



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH CO₂ TINGGI DAN NO_x BERBASIS KOMPOSISI
GAS BUANG PLTU TERHADAP PERTUMBUHAN
MIKROALGA *Chlorella vulgaris* DALAM SISTEM KULTIVASI
SEMI KONTINU**

SKRIPSI

NI' MATULLOH

0906604281

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

DEPOK

JUNI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH CO₂ TINGGI DAN NO_x BERBASIS KOMPOSISI
GAS BUANG PLTU TERHADAP PERTUMBUHAN
MIKROALGA *Chlorella vulgaris* DALAM SISTEM KULTIVASI
SEMI KONTINU**

SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik di
Departemen Teknik Kimia FTUI.

NI' MATULLOH

0906604281

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

DEPOK

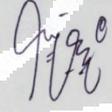
JUNI – 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Ni'matulloh

NPM : 0906604281

Tanda Tangan : 

Tanggal : 26 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Ni'matulloh
NPM : 0906604281
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pengaruh CO₂ Tinggi dan NO_x Berbasis Komposisi Gas Buang PLTU terhadap Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella vulgaris* dalam Sistem Kultivasi Semi Kontinu

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dianursanti, ST., MT (.....)
Penguji : Dr. Muhammad Sahlan, S.Si., M.Eng (.....)
Penguji : Dr. Ir. Tania Surya Utami, MT (.....)
Penguji : M. Ibadurrohman, ST, MT., MSc. Eng (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 26 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Illahi Rabbi, Rabb para insan yang senantiasa menganugerahkan berbagai kenikmatan serta memberikan kemudahan dan kekuatan kepada penulis sehingga draft skripsi ini dapat terselesaikan. Skripsi berjudul “Pengaruh CO₂ Tinggi dan NO_x Berbasis Komposisi Gas Buang PLTU terhadap Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella vulgaris* dalam Sistem Kultivasi Semi Kontinu” ini dibuat guna memperoleh gelar Sarjana di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

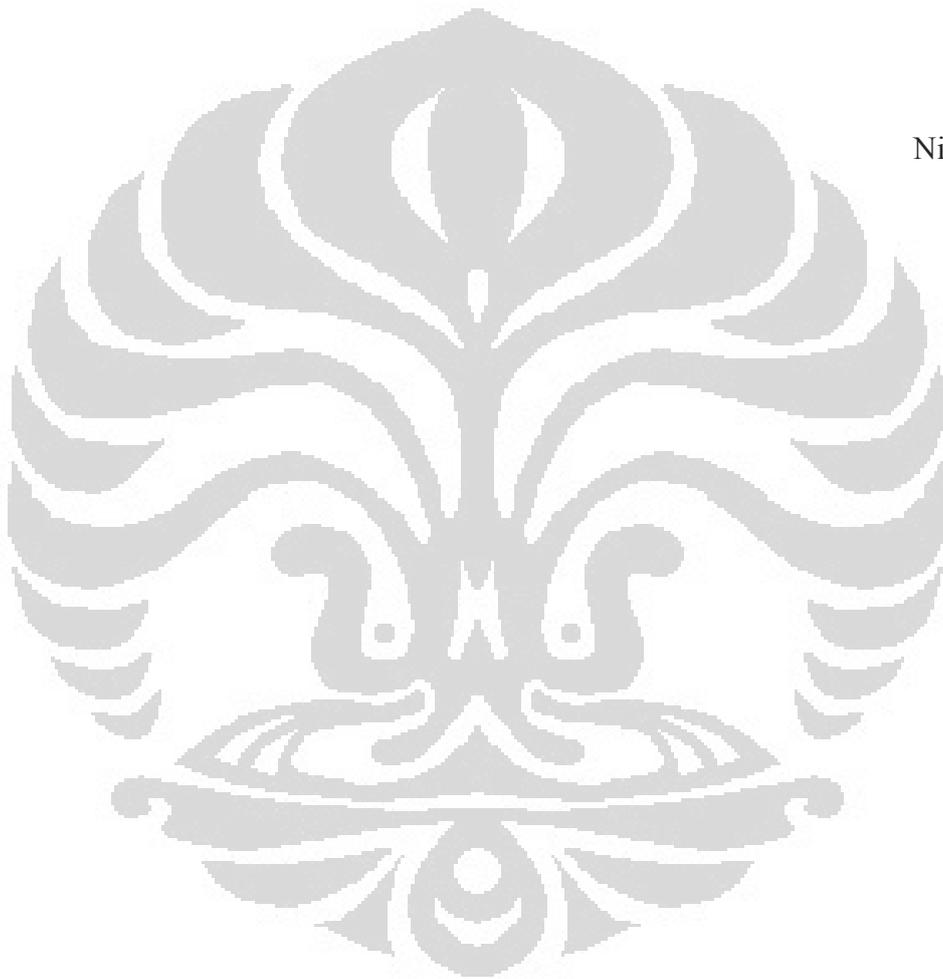
Penulisan skripsi ini sendiri tak lepas dari bantuan serta motivasi yang senantiasa diberikan kepada penulis, oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Ir. Diannursanti, M.T, Selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga serta pemikirannya dalam mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu P, DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
3. Ir. Yuliusman, M.Eng selaku koordinator mata kuliah spesial.
4. Para Dosen Departemen Teknik Kimia FTUI atas ilmu serta wawasannya.
5. Kedua orangtua serta keluarga yang senantiasa memberikan asupan semangat serta dukungan moril dan materil.
6. Alga team : gege, chiya, ernest, anggraeni, inggrid, yoga, dimas and friends atas support dan kekompakannya
7. Rekan-rekan EXT TEKIM '09
8. Serta seluruh pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis sadari sepenuhnya bahwa dalam skripsi ini masih jauh dari sempurna, terdapat banyak sekali kekurangan. Meskipun demikian penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta memberikan sedikit kontribusi dalam pengembangan wawasan keilmuan dimasa yang akan datang.

Depok, Juni 2012

Ni'matulloh



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ni'matulloh
NPM : 0906604281
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

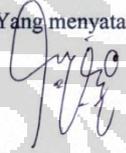
"Pengaruh CO₂ Tinggi dan NO_x Berbasis Komposisi Gas Buang PLTU terhadap Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella vulgaris* dalam Sistem Kultivasi Semi Kontinu." beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 22 Juni 2012

Yang menyatakan,


(Ni'matulloh)

ABSTRAK

Nama : Ni'matulloh

Program Studi : Teknik Kimia

Judul : Pengaruh CO₂ Tinggi dan NO_x Berbasis Komposisi Gas Buang PLTU terhadap Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella vulgaris* dalam Sistem Kultivasi Semi Kontinu

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) terutama berbahan bakar batu bara merupakan kontributor penghasil emisi CO₂ tertinggi diantara bahan bakar lainnya, hal ini berdampak pada terjadinya pemanasan global. *Chlorella Vulgaris* dapat digunakan sebagai pereduksi emisi gas buang PLTU terutama CO₂ yang merupakan sumber karbon dalam fotosintesisnya sehingga mampu mereduksi tingginya emisi CO₂ yang dihasilkan PLTU. Dengan menggunakan Photobioreactor bervolume 18L dalam sistem kultivasi semikontinu pada kondisi operasi 29°C tekanan 1 atm dan laju alir total 10ml/menit, dapat mereduksi CO₂ hingga 90% dengan nilai CTR (*Carbon Transfer Rate*) rata-rata sebesar 50.25 g/L.jam dan qCO₂ rata-rata 76.42g/g.sel.jam. Dengan kenaikan biomassa hingga 127.4% dari *optical density* (OD₆₀₀) awal.

Kata Kunci : *Chlorella vulgaris*, Emisi PLTU, semikontinu

ABSTRACT

Name : Ni'matulloh
Program Study : Teknik Kimia
Tittle : Effect of High CO₂ and NO_x Power Plant Flue Gas
Composition Based on Microalgae *Chlorella vulgaris*
Growth in Semi-Continuous Cultivation System

Coal-fired thermal Power Plant is mainly coal-fired is the highest contributor of CO₂ emitters among other fuels, it has an impact on global warming. *Chlorella Vulgaris* can be used as the reducing power plant emissions, especially CO₂ which is a source of carbon in fotosintesis so as to reduce the high CO₂ emissions generated power plant. By using the 18L volume Photobioreactor semikontinu cultivation system on the operating conditions of 29°C and a pressure of 1 atm 10ml/menit total flow rate, can reduce CO₂ by 90% to the value of CTR (*Carbon Transfer Rate*) by an average of 50.25 g / L.jam and qCO₂ 76.42g/g.sel.jam average. With the increase in biomass of up to 127.4% of the initial optical density (OD₆₀₀).

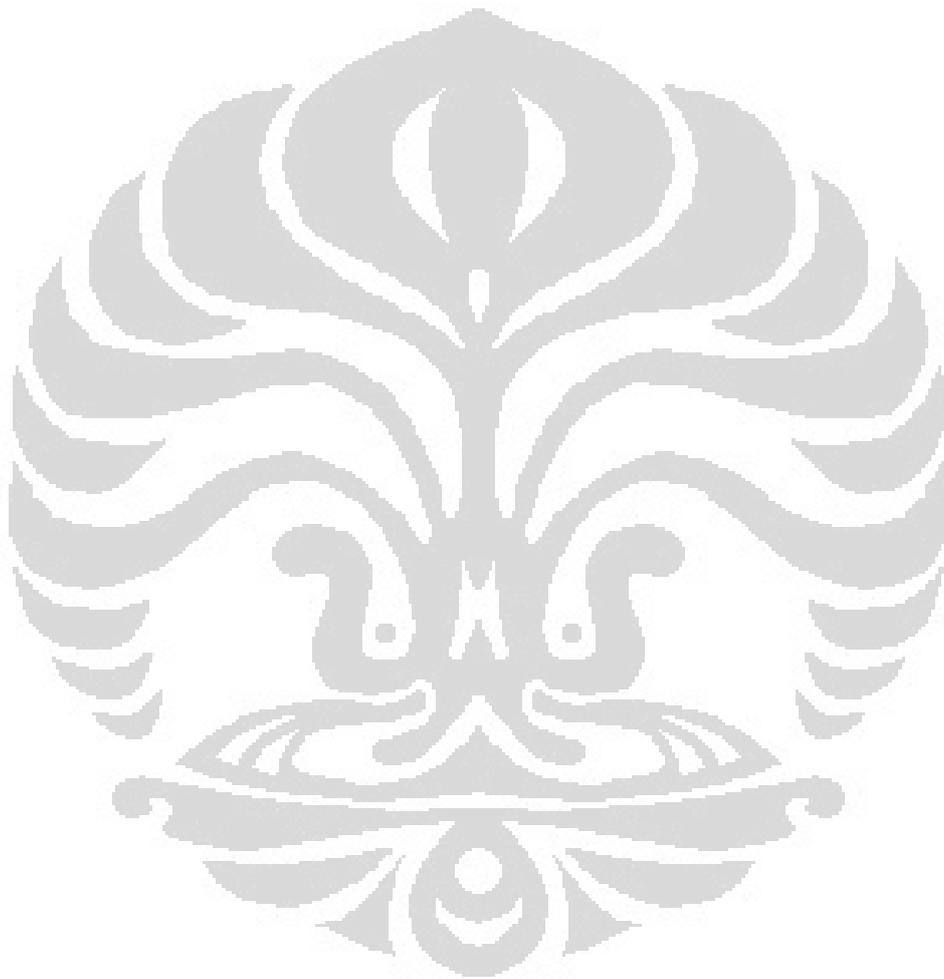
Key Words : *Chlorella vulgaris*, flue gas, semicontinuous

