

Fiksasi CO₂ oleh *Chlorella vulgaris* sebagai Medium Pengkonversi dalam Bubble Column Reactors

Agus Choirul Arifin, Gatut Yudoyono

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

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

Abstrak—Desain close photobioreactor telah dibuat dengan bertujuan untuk mengetahui konsentrasi maksimum O₂ yang diperoleh dari biofiksasi CO₂ oleh *Chlorella vulgaris*. Penelitian ini menggunakan jenis bubble column reactors dengan sistem pencahayaan polikromatik buatan dan intensitas cahaya rata-rata 1000 lux dari 4 buah lampu yang dipasang di empat sisinya. Photobioreactor yang digunakan sebanyak 4 buah yang masing-masing diberikan kerapatan sel berbeda. Operasional photobioreactor diawali dengan pengkondisian medium kultivasi kemudian pemberian CO₂ yang diinjeksikan pada semua tabung berisi *Chlorella vulgaris* dengan proporsi yang sama. Penyinaran reaktor dilakukan selama 2 jam agar terjadi proses konversi gas CO₂. Hasil reaktor berupa konsentrasi O₂ terukur pada sensor KE 50. Pengukuran dilakukan dua kali dalam sehari. Konsentrasi gas O₂ maksimum dan stabil diperoleh pada reaktor yang menggunakan kerapatan sel 33,76 x 10⁵ sel/ml dan 40,51 x 10⁵ sel/ml.

Kata kunci—Close photobioreactor, Bubble column reactors, O₂, *Chlorella vulgaris*, Polikromatik, CO₂

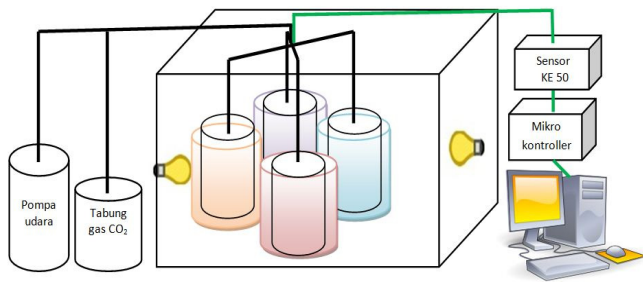
I. PENDAHULUAN

PHOTOBIOREACTOR merupakan salah satu teknologi yang digunakan untuk menanggulangi dampak dari pemanasan global. Pemanasan global merupakan suatu keadaan yang menunjukkan peningkatan konsentrasi gas efek rumah kaca sehingga mengubah kondisi udara normal pada lingkungan. Beberapa faktor yang mendominasi penyebab peningkatan efek pemanasan global antara lain penggunaan batu bara dan minyak. Batubara adalah salah satu bahan bakar yang menyumbangkan emisi CO₂ tertinggi diantara gas efek rumah kaca yang lain. Selain itu, batubara memiliki kadar abu yang tinggi (15-45%) dan nilai efisiensi kalori yang rendah sehingga untuk membersihkan batubara memerlukan usaha yang lebih agar tidak mencemari lingkungan [1].

Dampak negatif dari pemanasan global dianalisis berdasarkan peningkatan konsentrasi gas efek rumah kaca yakni CO₂. Konsentrasi ini mengalami peningkatan tiap tahunnya hingga melebihi ambang batas normal. Pada kondisi ideal konsentrasi gas CO₂ lingkungan yang aman bagi manusia dan hewan adalah berkisar 350 ppm. Jika konsentrasi CO₂ udara bebas melebihi konsentrasi ini, udara

