades 100 ml dengan dosis 1 ml/1 liter [4]. Setelah itu diaerasi selama kurang lebih 30 menit agar nutrisi yang di larutkan kedalam air tersebut merata. Pemberian biakan *chlorella vulgaris* diberikan sebanyak 250 ml kedalam media kultur sebanyak 2250 ml sehingga volume efektif medianya menjadi 2500ml [1]. Media ini diukur pH nya dengan kertas indikator saat

awal proses dan akhir proses fotobioreaktor. Kemudian kondisi operasi fotobioreaktor diukur dan dijaga suhunya berkisar antara rentang 26°-30°C dengan termometer tabung.

### C. Operasional Fotobioreaktor

CO<sub>2</sub> diberikan secara berkala dengan pengukuran menggunakan flowmeter yang terpasang pada regulator CO<sub>2</sub>. Kemudian gas CO<sub>2</sub> diinjeksikan ke dalam skala batch untuk diketahui konsentrasi O<sub>2</sub> hasil fotosintesis mikroalga selama satu siklus hidup fitoplankton sekitar 12 hari. Fotobioreaktor berkapasitas 3 liter diisi dengan 2500 ml media kultur. Gas CO<sub>2</sub> dialirkan ke dalam reaktor dengan sistem tertutup dari dasar reaktor dengan menggunakan air distributor berpori halus (batu aerasi). Sebelum proses pada fotobioreaktor berlangsung dilakukan uji kebocoran gas hasil keluaran reaktor dengan menggunakan pompa udara kemudian selang keluaran dimasukkan kedalam cairan spiritus dan dilihat keluarannya apakah sama dengan keluaran didalam reaktor. Jika keluaran yang dihasilkan sama maka reaktor sudah ready untuk digunakan.

Volume gas CO<sub>2</sub> yang diinjeksikan sebanyak 15 % dan diukur secara kontinu selama percobaan berlangsung dengan flowmeter. Penerangan lampu dilakukan dalam selang waktu 9 jam dari pukul 08.00 hingga 17.00. Dengan Intensitas 1000 lux yang diukur dengan luxmeter dan diatur dengan *dimmer lamp*.

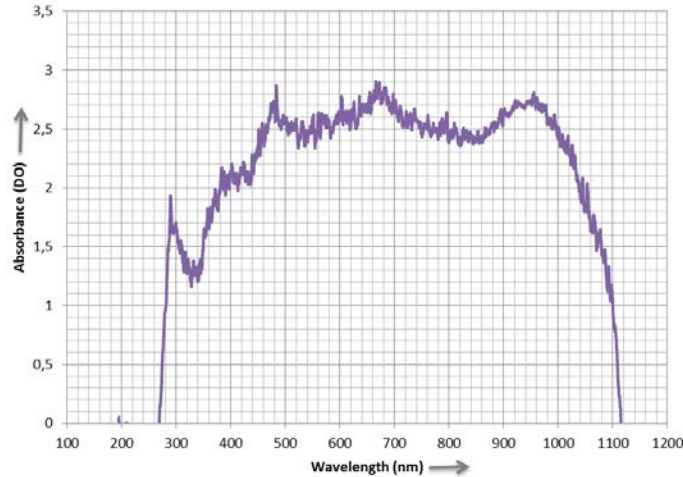
Nilai pH di ukur menggunakan kertas indikator pH pada awal proses dan akhir proses fotobioreaktor. Sedangkan suhu operasional pada fotobioreaktor dipantau setiap hari menggunakan termometer tabung. Konsentrasi O<sub>2</sub> dalam rangkaian sistem fotobioreaktor diukur sebanyak 3 kali sehari, yaitu setelah 1 jam, 4 jam dan 7 jam penyinaran, dengan menggunakan sensor gas O<sub>2</sub> KE-50. Sensor gas ini mempunyai struktur yang sama dengan baterai yang terdiri dari elektroda dan elektrolit. Gas Oksigen yang dalam sensor direduksi oleh elektroda emas dengan reaksi elektrokimia. Anoda dan katoda dihubungkan dengan sebuah termistor dan resistor. Resistansi dua resistor ini mengubah arus yang terjadi akibat reaksi elektrokimia menjadi tegangan. Tegangan resistansi ini lah yang digunakan sebagai keluaran sensor oksigen. Tegangan ini kemudian dikalibrasi dengan nilai konsentrasi O<sub>2</sub> yang terbaca pada mikrokontroler [5].