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS ...Error! Bookmark not defined.	
HALAMAN PENGESAHANError! Bookmark not defined.	
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMISError! Bookmark not defined.	
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Sistematika Penulisan	6
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap	7
2.1.1 Pembakaran Batubara pada PLTU	7
2.1.2 Proses Minimalisasi emisi PLTU	8
2.1.3 Emisi Gas buang PLTU	9
2.2 Siklus Hidup <i>Chlorella vulgaris</i>	10
2.2.1 Faktor – faktor yang mempengaruhi pertumbuhan	12
a. Jenis Medium	12
b. Temperature	13
c. Derajat Keasaman (pH)	13
d. Alterasi Pencahayaan.....	13
e. Konsentrasi CO ₂	13

2.3 Fotosintesis pada <i>Chlorella vulgaris</i>	14
2.3.1 Faktor Penentu Laju Fotosintesis	15
2.4 Photobioreactor	15
2.4.1 Jenis Fotobioreactor Kolom Gelembung	17
BAB III.....	21
METODE PENELITIAN	21
3.1 Diagram Alir Penelitian	21
3.2 Bahan Penelitian	22
3.3 Alat Penelitian.....	22
3.4 Variabel Penelitian	23
3.5 Prosedur Penelitian	24
3.5.1 Sterilisasi Peralatan	24
3.5.2 Pembuatan Raangkaian Alat	25
3.5.3 Pembuatan Medium <i>Beneck</i>	26
3.5.4 Pemiakan Kultur Murni	26
3.5.5 Pembuatan Kurva Kalibrasi OD vs X	27
3.5.6 Penentuan Jumlah Inokulum <i>Chlorella vulgaris</i>	27
3.5.7. Pelaksanaan Kegiatan Riset	27
3.6. Pengambilan Data	28
3.7. Pengolahan Data Penelitian.....	30
BAB IV	34
HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Pembahasan Umum.....	34
4.2. Hasil Pangamatan dan Analisa	37
4.2.1. Pengaruh CO ₂ Tinggi dan NO _x terhadap Berat Kering Sel (X)	37
4.2.2. Pengaruh CO ₂ Tinggi dan NO _x terhadap terhadap Laju Pertumbuhan (μ)	38
4.2.3. Pengaruh CO ₂ Tinggi dan NO _x terhadap [HCO ₃ ⁻] dalam Medium	39
4.2.4. CO ₂ Tinggi dan NO _x terhadap Fiksasi CO ₂ oleh <i>Chlorella sp.</i>	40
4.2.5. Pengaruh CO ₂ Tinggi dan NO _x terhadap qCO ₂	41
4.2.6. Pengaruh CO ₂ Tinggi dan NO _x terhadap CTR.....	42
4.2.7. Kandungan Esensial	42
BAB V.....	45
KESIMPULAN.....	45
DAFTAR PUSTAKA	46

LAMPIRAN.....	48
Lampiran A. Kurva Kalibrasi Optical Density terhadap Berat Kering sel.	49
Lampiran B. Tabel Pengamatan dan Perhitungan kultivasi Semikontinu.	50
Lampiran C. Tabel Pengamatan dan Perhitungan kultivasi Kontinu.	51
Lampiran D. Hasil Perhitungan Kandungan Beta karoten dan Klorofil	52
Lampiran E. Hasil Perhitungan Kandungan Protein dan Lipid.....	53
Lampiran F. Print out hasil uji spektrofotometer dan GCMS	54

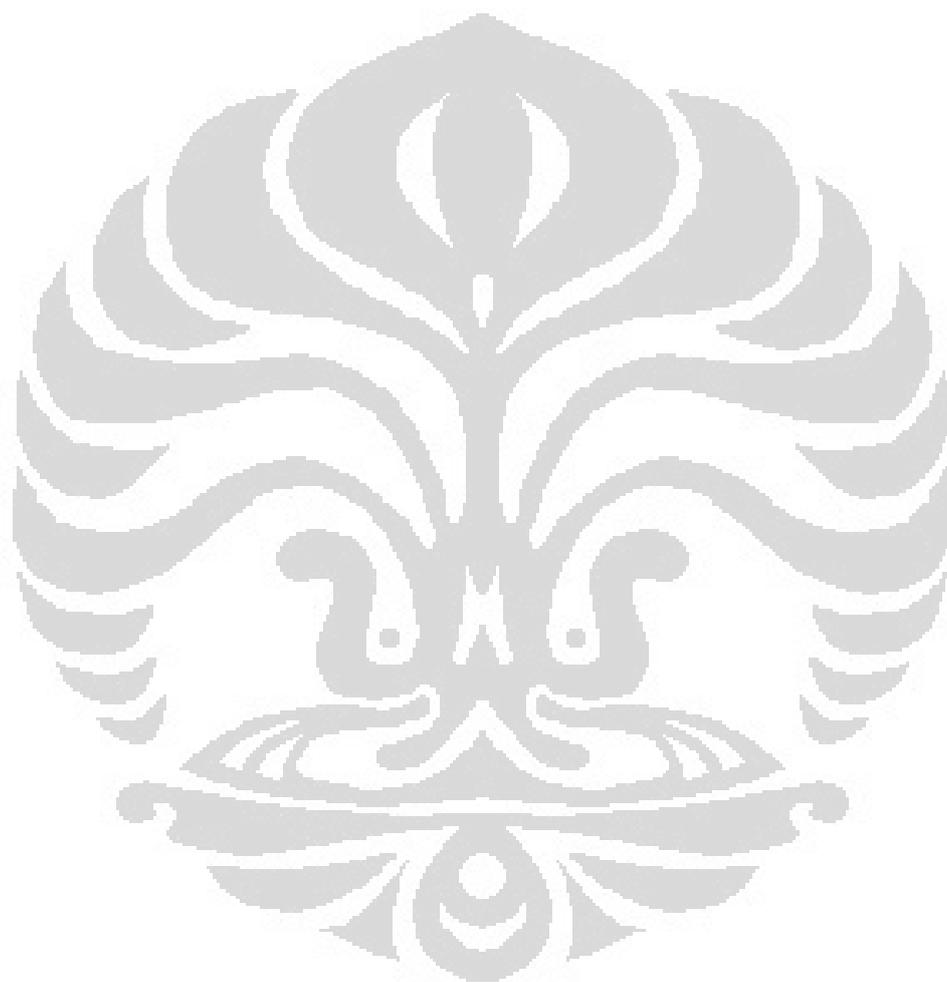


DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Emisi CO ₂ pada pembangkit listrik dengan berbagai bahan bakar	1
Gambar 1. 2. Plant Reduksi CO ₂ dengan Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	4
Gambar 2. 1. Skematik Kerja Alat ESP.	9
Gambar 2. 2. Skematik Kerja Alat FGD	9
Gambar 2. 3. Kurva Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i>	11
Gambar 2. 4. Fotobioreaktor Terbuka untuk Pembiakan <i>Chlorella vulgaris</i>	17
Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3. 2. Rangkaian Alat Penelitian.....	25
Gambar 4. 1. Peningkatan Produksi Biomassa Pada Sistem Kultivasi Semikontinu Dan Kontinu	37
Gambar 4. 2. Grafik Laju Pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> dalam Sistem Kultivasi Semikontinu dan Kontinu	38
Gambar 4. 3. Grafik fluktuasi [HCO ₃ ⁻] selama kultivasi	40
Gambar 4. 4. Grafik fiksasi CO ₂ oleh <i>Chlorella sp.</i>	41
Gambar 4. 5. Grafik Laju Gas CO ₂ Yang Dialirkan Kedalam Sistem	41
Gambar 4. 6. Grafik Carbon Transfer Rate pada tingkat CO ₂ Tinggi.....	42
Gambar 4. 7. Grafik Kandungan Esensial.....	43

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. Daftar Pembangkit Listrik dan emisi CO ₂ yang dihasilkan	3
Tabel 1. 2. Analisa Emisi Udara pada PLTU 50 Mwatt.	3
Tabel 2. 1. Karakteristik Beberapa Jenis Fotobioreaktor.....	19
Tabel 3. 1. Bahan Pembuatan medium Beneck.....	26
Tabel 3. 2 Penentuan Kadar Protein dengan Metode Lowry	30