akan bersifat sebagai toksin bagi tubuh makhluk yang bersangkutan. Dampak lain dari peningkatan suhu global diperkirakan akan menyebabkan perubahan-perubahan lain seperti naiknya permukaan laut, meningkatnya intensitas fenomena cuaca yang ekstrim, serta perubahan dan jumlah pola presipitasi. Akibat-akibat lain juga terjadi seperti hasil pertanian menurun, hilangnya gletser, dan punahnya berbagai jenis hewan. Berdasarkan keadaan lingkungan yang memprihatinkan tersebut kemudian dirancang pembuatan bioreaktor dengan memanfaatkan keunggulan sifat alga yang mampu mengkonversi gas rumah kaca. Photobioreactor merupakan suatu bentuk teknologi modern yang memanfaatkan kemampuan penyerapan CO₂ dengan melibatkan mikroalga sebagai biofiksasi CO₂ [2]. Beberapa jenis photobioreactor tersebut telah digunakan dalam penelitian yang sudah dilaporkan, meliputi photobioreactor tubular, photobioreactor tabung konsentris airlift, photobioreactor plat datar dan photobioreactor kolom gelembung [3]. Mikroalga berperan penting mereaksikan atau bagian mengkonversikan gas dalam fotobioreaktor. Mikroalga memiliki kapasitas untuk fotosintesis lebih besar dibandingkan tumbuhan tingkat tinggi. Selain itu, mikroalga mampu mensintesis beraneka ragam materi. Beberapa penelitian menyelidiki bahwa gas CO₂ dari limbah pabrik digunakan mikroalga dalam berfotosintesis untuk produksi biomassa. Produk fotosintesis tersebut dapat digunakan untuk pakan ternak, pengganti tumbuhan hijau, makanan kesehatan, makanan suplemen serta makanan pewarna [4].

Sebagian besar mikroorganisme fotosintetik menggunakan air sebagai sumber elektron, sinar matahari sebagai sumber energi dan CO₂ sebagai sumber karbon. Produk yang dihasilkan berupa oksigen, karbohidrat, protein, dan lipid yang terkandung dalam selnya. Mikroorganisme fotosintetik ini lebih efisien dibandingkan organisme tingkat tinggi/ pohon atau tebu dalam mengkonversikan energi matahari menjadi biomassa dan oksigen. Hal ini disebabkan struktur sederhana seluler, pasokan CO₂ yang tersedia dan nutrisi yang dilarutkan [5].



Gambar 1. Skema desain photobioreactor tertutup

Pada penelitian ini dilakukan pengembangan desain photobioreactor tipe bubble column menggunakan mikroalga jenis *Chlorella vulgaris* sebagai biofiksasi gas CO₂ dengan variasi filter dari sumber lampu halogen menggunakan satu pita spektrum. Optimasi dari desain photobioreactor diperoleh dari analisis konsentrasi gas O₂ yang dihasilkan. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi landasan atau referensi mengatasi permasalahan efek pemanasan global, polusi udara dari industri serta menanggulangi habisnya O₂ untuk ke depannya.

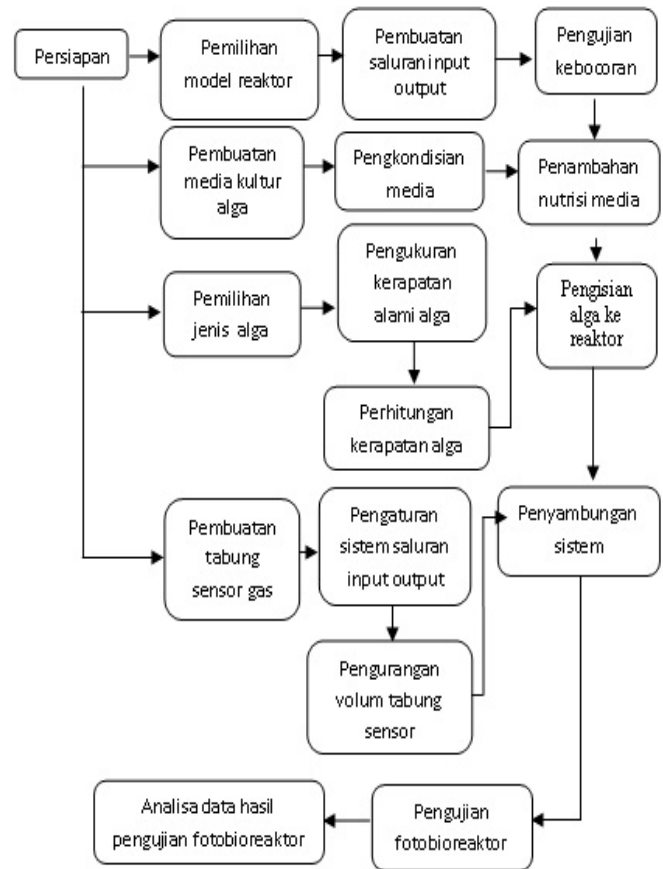
II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Desain Photobioreactor

Pengembangan desain photobioreactor dilakukan untuk mengkultivasi mikroalga dan mengkonversi gas CO₂ sehingga diperoleh gas O₂ maksimal dari desain yang dibuat. Desain penelitian ini terdiri atas 4 buah dengan berbentuk silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 15 cm. Desain ini dipilih dengan mempertimbangkan kemudahan dalam pembuatan, memperkecil kebocoran gas produk reaktor serta luas pencahayaan cukup besar. *Chlorella vulgaris* digunakan sebagai biofiksasi karena memiliki kemampuan menyerap semua panjang gelombang cahaya tampak serta infra merah sehingga sistem pencahayaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah lampu halogen. Desain close photobioreactor ditunjukkan Gambar 1.