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Intensitas Cahaya Dan Penyinaran Fotobioreaktor

Cahaya merupakan sumber energi utama bagi mikroalga untuk melakukan fotosintesis, namun tidak semua spektrum cahaya dipergunakan oleh mikroalga dalam proses fotosintesis. Penyinaran yang digunakan secara optimal oleh mikroalga untuk proses fotosintesis adalah panjang gelombang yang berkisar antara 400 nm – 680 nm. Oleh karena itu dilakukan pengujian absorpsi cahaya mikroalga *Chlorella Vulgaris* menggunakan spektrometer uv-vis. Dari pengujian yang dilakukan didapat Grafik 2 dimana rentang panjang gelombang yang mengalami absorpsi optimal berkisar antara 2 OD – 3 OD adalah pada rentang panjang gelombang 400 nm - 1000 nm. Hal ini berarti bahwa panjang gelombang optimal yang diserap oleh alga *chlorella vulgaris* berada pada sinar visibel hingga sinar infrared.

Hasil ini digunakan sebagai penentuan pencahayaan dan jenis lampu yang digunakan sebagai sumber energi cahaya bagi mikroalga. Berdasarkan hasil tersebut digunakan lampu halogen tungsten, dimana lampu halogen tungsten memiliki rentang spektrum cahaya yang lebih lebar daripada jenis lampu yang lain, yaitu pada daerah inframerah, visibel dan kurang dari 0,3 % pada daerah ultraviolet.



Gambar 2. Hasil Spektrometer Uv-Vis untuk *chlorella vulgaris*

Intensitas yang digunakan dalam fotobioreaktor tertutup adalah 1000 lux. Hal ini berdasarkan atas rentang nilai optimum pertumbuhan mikroalga yang hidup dalam rentang 1000 lux – 5000 lux. Laju fotosintesis akan berbanding lurus dengan intensitas cahaya yang diberikan, dengan batasan pada nilai intensitas maksimum justru dapat merusak sistem reseptor fotosintetik (*photoinhibition*) [6]. Karena cahaya yang tidak diserap atau tidak digunakan dalam proses fotosintesis akan diubah menjadi energi panas, yang nantinya justru menghambat perkembangbiakan kultur.

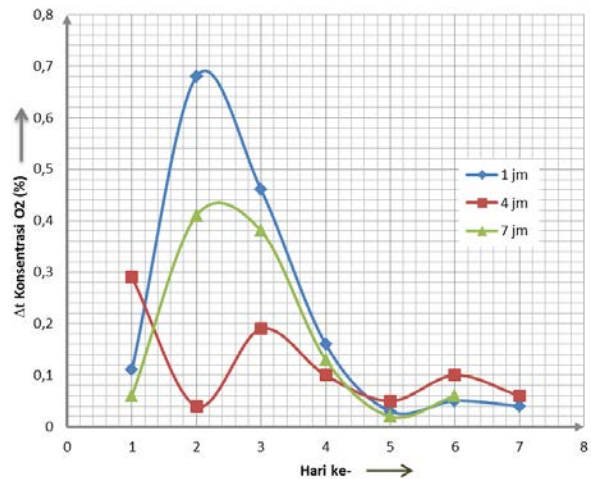
**B. Hasil Pengukuran Dan Pembahasan**

Variasi yang diberikan pada penelitian ini adalah adanya pemberian suplai CO<sub>2</sub> dan data yang dihasilkan adalah berupa konsentrasi O<sub>2</sub> dalam penampung gas. Berdasarkan pada hasil proses fotosintesis dihasilkan gas Oksigen (O<sub>2</sub>) dan glukosa. O<sub>2</sub> yang siap dibebaskan ke udara bebas merupakan hasil samping dari proses fotosintesis mikroalga dan glukosa yang digunakan oleh mikroalga untuk sumber energi. Dari data tersebut diperoleh hubungan laju konsentrasi O<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh fotobioreaktor dengan suplay CO<sub>2</sub> dan tanpa suplay CO<sub>2</sub> berdasarkan pada lamanya proses fotobioreaktor.