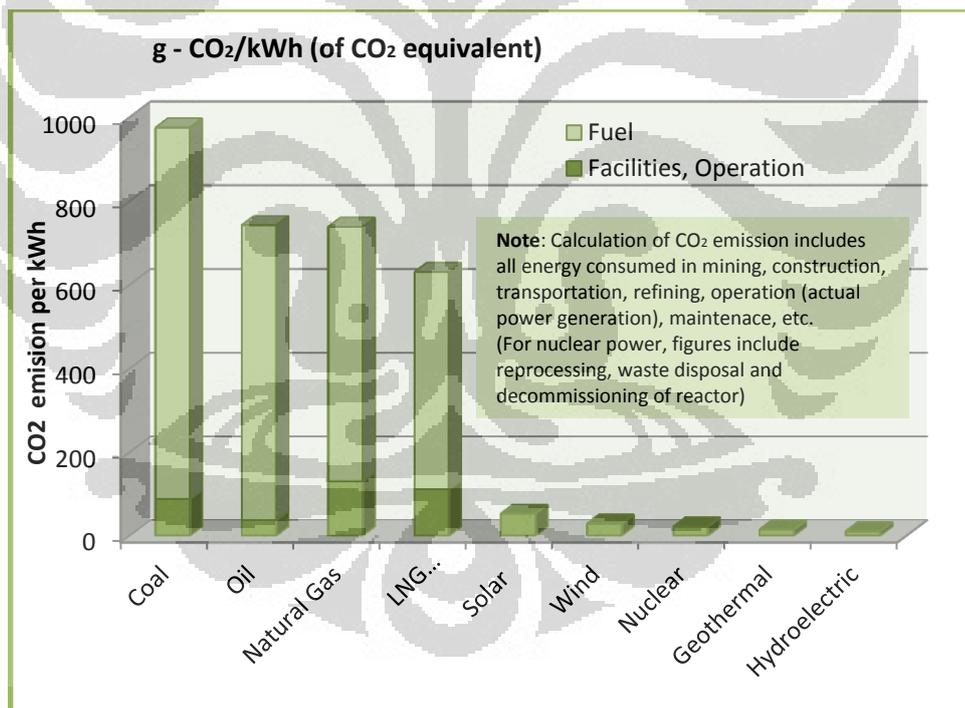


BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan energi yang salah satunya disuplai dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara adalah salah satu jenis instalasi pembangkit tenaga listrik dimana tenaga listrik didapat dari mesin turbin yang diputar oleh uap yang dihasilkan melalui pembakaran batubara. Sekitar 60% listrik dunia bergantung pada batubara, hal ini dikarenakan PLTU batubara bisa menyediakan listrik dengan harga yang murah. Kelemahan utama dari PLTU batubara adalah pencemaran emisi karbonnya sangat tinggi, paling tinggi dibanding bahan bakar lain seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1. Emisi CO₂ pada pembangkit listrik dengan berbagai bahan bakar (Central Research Institute of Electric Power Industry Report etc.,2008)

Peningkatan perekonomian dan jumlah penduduk serta adanya harapan bahwa pembangunan proyek ini juga dapat mengurangi pembangkit berbahan bakar BBM sehingga mengurangi subsidi sekaligus memanfaatkan batubara berkalori rendah yang cadangannya melimpah di tanah air kurang lebih 12 milyar ton (DJLPE, 2007). Melalui Perpres nomor 71 tahun 2006, Presiden Susilo Bambang Yudhoyono menugaskan kepada PLN untuk melakukan percepatan pembangunan PLTU dengan bahan bakar batu bara dengan jumlah 10.000 MW. Jika ditinjau dari segi peningkatan energi listrik yang dihasilkan, proyek ini sangatlah menjanjikan namun dilihat dari sisi lingkungan penggunaan batu bara sebagai bahan bakar PLTU memberikan dampak yang buruk. Emisi CO₂ ke lingkungan akan meningkat dengan demikian pemanasan global akan semakin meningkat pula. Meningkatnya kadar gas rumah kaca (GRK) ini memang tidak lepas dari kontribusi PLTU sebagai salah satu unit penghasil CO₂ yang cukup signifikan.

Sebuah lembaga riset independen yang berbasis di Amerika Serikat, CGD (*Center for Global Development*), menunjukkan di mana penghasil gas CO₂ berada dan berapa banyak gas CO₂ yang dilepaskan ke atmosfer dan menyebabkan kenaikan efek rumah kaca. CGD menjelaskan bahwa pembangkit listrik merupakan kontributor terbesar penghasil CO₂ (sekitar 25 % dari total emisi CO₂). CGD mengumpulkan data dari sekitar 50.000 pembangkit listrik di seluruh dunia. Hasilnya sungguh sangat mencengangkan, PLTU Suralaya tercatat pada urutan ke-11 sebagai pembangkit listrik yang menghasilkan emisi CO₂ terbesar di dunia dengan volume emisi 27,2 juta ton pertahun. Saat ini Indonesia tercatat sebagai negara pengemisi CO₂ terbesar **ketiga** di dunia setelah Amerika Serikat dan China.

Tabel 1. 1. Daftar Pembangkit Listrik dan emisi CO₂ yang dihasilkan (Center for Global Development, 2008)

No	Pembangkit Listrik	Negara	Jumlah CO ₂ yang dihasilkan (ton)
1	Taichung	Taiwan	41300000
2	Poryong	Korea Selatan	37800000
3	Castle Peak	China	35800000
4	Reftinskaya SDPP	Rusia	33000000
5	Tuoketo-1	China	32400000
6	Mailiao FP	Taiwan	32400000
7	Vindhychal	India	29000000
8	Hekinan	Jepang	28900000
9	Kendal	Korea Selatan	28600000
10	Janschwalde	Jerman	27400000
11	Suralaya	Indonesia	27200000
12	Tangjin	Korea Selatan	26900000
13	Majuba	Afrika Selatan	26500000
14	Taeon	Korea Selatan	26400000
15	Beilungang	China	26000000

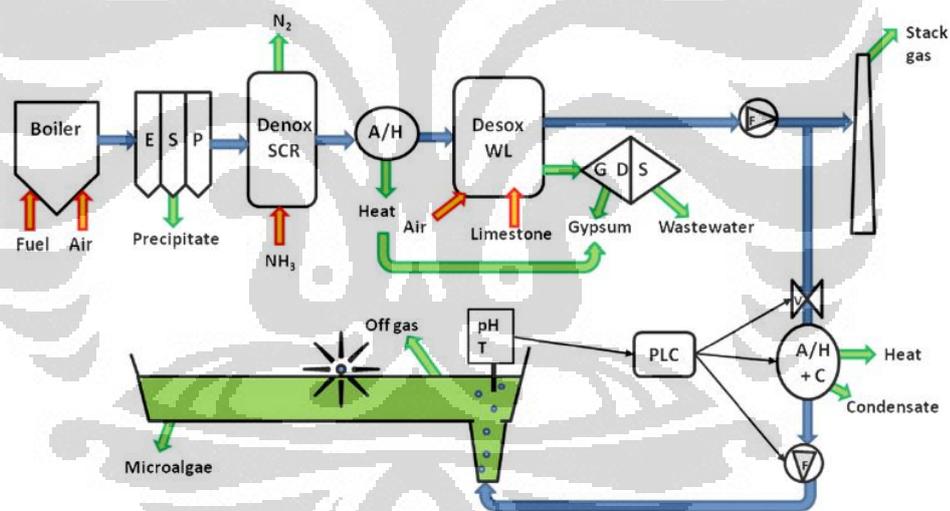
Berdasarkan data tahun 2008 dalam seminar nasional IV SDM Teknologi Nuklir, emisi gas buang PLTU 50Mwatt sebagaimana tercantum dalam Tabel 1.2.

Tabel 1. 2. Analisa Emisi Udara pada PLTU 50 Mwatt. (Sumber: Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta)

Jenis Emisi Udara	Jumlah Emisi (Kg)	% V
NO _x	151.95	0.393
SO _x	320	0.947
CO	6.7	0.009
CO ₂	48496.25	98.635
Lainnya	7.55	0.016

Berdasarkan data pada Tabel 1.2, komposisi terbesar dari emisi gas buang PLTU adalah CO₂, SO_x dan NO_x. Ketiga gas ini yang akan dimodelkan dan dialirkan dalam kultur untuk mengetahui bagaimana ketahanan mikroalga *Chlorella sp.* dengan menyesuaikan jumlah inokulum sel serta menentukan teknik filtrasi yang optimal dalam mempertahankan kondisi perkembangan *Chlorella sp.* agar tetap pada fase pertumbuhan.

Pemanfaatan gas buang PLTU dalam pertumbuhan mikroalga *Chlorella sp.* merupakan salah satu jalan yang dapat dilakukan untuk mereduksi CO₂ serta polutan lainnya sekaligus diharapkan menjadi pemicu pertumbuhan yang optimal bagi mikroalga *Chlorella sp.* Menurut Marzan Aziz Iskandar dalam seminar "Implementasi Pengurangan Emisi Karbondioksida sebagai Upaya Mitigasi Global Warming", *Chlorella sp.* dengan jumlah sel awal 40.000 sel per ml menjadi sejuta sel per ml dalam 15 hari setelah diberi CO₂. Yang kemudian bisa dipanen sebagai bahan baku biofuel yang prosesnya memiliki efisiensi 40 persen lebih tinggi dibanding membuat biofuel dengan bahan baku minyak kelapa sawit (CPO). Serta mampu bertahan hidup di bawah suhu 40 derajat Celcius menggunakan media air tawar, *Chlorella sp.* tergolong spesies yang kuat hidup dan diinjeksi karbon dioksida 50 persen bahkan pada Industri fermentasi yang menghasilkan CO₂ hampir 90 persen pun masih bisa ditoleransi *Chlorella*. (Arif Dwi Santoso;2010).



Gambar 1. 2. Plant Reduksi CO₂ dengan Mikroalga *Chlorella vulgaris*. (S.Van Den Hende et al.)

Berbagai penelitian mengenai ketahanan mikroalga *Chlorella vulgaris* telah dilakukan diantaranya penelitian yang dilakukan pengujian dengan menggunakan model hasil pembakaran gas LPG (Liquid Petroleum Gas) dengan menghasilkan kesimpulan bahwa dengan pencahayaan alterasi mampu meningkatkan produksi biomassa *Chlorella vulgaris* sampai 1.5 kali, dengan kemampuan fiksasi CO₂ meningkat sebesar 2 kali (arif khozim setiawan,2008) serta *Chorella sp.* Memiliki ketahanan yang cukup baik yang ditandai dengan adanya laju pertumbuhan sel spesifik maksimum sebesar 0.016-0.037 μ / h (Didit

Yudi Permana,2008). Selain itu, diteliti pula mengenai toleransi CO₂ yang tinggi memperlihatkan tingkat pertumbuhan yang tinggi pada 15% konsentrasi CO₂ (Hanagata et al, 1992; Kodama et al, 1993; Sung et al, 1998a). Penelitian yang membahas mengenai ketahanan *Chlorella vulgaris* terhadap NO_x juga dilakukan, seperti penelitian mengenai toleransi dari sebuah mikroalga pada NO_x yang bergantung pada konsentrasi sel yang didapatkan setelah inokulasi dari pembiakan (Hauck et al, 1996; Kurano et al, 1995; Yoshihara et al, 1996).