Perancangan photobioreactor didasari atas pertimbangan luas permukaan pencahayaan, laju aerasi sel, kemudahan dalam pengoperasian, serta mudah dalam scale-up. Sistem photobioreactor tersebut diletakkan dalam chamber cahaya yang terpasang sumber cahaya lampu halogen di bagian 4 sisinya.

Desain photobioreactor memiliki 3 lubang saluran yakni saluran pertama merupakan saluran output menuju sensor KE 50 untuk diukur konsentrasi O₂, saluran kedua adalah saluran input aerasi dari pompa udara ke reaktor sedangkan saluran ketiga sebagai inputan gas CO₂ dalam reaktor. Pengukuran konsentrasi O₂ dilakukan sehari 2x pada pukul 10.00 dan 14.00 dengan pencahayaan 2jam sebelum pengukuran



Gambar 2. Skema penelitian desain Photobioreactor

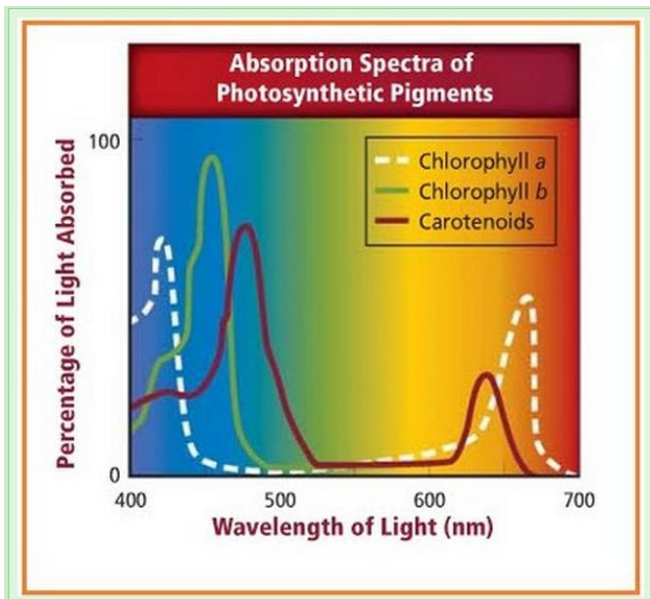
dilakukan. Suhu sistem photobioreactor dijaga pada suhu 30⁰C, tidak melebihi suhu maksimum dari perkembangan *Chlorella vulgaris*.

B. Skema Penelitian

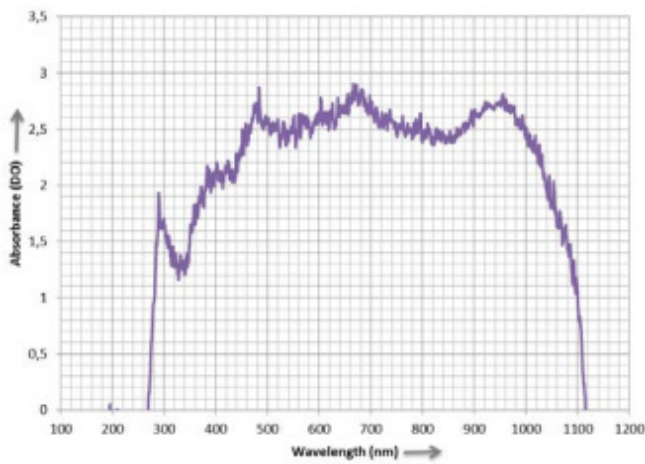
Penelitian tentang fiksasi CO₂ oleh *Chlorella vulgaris* sebagai medium pengkonversi dalam bubble column reactors dibuat berdasarkan tahapan skema penelitian yang ditunjukkan oleh Gambar 2.