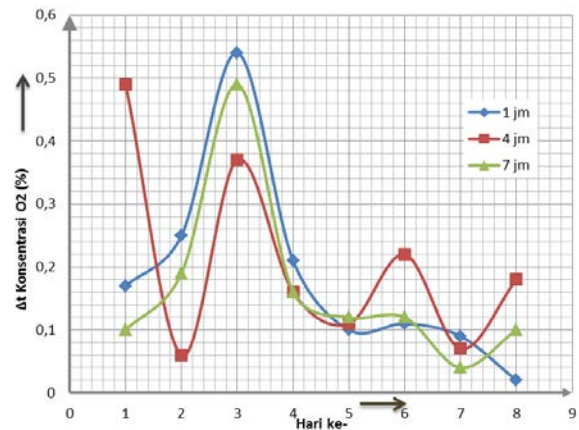
Data konsentrasi O<sub>2</sub> ini diambil setiap hari dengan variasi lamanya peninaran yang diberikan yaitu 1, 4, dan 7 jam peninaran untuk mengetahui optimasi proses fotosintesis terhadap lamanya peninaran. Pengambilan data konsentrasi O<sub>2</sub> tidak dilakukan pada malam hari karena proses fotosintesis tidak berlangsung optimal pada waktu tersebut [2].

Fotobioreaktor I adalah jenis yang tidak disuplay dengan CO<sub>2</sub>. Dari Gambar 3 kenaikan Δ konsentrasi O<sub>2</sub> yang merupakan Δ dari konsentrasi O<sub>2</sub> di udara bebas (Tabel 2 terlampir) dengan yang terdeteksi di dalam penampung. Kenaikan ini mulai terjadi pada hari ke-1 dan mengalami

puncaknya pada hari ke-2 dan pada hari ke-3 mulai mengalami penurunan yang drastis hingga nilai konsentrasi O<sub>2</sub> yang dihasilkan lebih rendah daripada udara bebas. Hal ini karena mikroalga mengalami fase penurunan laju pertumbuhan dimana pada fase ini jumlah populasi mikroalga bertambah namun nutrisi yang berada pada media kultur berkurang sehingga terjadi kompetisi yang cukup tinggi pada fotobioreaktor dan ini bisa berujung pada fase kematian (*death phase*) [7]. Jumlah kepadatan sel mikroalga yang menurun berpengaruh besar terhadap konsentrasi O<sub>2</sub> yang dihasilkan karena berakibat semakin sedikit pula proses fotosintesis yang terjadi di dalam fotobioreaktor.



Gambar 3. Konsentrasi O<sub>2</sub> yang dihasilkan Reaktor I pada penampung I dengan Intensitas 1000 lux.

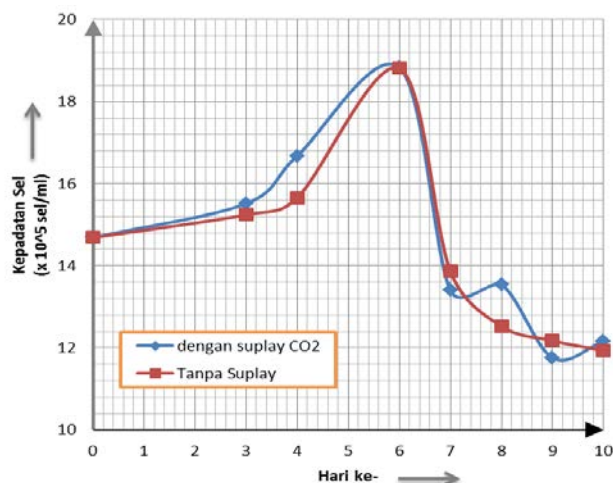


Gambar 4. Konsentrasi O<sub>2</sub> yang dihasilkan Reaktor II pada penampung II dengan Intensitas 1000 lux.

Fotobioreaktor II merupakan reaktor mikroalga yang disuplay dengan penambahan CO<sub>2</sub> sebagai tambahan carbon dalam proses fotosintesis. Dalam penelitian ini suplay CO<sub>2</sub> diberikan sebanyak 15% volume. Berdasarkan data pada Tabel 1 (terlampir) terjadi kenaikan pada hari ke-1 pada lama peninaran 4 jam namun data yang dihasilkan tidak stabil mulai dari awal penelitian. Untuk nilai optimum kenaikan Δ konsentrasi O<sub>2</sub> berada pada lama peninaran 1 jam dengan Δ konsentrasi O<sub>2</sub> sebesar 0,54 % , kenaikan ini terjadi di hari

ke-2. Kenaikan secara signifikan untuk setiap lama penyinaran terjadi pada hari ke-3. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh antara pemberian suplai CO<sub>2</sub> 15% ke fotobioreaktor.