Dengan penelitian ini diharapkan mampu mereduksi emisi gas buang PLTU serta menghasilkan sistem kultivasi yang kontinyu dari mikroalga *Chlorella vulgaris* sehingga memungkinkan dijadikan bahan baku dalam pembuatan biofuel dalam skala besar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan bagaimana menanggulangi dampak polutan dari gas buang PLTU dengan memanfaatkan kemampuan fiksasi CO₂ serta kemampuan toleransi mikroalga *Chlorella sp.*

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji bagaimana pengaruh CO₂ tinggi serta NO_x terhadap daya fiksasi dan pertumbuhan dari mikroalga *Chlorella sp.*

1.4 Batasan Masalah

Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bioproses Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia dan PT. Mutuagung Lestari.
2. Mikroalga yang digunakan adalah *Chlorella sp.* yang berasal dari koleksi kultur Sub Balai Penelitian Air Tawar Depok, Dinas Kelautan dan Perikanan.
3. Jenis medium kultur yang digunakan adalah medium Beneck.
4. Sistem reaktor yang digunakan adalah fotobioreaktor berbentuk aquarium dengan volume 18 dm³, laju alir total 10 L/mnt
5. Gas yang digunakan sebagai *carbon source* bagi *Chlorella vulgaris* buitenzorg

adalah gas CO₂ serta N₂O berdasarkan kriteria emisi PLTU

6. Pencahayaan dilakukan dengan kontinyu, menggunakan lampu Phillip Halogen 23 W/12 V/50 HZ.
7. Perhitungan berat kering (X) dilakukan dengan menggunakan metode spektroskopi cahaya tampak pada $\lambda = 600 \text{ nm}$ (OD₆₀₀).
8. Suhu operasional yang digunakan adalah suhu ruang sekitar 29⁰C dan tekanan 1 atm.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisa.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai teori umum tentang pembangkit listrik tenaga uap, *Chlorella Vulgaris* Buitenzorg, proses fotosintesis, faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan serta fotobioreaktor.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, variabel penelitian, prosedur penelitian, serta metode pengambilan data dan cara perhitungan

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data-data hasil pengamatan dan pengolahannya beserta pembahasannya.

BAB V : KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan berdasarkan hasil yang telah didapat pada bab sebelumnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara adalah salah satu jenis instalasi pembangkit tenaga listrik dimana tenaga listrik didapat dari mesin turbin yang diputar oleh uap yang dihasilkan melalui pembakaran batubara.

Siklus di PLTU dapat dibedakan menjadi

1. Siklus Udara, sebagai campuran bahan bakar
2. Siklus Air, sebagai media untuk menghasilkan uap air (steam)
3. Siklus Batubara, sebagai bahan bakar

2.1.1 Pembakaran Batubara pada PLTU

Klasifikasi kualitas batubara secara umum terbagi 2, yaitu pembagian secara ilmiah dalam hal ini berdasarkan tingkat pematubaraan, dan pembagian berdasarkan tujuan penggunaannya. Berdasarkan urutan pematubarannya, batubara terbagi menjadi batubara muda (*brown coal* atau *lignite*), sub bituminus, bituminus, dan antrasit. Sedangkan berdasarkan tujuan penggunaannya, batubara terbagi menjadi batubara uap (*steam coal*), batubara kokas (*coking coal* atau *metallurgical coal*), dan antrasit.

Batubara uap merupakan batubara yang skala penggunaannya paling luas. Berdasarkan metodenya, pemanfaatan batubara uap terdiri dari pemanfaatan secara langsung yaitu batubara yang telah memenuhi spesifikasi tertentu langsung digunakan setelah melalui proses peremukan (*crushing/milling*) terlebih dulu seperti pada PLTU batubara, kemudian pemanfaatan dengan memproses terlebih dulu untuk memudahkan penanganan (*handling*) seperti CWM (*Coal Water Slurry*), COM (*Coal Oil Mixture*), dan CCS (*Coal Cartridge System*), dan selanjutnya pemanfaatan melalui proses konversi seperti gasifikasi dan pencairan batubara

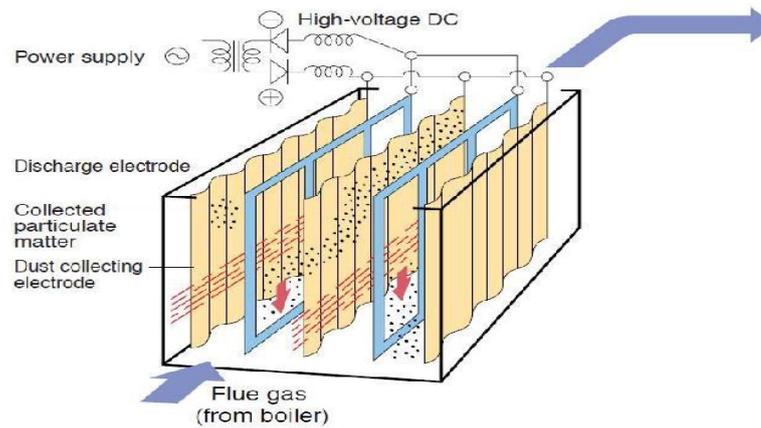
Pada PLTU batubara, bahan bakar yang digunakan adalah batubara uap yang terdiri dari kelas sub bituminus dan bituminus. Lignit juga mulai mendapat tempat sebagai bahan bakar pada PLTU belakangan ini, seiring dengan perkembangan teknologi pembangkitan yang mampu mengakomodasi batubara berkualitas rendah.

Pada PLTU, batubara dibakar di *boiler* menghasilkan panas yang digunakan untuk mengubah air dalam pipa yang dilewatkan di *boiler* tersebut menjadi uap, yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin dan memutar generator. Kinerja pembangkitan listrik pada PLTU sangat ditentukan oleh efisiensi panas pada proses pembakaran batubara tersebut, karena selain berpengaruh pada efisiensi pembangkitan, juga dapat menurunkan biaya pembangkitan. Kemudian dari segi lingkungan, diketahui bahwa jumlah emisi CO₂ per satuan kalori dari batubara adalah yang terbanyak bila dibandingkan dengan bahan bakar fosil lainnya, dengan perbandingan untuk batubara, minyak, dan gas adalah 5:4:3. Sehingga berdasarkan uji coba yang mendapatkan hasil bahwa kenaikan efisiensi panas sebesar 1% akan dapat menurunkan emisi CO₂ sebesar 2,5%, maka efisiensi panas yang meningkat akan dapat mengurangi beban lingkungan secara signifikan akibat pembakaran batubara. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa teknologi pembakaran (*combustion technology*) merupakan tema utama pada upaya peningkatan efisiensi pemanfaatan batubara secara langsung sekaligus upaya antisipasi isu lingkungan ke depannya. (imam B.R ;2010).

2.1.2 Proses Minimalisasi emisi PLTU

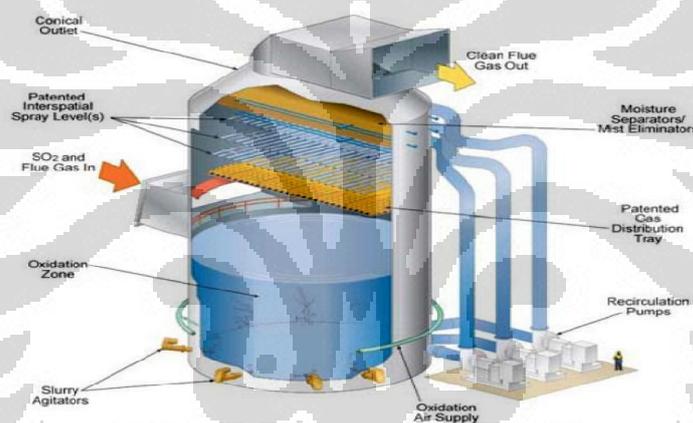
Selama ini emisi gas buang dari PLTU di minimalisir dengan beberapa teknologi pengolahan antara lain:

ESP (Elektro Static Precipitator), merupakan alat yang digunakan untuk menangkap debu dengan menggunakan prinsip elektrostatis. ESP mampu menangkap hingga 99% fly ash.



Gambar 2. 1. Skematik Kerja Alat ESP.

FGD (Flue Gas Desulfurization) adalah alat yang berguna untuk menghilangkan / mereduksi Sulfur Dioksida (SO_2) dari flue gas hasil pembakaran batubara PLTU.



Gambar 2. 2. Skematik Kerja Alat FGD

Electron beam machine atau mesin berkas elektron (MBE). Prinsip kerja alat ini adalah menghasilkan berkas elektron dari filamen logam tungsten yang dipanaskan. Polutan NO_x dan SO_x bereaksi dengan ammonia sehingga dihasilkan produk akhir berupa ammonium sulfat dan ammonium nitrat.

2.1.3 Emisi Gas buang PLTU

Emisi gas buangan dari peningkatan konsumsi batubara akibat meningkatnya kebutuhan energi listrik akan berdampak pada kualitas udara disekitar kegiatan pembangkit listrik. Berdasarkan pemantauan litbang *tekMIRA* pada tahun 2004-2007 di hampir semua PLTU di Indonesia didapatkan hasil pemantauan berkala udara emisi dari tahun 2004-2007 menunjukkan nilai

konsentrasi rata-rata SO₂ antara 9.38-671.75 mg/m³, NO₂ 6.84-442.91 mg/m³ dan debu 28.56-365.02 mg/m³. Adapun hasil pengukuran lapangan di tiap lokasi studi adalah 28.28-548.58 SO₂ mg/m³, 84.78-196.70 mg NO₂/m³, dan 59.05 -82.56 mg debu/m³.

Kisaran konsentrasi rata-rata pada pemantauan berkala dari tahun 2004 – 2007 untuk udara ambien adalah 1.52-73.5 mg SO₂/m³, 1.68-197.24 mg NO₂/m³, dan 45.75-518 mg debu/m³. Hasil pengamatan lapangan di tiap lokasi studi adalah 0.25-7.13 mg SO₂/m³, 42-16.86 mg NO₂/m³ dan 20-247 mg debu/m³.

Sedangkan Menurut hasil kajian 9 lembaga riset internasional tentang energi (*ExternE, UK SDC, Univ. of Wisconsin, CRIEPI (Japan), Paul Scherrer Inst., UK Energy Review, IAEA, Vattenfall AB, dan British Energy*), gas karbon dioksida yang dikeluarkan oleh PLTU Batubara berkisar 755 – 990 kgCO₂/MW_eh . Ini berarti bahwa untuk menghasilkan 1 megawattjam (MWh) energi listrik, PLTU Batubara akan melepas karbon dioksida sekitar 755-990 kg. Jika kita hitung dengan menggunakan data kelistrikan nasional 2007 yang sebesar 28.608 MW, di mana 38% berasal dari PLTU Batubara, maka jumlah emisi karbon yang ditimbulkan oleh seluruh PLTU Batubara selama 1 jam adalah sebesar 38% x 28.608 (MW) x 755 (kgCO₂/MW_eh) x 1 (h) = 8.207.635,2 kgCO₂, atau 8.208 ton per jam. Jika emisi dari PLTU Batubara tersebut dihitung untuk rentang waktu 1 tahun, maka jumlahnya di tahun 2007 akan menjadi sebanyak 8760 (h) x 8.208 (tonCO₂/h) = 71.992.080 ton, atau 71,992 juta ton CO₂ pertahunnya.