Pembuatan media kultur dalam penelitian ini menggunakan air kolam Fisika FMIPA ITS yang dinetralkan melalui pemanasan hingga 100⁰ C dengan mempertimbangkan nutrisi yang terkandung di dalamnya cukup tersedia. Media kultur tersebut diberikan penambahan nutrisi vitamin B12 dan larutan urea. Media kultur diukur nilai pH-nya sebelum dan sesudah pengoperasian fotobioraktor. Nilai pH yang sesuai perkembangan mikroalga berkisar antara 7-9. Pengukuran kerapatan sel dilakukan sebelum dan sesudah operasional photobioreactor menggunakan Haemocytometer.

Hasil produk photobioreactor berupa gas O₂ diukur menggunakan rangkaian sensor KE 50. Data produk konsentrasi gas O₂ diambil 2x sehari pada pukul 10.00 dan pukul 14.00 WIB dengan Penyinaran 2 jam dilakukan untuk memaksimalkan fotosintesis mikroalga.



Gambar 3. Spektrum penyerapan mikroalga terhadap panjang gelombang [6]

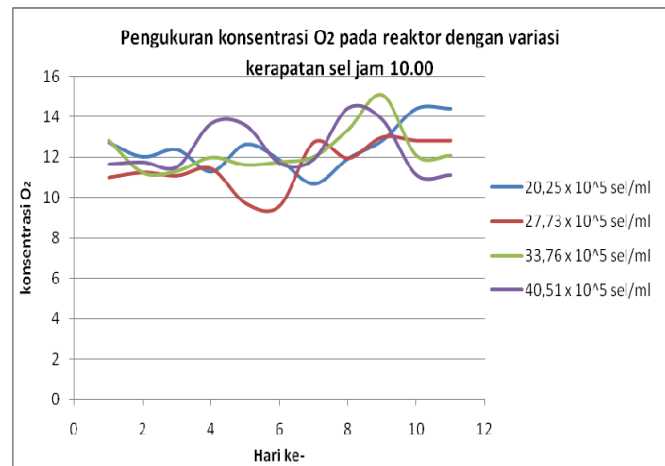


Gambar 4. Hasil spektru UV-Vis *Chlorella vulgaris* [7]

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Intensitas dan penyinaran cahaya pada Photobioreactor

Sumber cahaya merupakan sumber energi bagi seluruh tumbuhan fotosintetik. Cahaya sendiri berbentuk paket-paket energi yang bersifat kontinyu. Paket energi tersebut digunakan tumbuhan pada proses fotosintesis untuk membantu menghasilkan gula ($C_6H_{12}O_6$) dan oksigen. Cahaya matahari bersifat polikromatik tersusun dari pita-pita energi yang bisa digambarkan dalam bentuk susunan warna. Setiap jenis warna memiliki nilai energi yang berbeda-beda dalam kisaran panjang gelombang cahaya nampak antara 400nm-680nm. Dalam penelitian ini juga menggunakan cahaya polikromatik buatan dari lampu halogen untuk menyinari mikroalga sebagai sumber energi pada proses fotosintesis. Nilai penyerapan ener-



Gambar 5. Hubungan antara konsentrasi O₂ dengan hari pada reaktor

gi dari sumber cahaya polikromatik oleh pigmen ditunjukkan pada Gambar 3.

Besarnya penyerapan klorofil lebih banyak terjadi pada cahaya warna ungu (450 nm) dan merah (650-750 nm) dibandingkan hijau (500-600 nm).

Dalam penelitian ini digunakan mikroalga jenis *Chlorella vulgaris* sebagai biofiksasi gas CO₂. Kemudian pengujian absorbansi dilakukan sehingga diperoleh hasil grafik seperti gambar.

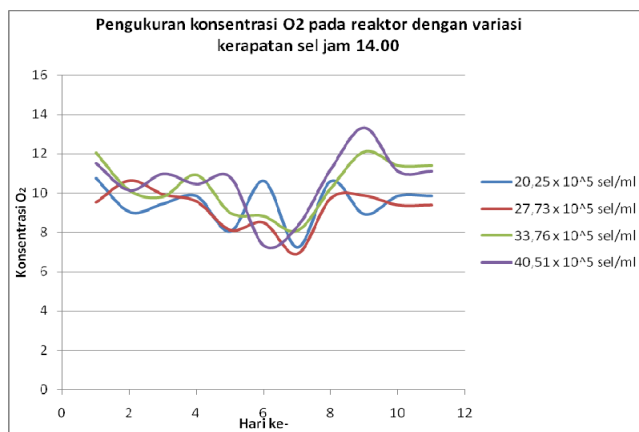
Dari hasil pengukuran absorbansi terhadap *Chlorella vulgaris* Gambar 4 dapat disimpulkan bahwa panjang gelombang yang diserap berkisar antara sinar tampak hingga sinar inframerah tetapi absorbansinya tidak semua digunakan untuk fotosintesis, maka dibutuhkan penelitian yang berkaitan panjang gelombang tertentu dengan fotosintesis [7].