Dari grafik yang ditampilkan pada Gambar 3 dan 4 dapat diketahui hubungan antara pemberian suplai gas CO<sub>2</sub> (fotobioreaktor II) dengan yang tanpa suplai (fotobioreaktor I). Terlihat bahwa walaupun nilai konsentrasi O<sub>2</sub> sistem pada fotobioreaktor I cukup rendah dibanding dengan fotobioreaktor II namun nilai yang dihasilkan relatif stabil dan masih terus beroperasi sampai hari ke-9 dimana nilainya menurun bahkan dibawah udara bebas. Nilai dari konsentrasi O<sub>2</sub> pada 5 hari awal cukup tinggi dan mengalami *lag fase* [7]. Namun jika dibandingkan dengan fotobioreaktor I nilai konsentrasi ini lebih rendah hal ini dikarenakan adanya suplai CO<sub>2</sub> di pagi hari dimana karena keterbatasan alat, gelembung gas yang disuplai terlalu besar sehingga hanya sebagian gas CO<sub>2</sub> yang larut dalam air dan sisanya masih berupa gas dan mengalir pada penampung sehingga mendesak gas O<sub>2</sub> yang dihasilkan dan konsentrasi O<sub>2</sub> yang terdeteksi lebih sedikit daripada konsentrasi pada fotobioreaktor II.



Gambar 5. Pertumbuhan *Chlorella Vulgaris* dalam closed photobioreaktor

Dari data lamanya penyinaran juga dapat dilihat, karena suplai CO<sub>2</sub> diberikan pada pagi hari yaitu saat awal penyinaran diberikan maka saat hari ke-1 dengan lama penyinaran 7 jam terlihat nilai  $\Delta$  konsentrasi O<sub>2</sub> yang dihasilkan lebih tinggi daripada pada lama penyinaran 1 dan 4 jam. Nilai konsentrasi O<sub>2</sub> pada hari ke-7 mulai tidak konstan ditunjukkan dengan grafik yang naik turun serta nilai konsentrasi yang cukup rendah hal ini dapat dijelaskan dengan grafik kepadatan sel pada Gambar 5. Terlihat terjadi peningkatan jumlah kepadatan sel dari *Chlorella Vulgaris* pada hari ke-1 hingga mencapai puncaknya pada hari ke-6 setelah itu mengalami penurunan yang signifikan, ini dikarenakan mikroalga mengalami fase kematian dimana jumlah nutrisi yang berkurang sedangkan jumlah populasi yang meningkat sehingga terjadi kompetisi didalam fotobioreaktor.

Dari data kepadatan sel yang diperoleh tersebut terlihat bahwa perbedaan nilai kepadatan sel dari fotobioreaktor I dan II berbeda hal ini memperjelas adanya efek penambahan suplai gas CO<sub>2</sub> sebagai tambahan carbon yang dibutuhkan dalam proses fotosintesis dan juga berpengaruh pada

peningkatan kepadatan sel mikroalga, terlihat dari kepadatan sel yang lebih tinggi terjadi pada fotobioreaktor II.

Ketidastabilan data ini bisa disebabkan karena faktor suhu sistem terlalu tinggi hingga mencapai 30° yang bisa saja justru menghambat pertumbuhan walaupun dari literatur mikro alga jenis *Chlorella Vulgaris* merupakan mikro alga yang tahan terhadap suhu yang ekstrim terutama suhu rendah. Pemanasan ini berasal dari panas yang dihasilkan oleh lampu halogen tungsten karena halogen tungsten merupakan radiator panas, yang berarti cahaya yang dihasilkan merupakan hasil dari memanaskan konduktor (filamen) dengan suhu yang tinggi [8]. Walaupun telah diberikan kipas didalam sistem untuk mengurangi suhu namun hal ini ternyata kurang maksimal.