Data ini sebanding dengan yang dipublikasikan pada seminar nasional IV SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta yang menyatakan emisi gas buang PLTU 50Mwatt sebagaimana tercantum dalam tabel 2. Yakni dengan komposisi gas buang emisi PLTU terdiri dari: CO₂ sebesar 98.635 %, NO_x 0.393% dan SO_x 0.947% sisanya CO serta logam-logam.

2.2 Siklus Hidup *Chlorella vulgaris*

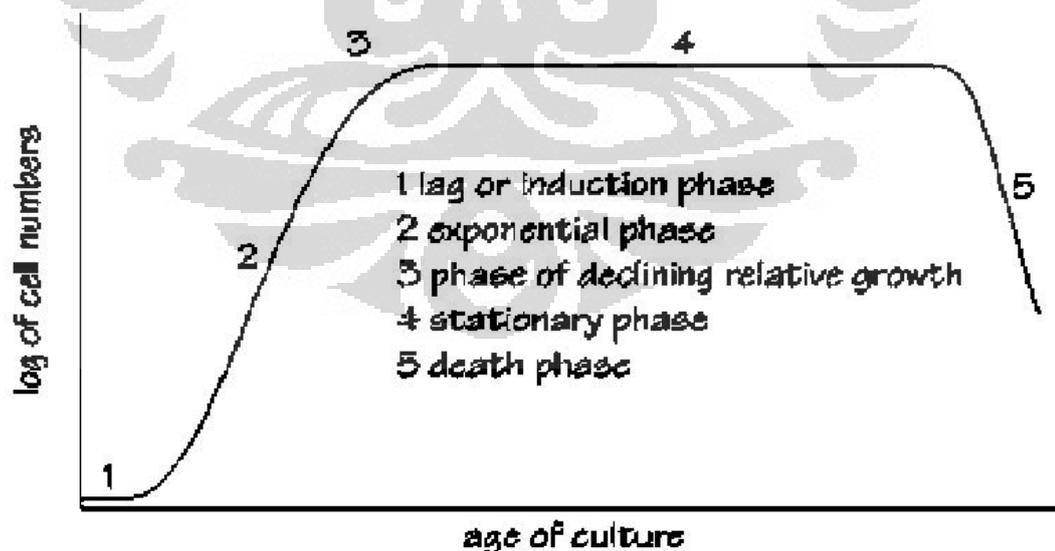
Chlorella vulgaris berkembang biak secara vegetatif (aseksual) dan generatif (seksual). Perkembangbiakan secara vegetatif diawali dengan membentuk spora. Setiap sel induk *Chlorella* sp. akan mengeluarkan zoospora yang disebut aplanospora sebanyak 8 buah. Selanjutnya aplanospora berkembang

menjadi individu-individu baru. Setiap aplanospora yang telah dewasa akan mengeluarkan 8 aplanospora baru dan seterusnya selama kondisi lingkungan memungkinkan. Perkembangbiakan sel *Chlorella* sp. secara generatif belum banyak diketahui (Djarjah, 1995). Menurut Isnansetyo dan Kurniastuty (1995) alga ini berkembangbiak secara vegetatif dengan pembelahan sel, tetapi juga dapat dengan pemisahan autospora dari sel induknya. Perkembangbiakan sel ini diawali dengan pertumbuhan sel yang membesar. Tahap selanjutnya terjadi peningkatan aktivitas sintesa sebagai bagian dari persiapan pembentukan sel anak yang merupakan tingkat pemasakan awal. Tahap berikutnya terbentuk sel induk muda yang merupakan tingkat pemasakan akhir, disusul dengan pelepasan sel anak.

Tahap pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dapat dibedakan sebagai berikut :

1. Tingkat pertumbuhan; pada tingkat ini terjadi penambahan besarnya sel.
2. Tingkat pemasakan awal; pada tingkat ini terjadi beberapa proses persiapan pembentukan sel anak.
3. Tingkat pemasakan akhir; pada tingkat ini terjadi pembentukan sel induk muda.
4. Tingkat pelepasan sel atau pelepasan autospora; pada tahap ini dinding sel induk akan pecah dan akhirnya terlepas menjadi sel-sel baru.

Menurut Martosudarmo dan Wulan (1990), susunan perkembangan umum *Chlorella* sp. ditandai dengan sedikitnya empat tahap yang terpisah yaitu :



Gambar 2. 3. Kurva Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* (sp.uconn.edu, 2008)

1. Tahap induksi : Setelah penambahan bibit ke dalam media kultur, populasi *Chlorella sp.* sementara tidak berubah, sel masih beradaptasi dengan lingkungannya.
2. Tahap eksponensial : Ditandai dengan perkembangbiakan sel yang cepat dan konstan.
3. dan 4. Tahap Penurunan pertumbuhan dan stasioner : Kecepatan perkembangan sel sudah mulai menurun secara bertahap atau adanya keseimbangan antara tingkat kematian dengan tingkat pertumbuhan.
5. Tahap kematian : Tingkat kematian lebih tinggi dari tingkat pertumbuhan.

2.2.1 Faktor – faktor yang mempengaruhi pertumbuhan

Faktor-faktor yang dapat mendukung keberhasilan kultur alga berkualitas baik dengan kepadatan yang diinginkan harus diperhatikan. Menurut Anonymous (1990), faktor-faktor pendukung ini antara lain faktor biologi, kimia, fisika, dan kebersihan lingkungan kultur. Faktor biologi meliputi penyediaan bibit yang bermutu (termasuk kemurniaan) dan jumlahnya yang mencukupi. Faktor fisika yang mempengaruhi antara lain suhu, salinitas, dan intensitas cahaya. Faktor kimia disini adalah unsur hara dalam media pemeliharaan harus sesuai dengan kebutuhan jenis fitoplankton yang akan dikultur. Selain faktor-faktor tersebut ada faktor lain yang perlu diperhatikan, yaitu kebersihan dari alat-alat kultur agar tidak terkontaminasi dengan organisme lain yang akan mengganggu pertumbuhan.

a. Jenis Medium

Setiap mikroorganisme membutuhkan media untuk hidup begitu pula dengan *Chlorella sp.* untuk dapat berkembang dengan optimum dibutuhkan media yang tepat dengan nutrisi sesuai dengan kebutuhan mikroalga jenis ini. Namun medium yang diperlukan untuk perkembangan *Chlorella sp.* relatif lebih sederhana serta memerlukan jenis nutrisi yang lebih sedikit dibandingkan dengan medium untuk alga jenis lainnya. Sebagian besar mediumnya juga tidak memerlukan *trace* mineral seperti yang diperlukan organisme lain.

Pemilihan jenis media bergantung pada laju pertumbuhan alga yang diinginkan, nutrisi yang dapat mempengaruhi kualitas produk, serta biaya. Menurut Sriharti carolina;1995 menyatakan bahwa *Chlorella sp.* mampu tumbuh pada berbagai jenis media bergantung pada tujuan perbanyakannya tetapi tidak

mengabaikan faktor-faktor lingkungan (makro dan mikro) yang mempengaruhi produksi alga.

b. Temperature

Semakin tinggi suhu maka laju reaksi akan semakin besar. Berdasarkan prinsip tersebut sel akan tumbuh lebih cepat pada temperatur yang lebih tinggi. Namun temperatur yang terlalu tinggi akan menyebabkan denaturasi protein dan asam nukleat, kehilangan enzim yang penting dan metabolisme sel. Temperatur optimum bagi perkembangan *Chlorella sp.* adalah 23°C – 30°C. (Wirosaputro, 2002).

c. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman menjadi faktor yang penting karena berperan dalam mengatur kinerja dari enzim. Perubahan pH sangat berpengaruh terhadap kinerja enzim dalam metabolisme sel sehingga akan mempengaruhi laju pertumbuhan sel. pH optimum bagi perkembangan *Chlorella sp.* terletak pada rentang 7.0 – 8.0. (Round, 1973).

d. Alterasi Pencahayaan

Alterasi adalah perubahan perlakuan pencahayaan kontinu dengan memberikan intensitas cahaya yang semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah sel dari *Chlorella sp.* Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa semakin banyak biomassa dari *Chlorella sp.* maka kultur akan semakin pekat, sehingga pencahayaan kontinu (iluminasi dengan cahaya tampak secara terus-menerus pada 370-900nm pada fase stasioner) yang diberikan tidak dapat diterima secara merata oleh semua sel. Oleh karena itu diperlukan peningkatan intensitas cahaya, sehingga diharapkan cahaya dapat terdistribusi secara merata oleh sel.

e. Konsentrasi CO₂

Karbon dioksida merupakan elemen paling penting dalam proses fotosintesis, oleh karena itu dengan tersedianya karbon dioksida yang cukup didalam media otomatis akan mendukung pertumbuhan dari *Chlorella sp.*. Ketersediaan CO₂ dapat dilakukan dengan menginjeksikannya kemudian menggoyang-goyangkan media. Dengan aerasi, konsentrasi unsur hara dalam media dapat menyebar secara merata. CO₂ ini digunakan sebagai *carbon source*

untuk melakukan fotosintesis/metabolisme yang menunjang pertumbuhan *Chlorella sp.*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, konsentrasi CO₂ yang optimal untuk pertumbuhan mikroalga yaitu sekitar 5-10 %.

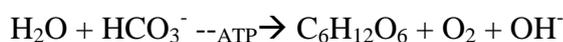
2.3 Fotosintesis pada *Chlorella vulgaris*

Fotosintesis adalah suatu proses biokimia pembentukan zat makanan atau energi yaitu glukosa yang dilakukan tumbuhan, alga, dan beberapa jenis bakteri dengan menggunakan zat hara, karbondioksida, dan air serta dibutuhkan bantuan energi cahaya matahari. Hampir semua makhluk hidup bergantung dari energi yang dihasilkan dalam fotosintesis. Akibatnya fotosintesis menjadi sangat penting bagi kehidupan di bumi. Fotosintesis juga berjasa menghasilkan sebagian besar oksigen yang terdapat di atmosfer bumi. Organisme yang menghasilkan energi melalui fotosintesis (*photos* berarti cahaya) disebut sebagai fototrof. Fotosintesis merupakan salah satu cara asimilasi karbon karena dalam fotosintesis karbon bebas dari CO₂ diikat (difiksasi) menjadi gula sebagai molekul penyimpan energi. Cara lain yang ditempuh organisme untuk mengasimilasi karbon adalah melalui kemosintesis, yang dilakukan oleh sejumlah bakteri belerang.