Hasil kisaran panjang gelombang optimal pada *Chlorella vulgaris* tersebut digunakan dalam menentukan jenis lampu. Berdasarkan penyesuaian kebutuhan cahaya yang dibutuhkan pada *Chlorella vulgaris* dipilih lampu halogen tungsten karena rentang panjang gelombangnya lebar dan memenuhi kebutuhan mikroalga, yakni pada daerah infra merah, daerah cahaya tampak serta kurang dari 0,3% pada daerah ultra ungu. Pengkondisian rentang panjang gelombang sumber cahaya merupakan salah satu metode dalam proses memaksimalkan produk O₂ yang dihasilkan.

B. Hasil Pengukuran Dan Pembahasan

Penelitian tentang desain photobioreactor dilakukan dengan memberikan variasi kerapatan sel *Chlorella vulgaris* pada reaktor untuk mengetahui konsentrasi dari biofiksasi CO₂ oleh *Chlorella vulgaris* pada proses fotosintesis mikroalga dalam reaktor. Produk O₂ dianalisis untuk mengetahui optimasi dari desain photobioreactor dan produk glukosa digunakan untuk memenuhi kebutuhan hidup selanjutnya.

Hasil konsentrasi O₂ yang diperoleh dari 4 buah reaktor dengan kerapatan berbeda diukur kemudian diperoleh data yang disajikan dalam Tabel 4.1 pada lampiran D. Data konsentrasi O₂ diambil setiap hari saat jam 10.00 dan jam



Gambar 6. Hubungan antara konsentrasi O₂ dengan hari pada reaktor

14.00 dengan penyinaran selama 2 jam untuk mengetahui maksimalisasi fotosintesis pada tiap reaktor dengan kerapatan yang berbeda. Grafik konsentrasi O₂ sebagai fungsi waktu yang diambil saat jam 10.00 ditunjukkan Gambar 5.

Berdasarkan grafik konsentrasi O₂ yang diperoleh dari pengukuran jam 10.00, dapat dianalisis bahwa reaktor III dan IV lebih baik dalam mengkonversikan gas CO₂ menjadi gas O₂ dengan pengkondisian medium yang dilakukan. Nilai maksimum konsentrasi O₂ tertinggi pada reaktor III terjadi pada rentang hari ke 9 tepatnya mikroalga berada pada fase penurunan laju pertumbuhan. Kondisi dengan konsentrasi O₂ maksimum ini terjadi semestinya berada pada fase logaritma karena pada fase logaritma terjadi pembelahan sel secara intensif. Bila dicocokkan dengan grafik fase perkembangan mikroalga, fase logaritma terjadi pada rentang hari ke 2 hingga 7. Pergeseran nilai konsentrasi maksimum terjadi disebabkan oleh respon adaptasi medium yang lambat dari mikroalga sehingga berpengaruh pada jumlah produk serta waktu lamanya reaktor tersebut beroperasi. Selain itu, faktor penyerapan energi yang kurang terpenuhi mikroalga untuk bisa melakukan fotosintesis serta pemberian aerasi terhadap medium yang kurang sehingga memperkecil luas permukaan penyinaran.

Grafik reaktor IV juga menunjukkan nilai maksimum konsentrasi O₂. Bila diamati nilai maksimum berulang pada hari ke 5 dan 9, peningkatan terjadi pada fase logaritma bila dicocokkan dengan grafik perkembangan mikroalga. Namun pada hari ke 7 terjadi penurunan kemudian pada hari ke 8 terjadi peningkatan O₂ kembali. Perkembangan fluktuatif berdasarkan data terjadi disebabkan oleh ketersediaan nutrisi yang berbeda dan terbatas tiap harinya. Perkembangan mikroalga mulai terganggu pada medium kultur sehingga mempengaruhi proses fotosintesisnya. Bila dibandingkan Gambar 5 dengan Gambar 6 dari hasil pengukuran.