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan penelitian yang diperoleh dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain closed fotobioreaktor plat flate ini mampu menghasilkan gas buang berupa gas O<sub>2</sub> yang terdeteksi oleh sensor KE-50.
2. Nilai konsentrasi O<sub>2</sub> dengan intensitas 1000 lux pada fotobioreaktor II lebih stabil dan terdeteksi lebih lama daripada fotobioreaktor I dikarenakan adanya suplai CO<sub>2</sub> pada sistem fotobioreaktor II.
3. Panjang gelombang yang sesuai untuk aktifitas mikroalga *chlorella vulgaris* adalah dalam rentang 400 nm -1000 nm.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. K. B. Bishop, and R.E. Davis, "Autonomous Observing Strategies for the Ocean Carbon Cycle," Lawrence Berkeley National Laboratory. Paper LBNL-46860 (2000).
- [2] Santoso, Dwi Arif, A. Rahmania, Darmawan, Joko P, "Mikro Alga Untuk Penyerapan Emisi CO<sub>2</sub> Dan Pengolahan Limbah Cair Di Lokasi Industri". *Jurnal Ilmu dan Teknologi kelautan Tropis*, Vol.3, (2011, Nov.) 62-70.
- [3] T. Chrismadha, I. D. A. Sutapa, Hidayat, Rosidah dan Y. Mardiaty, "Pengaruh Cahaya Intermitan Terhadap Fotosintesis Kultur Alga *Chlorella vulgaris*". Makalah dipresentasikan pada Seminar Nasional Biologi VIII Bandung (2000).
- [4] Y. Pudyanta. (2011, Sep.). Budidaya *Chlorella* sp [Online]. Available : <http://yegipudyanta.blogspot.com/2011/09/budidaya-chlorella-sp.html>.
- [5] Gaguk Resbiantoro, "Perancangan dan Pembuatan Sistem Monitoring Produksi Biogas," Tugas Akhir program Sarjana Jurusan Fisika FMIPA ITS: Surabaya (2011).
- [6] C. Posten, "Design principles of photo-bioreactors for cultivation of microalgae". Institute of Life Science Engineering, Division of Bioprocess Engineering, University of Karlsruhe, Strasse am Forum 8, D-76131 Karlsruhe (2009).
- [7] Suharto, 1995. *Bioteknologi dalam Dunia Industri*. Yogyakarta: Andi Off Set (1995).
- [8] Virginia Rosslyn, *Tungsten-halogen Lamps (Bulbs): Ultraviolet, Rupture, And High Temperatur Risks*, National Electrical Manufacturers Association (1999).

## LAMPIRAN

Tabel 1. Data konsentrasi O<sub>2</sub> pada Fotobioreaktor I dan II

| Hari ke- | Konsentrasi O <sub>2</sub> (%) |       |       |                              |       |       |
|----------|--------------------------------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|
|          | Dengan Suplai CO <sub>2</sub>  |       |       | Tanpa Suplai CO <sub>2</sub> |       |       |
|          | 1 Jam                          | 4 Jam | 7 Jam | 1 Jam                        | 4 Jam | 7 Jam |
| 1        | 20,73                          | 20,64 | 20,88 | 20,67                        | 20,44 | 20,71 |
| 2        | 20,53                          | 20,68 | 20,65 | 20,96                        | 20,62 | 20,87 |
| 3        | 21,2                           | 20,92 | 21,01 | 21,12                        | 20,77 | 20,9  |
| 4        | 21,01                          | 20,96 | 20,96 | 20,96                        | 20,9  | 20,93 |
| 5        | 20,9                           | 20,65 | 20,98 | 20,88                        | 20,59 | 20,83 |
| 6        | 20,91                          | 20,84 | 20,78 | 20,75                        | 20,72 | 20,72 |
| 7        | 20,96                          | 20,92 | 20,68 | 20,89                        | 20,91 | 20,63 |
| 8        | 20,64                          | 21,01 | 20,64 | 20,92                        | 21,01 | 20,64 |
| 9        | 20,89                          | 20,91 | 21,12 | 21,12                        | 20,91 | 20,89 |
| 10       | 21,07                          | 30,86 | 20,8  | 21,07                        | 20,7  | 20,79 |

Tabel 2. Data konsentrasi O<sub>2</sub> pada Udara Bebas

| Hari ke- | Konsentrasi O <sub>2</sub> (%) |       |       |
|----------|--------------------------------|-------|-------|
|          | 1 jam                          | 4 jam | 9 jam |
| 1        | 20,56                          | 20,15 | 20,77 |
| 2        | 20,28                          | 20,62 | 20,46 |
| 3        | 20,66                          | 20,55 | 20,52 |
| 4        | 20,8                           | 20,8  | 20,8  |
| 5        | 20,8                           | 20,54 | 20,86 |
| 6        | 20,8                           | 20,62 | 20,66 |
| 7        | 20,85                          | 20,85 | 20,64 |
| 8        | 20,9                           | 20,83 | 20,54 |
| 9        | 20,91                          | 20,89 | 20,8  |
| 10       | 21,07                          | 20,8  | 20,8  |