Pada *Chlorella vulgaris.*, fotosintesis dilakukan di dalam air/media hidupnya. CO₂ dibutuhkan sebagai *carbon source* dan didapatkan dalam bentuk senyawa bikarbonat yang terbentuk dari reaksi air dengan CO₂ terlarut dalam media hidupnya sebagai berikut :



Senyawa bikarbonat ini kemudian diserap oleh sel *Chlorella*. Proses metabolisme yang terjadi di dalam sel selanjutnya adalah reaksi antara bikarbonat tersebut dengan air yang terdapat dalam sel (siklus Calvin) membentuk senyawa organik seperti glukosa dan ion OH⁻ menggunakan energi ATP dan NADPH dari konversi cahaya pada reaksi terang, sebagaimana tergambar pada persamaan reaksi berikut (Anondho Wijanarko dan Ohtaguchi, 2004):



Sehingga diketahui bahwa hasil fotosintesis dari *Chlorella sp.* adalah ion OH⁻, oksigen molekular, dan senyawa organik (karbon) yang akan digunakan sebagai cadangan makanan apabila tidak mendapatkan cahaya dan CO₂ yang cukup untuk pertumbuhan dan pembelahan selnya.

2.3.1 Faktor Penentu Laju Fotosintesis

Berikut adalah beberapa faktor utama yang menentukan laju fotosintesis :

1. *Intensitas cahaya*

Laju fotosintesis maksimum ketika banyak cahaya.

2. *Konsentrasi karbon dioksida*

Semakin banyak karbon dioksida di udara, makin banyak jumlah bahan yang dapat digunakan tumbuhan untuk melangsungkan fotosintesis.

3. *Suhu*

enzim yang bekerja dalam proses fotosintesis hanya dapat bekerja pada suhu optimalnya. Umumnya laju fotosintesis meningkat seiring dengan meningkatnya suhu hingga batastoleransi enzim.

4. *Kadar air*

Kekurangan air atau kekeringan menyebabkan stomata menutup, menghambat penyerapan karbon dioksida sehingga mengurangi laju fotosintesis.

5. *Kadar fotosintat (hasil fotosintesis)*

Jika kadar fotosintat seperti karbohidrat berkurang, laju fotosintesis akan naik. Bila kadar fotosintat bertambah atau bahkan sampai jenuh, laju fotosintesis akan berkurang.

6. *Tahap pertumbuhan*

Penelitian menunjukkan bahwa laju fotosintesis jauh lebih tinggi pada tumbuhan yang sedang berkecambah ketimbang tumbuhan dewasa. Hal ini mungkin dikarenakan tumbuhan berkecambah memerlukan lebih banyak energi dan makanan untuk tumbuh.

2.4 Photobioreactor

Foto bioreaktor adalah bioreaktor yang digabung dengan sumber cahaya tertentu untuk asupan energi cahaya ke dalam reaktor. Pada budidaya mikroalga, energi sinar matahari diperlukan untuk proses fotosintesis. Gas CO₂ yang diserap dalam klorofil diolah menjadi karbohidrat yang dibutuhkan tanaman dan oksigen yang dilepas ke udara. Pada dasarnya kolam terbuka untuk pemeliharaan mikroalga sama dengan fotobioreaktor. Bedanya fotobioreaktor merupakan sistem tertutup yang lebih mudah dikontrol dan disesuaikan desainnya dengan lokasi pemasangan, lebih bisa mencegah kontaminasi, mencegah penguapan air dan CO₂, dan tidak memerlukan areal yang luas. (BPPT;2010).

Secara umum sistem fotobioreaktor terdiri dari beberapa bagian, yaitu reaktor vessel, sistem sirkulasi gas, sistem titrasi gas, lemari yang berisi sumber cahaya, dan sistem pengendalian reaktor. Untuk kultivasi mikroalga dapat dilakukan dengan sistem *batch* atau kontinu. Pada beberapa penelitian, kultivasi menggunakan sistem *semi-batch* di mana gas CO₂ secara kontinu dialirkan ke dalam reaktor sedangkan mikroalga ditempatkan secara *batch*. (inhavision.inha.ac.kr, 2008) Pada Fotobioreaktor Kolom Gelembung dengan intensitas cahaya terkontrol atau yang biasa disebut dengan *lumostat*, nilai dari laju intensitas cahaya spesifik yang diserap dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$q_e = \frac{(E_{in} - E_{out}) \cdot A}{V \cdot C} \quad (\text{inhavision.inha.ac.kr, 2008}) \quad \dots (2.1)$$

dimana q_e merupakan laju penyerapan cahaya spesifik, A merupakan luas permukaan fotobioreaktor, V adalah volume kultivasi, dan C adalah konsentrasi sel.

Dalam suatu sistem fotobioreaktor kolom gelembung sistem *batch* diperlukan sistem penerangan yang lebih baik untuk mempertahankan intensitas cahaya yang diserap oleh organisme pada tingkat yang diinginkan. Hal ini terjadi karena dengan cahaya tidak dapat menembus mikroorganisme sehingga apabila jumlah mikroorganisme semakin besar, maka sebagian mikroorganisme tidak akan terkena oleh cahaya karena terhalang oleh mikroorganisme di depannya. Hal ini menyebabkan terjadinya distribusi intensitas cahaya yang tidak sama pada

reaktor sehingga mengganggu laju pertumbuhan mikroorganismenya. Peristiwa ini sering disebut dengan *self-shading of light*. (Gunther, William, 2000).

Gas O_2 yang dihasilkan dari reaksi fotosintesis dapat menyebabkan kenaikan tekanan dan merusak fotobioreaktor. Oleh karena itu gas O_2 harus dihilangkan dengan menggunakan sistem titrasi katalitik dengan menggunakan gas H_2 atau menggunakan sistem *aerasi* dengan *aerator* untuk mengurangi konsentrasi O_2 yang terlarut di dalam medium pada fotobioreaktor.

2.4.1 Jenis Fotobioreaktor Kolom Gelembung

Desain model dari sebuah fotobioreaktor merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap produksi dan efisiensi dari biomassa yang dihasilkan oleh organisme yang dikultivasi. Dalam mendesain suatu sistem fotobioreaktor, perlu diperhatikan sistem fotobioreaktor yang paling menguntungkan. Dalam hal ini terdapat dua kemungkinan sistem, yaitu fotobioreaktor yang tertutup dan yang terbuka. Fotobioreaktor dengan menggunakan sistem terbuka merupakan jenis sistem yang pertama kali diperkenalkan untuk memproduksi biomassa pada skala industri. Sistem ini dapat berupa danau, kolam, laguna, atau kolam buatan (*container*). Fotobioreaktor jenis ini dapat dioperasikan dengan mudah. Fotobioreaktor jenis terbuka yang paling banyak digunakan untuk memproduksi biomassa adalah jenis reaktor dengan menggunakan *raceway cultivator* (sistem kolam terbuka) seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 2. 4. Fotobioreaktor Terbuka untuk Pemiakan *Chlorella vulgaris*.

Namun fotobioreaktor jenis ini tidak memiliki sistem pengendalian yang baik terutama dalam sistem pengendalian terhadap temperatur dan intensitas cahaya. Disamping itu terdapat kemungkinan terjadinya kontaminasi dari mikroorganisme lain, baik yang berupa epifit maupun parasit sehingga dapat menurunkan kualitas biomassa yang dihasilkan. Karena laju keluaran per volume reaktor kecil maka sistem ini tidak ekonomis. Permasalahan lainnya adalah *maintenance* dari populasi.

Mikroalga yang diinginkan yang mungkin hanya dapat dilakukan untuk spesies *extremophilic* dan mengandung resiko kontaminasi yang lebih besar. Kelemahan utama dari sistem kolam terbuka adalah keterbatasan cahaya pada lapisan yang tebal. Secara teknis *supply* cahaya dapat diperkaya dengan mereduksi lapisan tebal tersebut dengan menggunakan sistem kultur dari jenis *thin layer inclined*.

Karena berbagai kekurangan yang terdapat pada fotobioreaktor sistem terbuka, maka mulai dikembangkan sistem fotobioreaktor dalam ruangan yang dilengkapi dengan sistem pengendalian untuk mengontrol berbagai parameter di dalam proses. Bentuk ini juga mengurangi kemungkinan terjadinya kontaminasi organisme lain. Kebanyakan sistem tertutup terdiri dari fotobioreaktor tubular dengan variasi bentuk, ukuran, dan panjang *tube*. Sistem tertutup ini memiliki beberapa keuntungan yaitu hampir semua parameter bioteknologi penting dapat dikendalikan. Keunggulan lain dari sistem tertutup adalah berkurangnya resiko kontaminasi dan kondisi kultivasi yang tidak reproduktif.

Secara umum perbandingan karakteristik dari beberapa jenis fotobioreaktor dapat dilihat pada Tabel 3, di mana *surface type open pond* adalah reaktor berupa kolam terbuka seperti pada Gambar 6, dan *tubular open pond* merupakan jenis reaktor terbuka yang berbentuk seperti tabung. Kedua jenis reaktor ini umumnya mendapat perlakuan cahaya alami dari sinar matahari. Jenis yang terakhir yaitu *semi-closed-plated-tubular system* merupakan reaktor berbentuk tabung di dalam ruang tertutup. Perlakuan intensitas cahaya untuk reaktor ini dapat divariasikan yaitu dengan cahaya alami, fotoperiodisitas, cahaya kontinu, ataupun alterasi pencahayaan.