Dapat diamati data pengukuran yang dilakukan pada jam 14.00 untuk skala sore hari yakni mengalami penurunan dibandingkan data yang diambil pagi jam 10.00 skala pagi hari. Namun penurunan tidak terjadi pada semua, ada beberapa reaktor pada sore hari makin meningkat. Hal ini juga menunjukkan bahwa fotosintesis yang terjadi saat pagi hari

lebih tinggi dibandingkan pada sore hari. Fotosintesis pada tumbuhan berlangsung saat ketersediaan air, CO₂, klorofil, dan cahaya. Air diserap oleh akar dari tanah yang merupakan donor hydrogen dan elektron. Stomata membuka secara optimal saat pagi hari memasukkan CO₂ untuk pembentukan karbohidrat. Klorofil sebagai pigmen penyerap cahaya yang terdapat dalam kloroplas sebagai tempat berlangsungnya fotosintesis. Selain itu pola metabolisme sel terkait reaksi terang gelap dalam menyediakan energi untuk memindahkan elektron dari air ke NADP⁺ (Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate dan menghasilkan ATP [8].

Bila dibandingkan dari keempat gambar grafik pada Gambar 4.5 dan 4.6, menjelaskan bahwa pada reaktor 4 diperoleh data kualitatif yang stabil. Meski di hari terakhir konsentrasi O₂ mengalami penurunan, hal ini disebabkan nutrisi mulai habis dan tidak mampu mencukupi kebutuhan proses fotosintesis mikroalga selanjutnya. Keterbatasan nutrisi ini menyebabkan terjadinya persaingan antar sel untuk melakukan fotosintesis dalam reaktor. Bagi sel yang tidak mampu mendapatkan nutrisi maka akan mengalami penurunan produksi hingga kematian. Kematian menjadi faktor penurunan jumlah sel dan berpengaruh terhadap konsentrasi O₂ yang dihasilkan. Berdasarkan analisis data dari variasi kerapatan tersebut kemudian bisa digunakan sebagai pedoman pengisi keempat *bubble column reactors* yang dibuat untuk penelitian dengan menggunakan variable lain sebagai scale up. Parameter hidrodinamika bisa dijadikan variabel untuk penelitian berikutnya guna mendapatkan peningkatan hasil produk O₂ maksimal. Sistem aerasi ini juga berperan memperluas bidang penyinaran permukaan mikroalga, semakin luas permukaan penyinaran semakin besar fotosintesis yang terjadi oleh sel.

IV. KESIMPULAN

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

1. Desain Bubble column reactors mampu menghasilkan produk gas O₂.
2. Konsentrasi gas O₂ maksimum dan stabil diperoleh pada reaktor dengan kerapatan sel 33,76 x 10⁵ sel/ml dan 40,51 x 10⁵ sel/ml

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. K. Vashumathi, "Parameters Influencing The Design Of Photobioreactor For The Growth Of Microalgae". India: Centre for energy and environmental science and technology (CEESAT) National Of Technology, (2012, June).
- [2] Jacob-Lopes, Eduardo. "Effect of light cycles (night/day) on CO₂ fixation and biomass production by microalgae in photobioreactors". Jurnal Chemical and Processing No.48, (2008) 306-310.
- [3] Dianursanti. "Pengembangan Sistem Produksi Biomassa *Chlorella Vulgaris* Dalam Reaktor Plat Datar Melalui Optimasi Pencahayaan Menggunakan Teknik Filtrasi Pada Aliran Kultur Media". Depok: Universitas Indonesia, (2012).
- [4] M. Morita, Y. Watanabe and H. Saiki. "Instruction Of Microalgal Biomass Production for practically Higher Photosynthetic Performance

- Using A photobioreactor". Abiko research Laboratory central research institute of electric Power Industry: Japan.
- [5] L. Pilon," Radiation transfer in photobiological carbon dioxide fixation and fuel production by microalgae". Journal Of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfers No. 112 , (2011) 2639-2660.
- [6] http://biologigonz.blogspot.com/2010/02/reaksi-terang-gelap_fotosintes.html (16 Januari 2013)
- [7] D. Rizqa, " Desain Closed Photobioreactor Chlorella Vulgars Sebagai Mitigasi Emisi CO₂". Fisika FMIPAITS : Surabaya, (2012).
- [8] N. Anggreani, "Penentuan Parameter Hidrodinamika Pada Photobioreactor Kolom Gelembung Sebagai Basis Scale Up Produksi Biomassa Mikroalga Chlorella Vulgaris Buitenzorg". Depok: Universitas Indonesia, (2009).