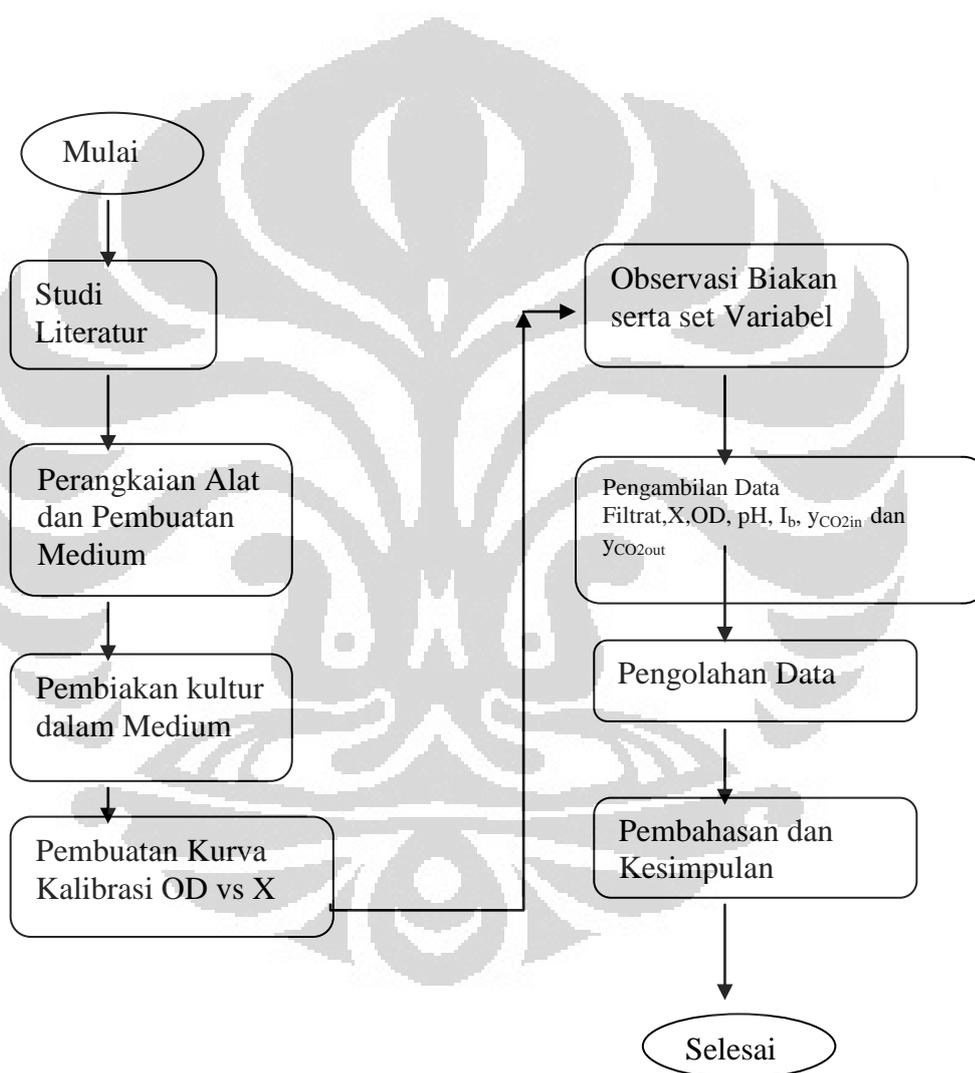
Tabel 2. 1. Karakteristik Beberapa Jenis Fotobioreaktor.(link.springer.de, 2008)

	Satuan	Raceway	Surface Type open pond high layer thickness	Tubular open pond, low layer thickness	Semi-closed plated-tubular system
Permukaan Terkena Cahaya	m ²	500	200	600	500
Volume	m ³	75	5	7	6
Ruang Kosong Diperlukan	m ²	550	350	110	100
Ketebalan Film	Cm	16-30	0.5-1	4	3
Laju Alir	cm/s	30-55	30-48	50-60	120
Konsentrasi Biomassa (DW)	mg/L	300-500	3000-6500	5000-8000	5000-8000
Produktivitas (DW)	g/L.d	0.05-0.1	0.8-1	0.8-1.2	0.8-1.4

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Skema proses penelitian ini dapat digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1 berikut :



Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian

3.2 Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan untuk melakukan prosedur penelitian adalah:

1. Starter mikroalga hijau *Chlorella sp.* dengan usia ± 72 jam yang telah dihitung sel awal-nya (inokulum) menggunakan mikroskop atau spektrofotometer pada 600 nm.
2. KH_2PO_4 , MgSO_4 , NaNO_3 , dan FeCl_3 untuk membuat medium *Beneck*.
3. Gas CO_2 sebagai bahan untuk fotosintesis mikroalga pada pembiakan kultur murni serta gas N_2O .
5. Aquadest untuk membuat medium *Beneck* dan mencuci peralatan. Alkohol 70% untuk sterilisasi peralatan.

3.3 Alat Penelitian

Peralatan yang akan dirangkai menjadi satu instrumen didalam lemari fotobioreaktor adalah sebagai berikut :

1. Fotobioreaktor berbentuk aquarium dengan kapasitas 18 dm^3 dengan bahan kaca transparan yang dilengkapi dengan aliran *input* dan *output* gas dan udara.
2. Kompresor udara *portable*.
3. Tabung gas CO_2 yang dilengkapi dengan regulator.
4. Tabung gas N_2O yang dilengkapi dengan regulator.
5. Flowmeter udara, gas CO_2 dan gas N_2O .
6. Lampu Phillip Hallogen 23 W/12 V/50 Hz dan transformator 220V primer /12V *sekunder* dengan intensitas maksimum 177 W/m^2 sebagai sumber iluminasi.
7. T-septum yang terbuat dari bahan gelas (sebagai titik indikator konsentrasi CO_2 input fotobioreaktor).
8. Selang silikon dan selang plastik.
9. Lemari reaktor yang terbuat dan kaca dan kotak aluminium (sebagai tempat *running* fotobioreaktor).

Peralatan dibawah ini merupakan instrument untuk pengambilan data penelitian, baik variabel bebas maupun variabel terikatnya, yaitu :

1. Kuvet kaca / plastik dengan volume 5 mL sebagai tempat sampel pada pengukuran dengan spektrofotometer UV-VIS.
2. Spektrofotometer UV-VIS
3. Luxmeter
4. pH meter
5. Syringe
6. Seperangkat alat *Gas Chromatography* (GC).

Selain itu terdapat juga instrument tambahan, antara lain :

1. Peralatan *glassware* yang terdiri dan *erlenmeyer*, pipet ukur, pipet tetes, gelas ukur, botol sampel, dan *beaker glass* dengan volume tertentu sesuai dengan kebutuhan.
2. *Autoclave*, sebagai tempat sterilisasi peralatan.
3. Bunsen spiritus dan *sprayer* alkohol 70%.
4. *Sentrifuge* yang berfungsi untuk memisahkan *Chlorella sp.* dan medium hidupnya.
5. *Transfer box* yang dilengkapi dengan lampu UV, sebagai ruang steril.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel yang dapat ditentukan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel tetap, yaitu konsentrasi gas polutan.
2. Variabel bebas, yaitu jumlah inokulum *Chlorella vulgaris* (N0) dan jumlah konsentrasi sel (Xawal).
3. Variabel tergantung yaitu : jumlah sel / kerapatan sel / *optical density* (N/OD), intensitas cahaya masuk (*I_o*), pH, intensitas cahaya yang ditransmisikan keluar reaktor (*I_b*), serta yCO₂in dan out.

3.5 Prosedur Penelitian

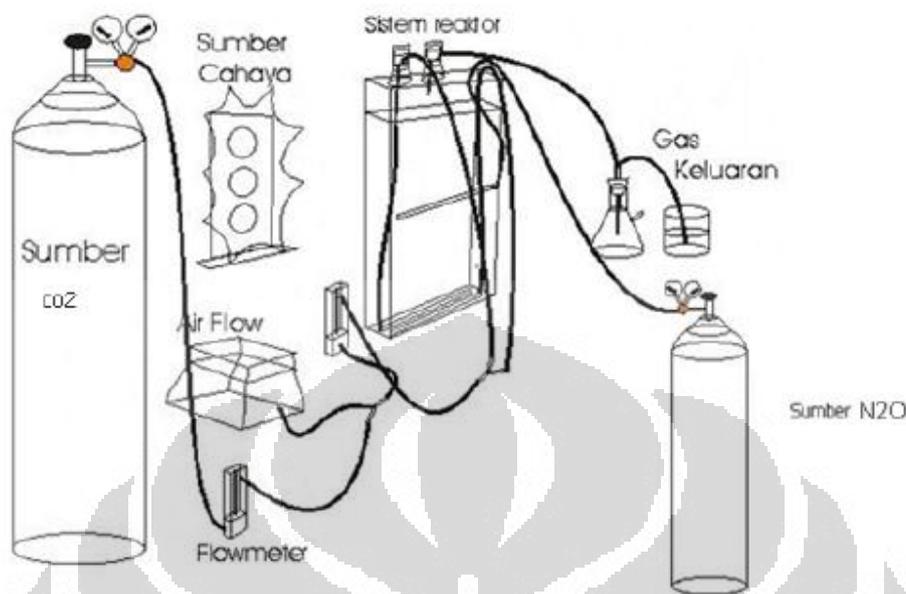
Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yakni sterilisasi peralatan, pembuatan rangkaian alat, pembuatan medium *Beneck*, pembiakan kultur murni, pembuatan kurva kalibrasi OD vs *X*, penentuan jumlah inokulum *Chlorella vulgaris*, *running* fotobioreaktor dan pengambilan data.

3.5.1 Sterilisasi Peralatan

Sterilisasi peralatan harus dilakukan agar peralatan yang akan digunakan pada penelitian tidak terkontaminasi mikroorganisme pengganggu yang dapat mengganggu proses fiksasi CO₂ dan pertumbuhan *Chlorella vulgaris*. Prosedur sterilisasi yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mencuci peralatan dengan sabun dan dibilas dengan air sampai bersih.
2. Mengeringkan peralatan dengan tisu atau kompresor udara dan kemudian menutup peralatan yang berlobang atau berongga dengan aluminium foil agar tidak terkontaminasi setelah disterilisasi.
3. Memasukkan peralatan yang akan disterilisasi ke dalam autoclave dan disterilisasi pada suhu 120° C selama ± 1,5 jam untuk medium dan ± 45 menit untuk peralatan gelas.
4. Membilas peralatan dengan alkohol 70 % selama ± 5 menit kemudian dibilas dengan aquadest steril sebanyak 20 kali untuk memastikan tidak ada sisa alkohol pada alat.
5. Peralatan yang sudah disterilisasi diatas disimpan dalam lemari penyimpanan yang kedap udara dan dilengkapi lampu UV selama ± 2 jam sebelum digunakan.

3.5.2 Pembuatan Raangkaian Alat



Gambar 3. 2. Rangkaian Alat Penelitian

Peralatan seperti gambar 8 diatas dirangkai dalam lemari kaca dengan tujuan agar reaktor terlindung dari kontaminan. Penelitian ini menggunakan fotobioreaktor berukuran 18 dm^3 dan diletakkan dalam posisi sejajar menghadap ke lampu halogen sebagai sumber iluminasi. Kemudian aliran dari tabung sumber polutan yang dilengkapi dengan *flowmeter* dan CO_2 yang juga dilengkapi dengan *flowmeter* dilewatkan menjadi satu aliran dan aliran tersebut akan digabungkan dengan aliran udara dari kompresor dilewatkan ke dalam *flowmeter*. Aliran ini kemudian diumpungkan ke dalam reaktor. Aliran keluaran reaktor dimasukkan ke dalam sebuah erlenmeyer *discharge* CO_2 yang berisi air. Sampel inilah yang akan diukur konsentrasi gas CO_2 keluaran reaktor. Reaktor yang digunakan dihitung nilai α -nya sebagai fungsi dari intensitas. Nilai α ini digunakan untuk mengetahui hambatan cahaya dari reaktor, sehingga dapat diketahui intensitas cahaya sesungguhnya yang diterima oleh kultur. Kalibrasi *flowmeter* juga dilakukan agar diketahui dengan tepat skala dari masing-masing *flowmeter*. Hal ini penting karena model gas bakar yang mengandung CO_2 yang akan dialirkan harus selalu dijaga konstan. Sambungan selang dilapisi dengan selotip untuk memastikan tidak ada sambungan yang bocor sekaligus mencegah kontaminan masuk kedalam rangkaian. Lampu Phillip halogen yang digunakan sebagai sumber iluminasi.

Alkohol 70 % digunakan untuk membersihkan dan mensterilkan lemari untuk kultivasi agar kontaminan dapat diminimalisir.

3.5.3 Pembuatan Medium *Beneck*

Medium *Beneck* digunakan sebagai media hidup *Chlorella vulgaris*. Medium ini mudah dibuat dan terdapat nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris*. Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan medium *Beneck* ini adalah :

Tabel 3. 1. Bahan Pembuatan medium *Beneck*

Bahan	Aquadest (mg/dm ³)
KH₂PO₄	100
MgSO₄.7H₂O	200
NaNO₃	500
FeCl₃	3-5

Untuk membuat 20 Liter larutan *Beneck* diperlukan 2000mg KH₂PO₄, 400 mg MgSO₄.7H₂O, 10000mg NaNO₃ dan 60-100mg FeCl₃ dalam 20 liter aquadest. kemudian medium disterilisasi menggunakan *autoclave* selama ± 1,5 jam dan didinginkan. Tahapan berikutnya adalah menyimpan medium dalam lemari pendingin bila tidak langsung digunakan. Apabila terdapat endapan di dasar medium maka endapan tersebut harus dipisahkan dahulu sebelum disimpan.

3.5.4 Pemiakan Kultur Murni

Pemiakan kultur murni dilakukan dengan tujuan memperbanyak stok *Chlorella vulgaris* sebelum digunakan, selain itu agar terjadi proses adaptasi sebelum *Chlorella vulgaris* digunakan dalam penelitian.

Prosedur dalam melakukan pemiakan ini adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan medium *Beneck* dan peralatan pemiakan (wadah, selang udara, tutup wadah) yang telah disterilkan terlebih dahulu.
2. Memasukkan stok murni *Chlorella vulgaris* ke dalam wadah steril dan dicampur dengan medium *Beneck* steril, dengan catatan perbandingan antara jumlah kultur murni dan medium, diatur sesuai kebutuhan penelitian. Proses ini dilakukan dalam *transfer box*, untuk menjaga sterilitasnya, lingkungan disterilkan dengan alkohol 70 % dan menggunakan api bunsen.

3. Mem-*bubbling* kultur menggunakan kompresor udara sebesar 1 v/vm. Pada tahap ini cahaya tetap diberikan dengan intensitas yang kecil yaitu ± 1.000 lux ($2,95 \text{ W/m}^2$).
4. Biakan kultur murni ini harus diregenerasi satu atau dua minggu sekali dengan cara mengganti medium hidupnya agar kebutuhan nutrisi tersedia dalam jumlah yang cukup.

3.5.5 Pembuatan Kurva Kalibrasi OD vs X

Kurva ini dibuat dengan cara mengeringkan sampel yang telah dihitung OD-nya. Proses pengeringan ini dilakukan dengan men-*sentrifuge* sampel, kemudian memisahkan padatan/sel *Chlorella* dari mediumnya, lalu dicuci bersih dengan *aquadest* dan disentrifuge lagi. Kemudian hasil *sentrifuge* terakhir di-oven dengan suhu 110°C sampai benar-benar kering, kemudian ditimbang.

3.5.6 Penentuan Jumlah Inokulum *Chlorella vulgaris*

Penentuan jumlah inokulum penting dalam penelitian ini, karena berkaitan langsung dengan jumlah sel *Chlorella vulgaris* yang terdapat dalam kultur. Jumlah inokulum perlu diketahui agar dapat dilihat perubahan jumlahnya dan hal ini berkaitan dengan besar intensitas cahaya yang dibutuhkan.

Langkah-langkah penghitungan :

1. Kultur yang akan dihitung jumlah inokulumnya, diaduk sampai semua endapan *Chlorella vulgaris* yang merata dalam medium.
2. Mengambil sampel inokulum dengan pipet tetes secukupnya (jika menggunakan mikroskop); mengambil 5 ml (jika menggunakan spektrofotometer).
3. Perhitungan jumlah sel dapat dilakukan dengan menggunakan mikroskop maupun spektrofotometer, dengan catatan untuk perhitungan menggunakan spektrofotometer telah dibuat kurva kalibrasi OD vs Nsel.

3.5.7. Pelaksanaan Kegiatan Riset

Pada penelitian ini akan dilakukan psistem kultivasi semokontinu pada medium kultur. Perlakuan ini diharapkan dapat mengontrol pertumbuhan pada fotobioreaktor sehingga kerapatan mikroalga di dalamnya tidak terlalu pekat yang nantinya akan menyebabkan efek self shading serta dapat meningkatkan daya

fiksasi CO₂ karena sistem ini diharapkan dapat meregenerasi sel *Chloella sp.* sehingga daya fiksasinya makin meningkat.

Sistem semikontinu dilakukan dengan mengambil sebagian dari total volume kultur ketika optical densiti mencapai dua kali lipat dari nilai optical densiti awal.

3.6. Pengambilan Data

Data-data yang diambil selama proses penelitian ini antara lain adalah :

- ✓ pH kultur media dalam fotobioreaktor
- ✓ Intensitas cahaya di depan reaktor/I_o (Lx)
- ✓ Intensitas cahaya dibalik reaktor/I_b (Lx)
- ✓ Kerapatan biomassa dalam kultur media dalam fotobioreaktor yang kemudian dikonfersikan ke dalam berat kering (g/L)
- ✓ Konsentrasi gas CO₂ dalam udara input dan output (yCO₂)

Berikut merupakan proses pengambilan data pada penelitian ini:

1. Menghitung nilai intensitas cahaya yang digunakan pada awal penelitian dengan menggunakan lux meter
2. Mengambil sample dari medium kultur dalam fotobioreaktor sebanyak kurang lebih 10 ml untuk diukur kerapatan biomassa dalam kultur media/absorbansinya (X/OD) bersamaan dengan mengambil nilai pH, konsentrasi gas CO₂ dalam udara input dan output (yCO₂) dan intensitas cahaya yang ditransmisikan ke belakang reaktor (I_b). Langkah-langkah pengambilan data dilakukan setiap 1.5 jam sekali sebanyak 10x pengambian kemudian diulangi setiap interval waktu 6 jam sekali hingga mikroalga dalam medium kultivasi memasuki fase stationer.
3. Pengambilan data lipid dilakukan dengan metode Bligh-Dyer dengan prosedur berikut:
 - a. Sampel mikroalga yang telah dipecah dinding selnya disentrifuge selama 10 menit sekitar 8500 rpm sehingga terjadi pemisahan antara mikroalga dan medium.
 - b. *Cake* dipisahkan dari supernatannya kemudian diukur volumenya.
 - c. Setiap 1 mL *cake* dicampurkan dengan 2 mL metanol dan 1 mL

- kloroform menggunakan vortex.
- d. Setelah tercampur sempurna, *cake* tersebut ditambahkan 1 mL kloroform dan 1 mL air demin, dan vortex kembali.
 - e. Sampel lalu disentrifuge selama 10 menit.
 - f. Setelah terjadi pemisahan, ambil bagian bawah yang merupakan campuran lipid (berwarna kuning) dengan pipet tetes.
 - g. Lipid kemudian dikeringkan dari kloroformnya.
4. Pengambilan data klorofil dan beta karoten
 - a. Sampel sebanyak 10 mL dicampurkan aseton dengan perbandingan 1:1.
 - b. Memasukkan campuran ke dalam sonikator selama 45 menit.
 - c. Sampel kemudian disentrifuge selama 30 menit
 - d. Untuk klorofil, mengukur absorbansi sampel pada panjang gelombang 645 nm & 663 nm (dengan larutan standarnya adalah aseton).
 - e. Untuk beta karoten, absorbansi yang digunakan adalah pada panjang gelombang 450 nm.
 5. Pengambilan data protein menggunakan prosedur Lowry (1951) sebagai berikut.
 - a. Menyampurkan larutan protein standar (BSA 200 µg/mL) dan dH₂O dalam jumlah tertentu (Tabel 3.5) dalam tabung reaksi sehingga diperoleh berbagai konsentrasi antara 20-200 mg dalam larutan standar 1 mL.
 - b. Menyampurkan sampel protein dan dH₂O sehingga volume total larutan sampel 2,0 mL pada tabung lain.
 - c. Menambahkan larutan Biuret sebanyak 5 mL ke dalam masing-masing tabung yang berisi larutan protein (standar dan sampel) dan segera divortex. Menginkubasi campuran reaksi pada suhu kamar tepat 10 menit. Untuk menghitung waktu reaksi digunakan *stopwatch*, dan waktu dihitung saat menambahkan larutan Biuret. Agar waktu reaksinya seragam untuk tiap sampel, ketika menambahkan larutan Biuret pada tabung berikutnya diberikan selang waktu tertentu.
 - d. Menambahkan reagen Folin pada menit ke-10 sebanyak 0,5 mL ke dalam campuran reaksi dan segera dikocok menggunakan vortex.

Larutan diinkubasi pada suhu kamar selama 30 menit setelah penambahan reagen Folin.

- e. Mengukur serapan masing-masing larutan tepat pada menit ke-30 yang ditetapkan pada panjang gelombang 750 nm.

Tabel 3. 2 Penentuan Kadar Protein dengan Metode Lowry

	Blanko	Larutan Standar					Sampel Protein		
No Tabung	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Standar BSA (mL)	-	0.8	1.2	1.5	1.8	2	-	-	-
Sampel Protein (mL)	-	-	-	-	-	-	0.2	0.3	0.4
Aquadest (mL)	1	1.2	0.8	0.5	0.2	-	1.8	1.7	1.6
Larutan Biuret (mL)	5								
Reagen Folin (mL)	0.5								

3.7. Pengolahan Data Penelitian

Variabel penelitian yang diambil yaitu OD₆₀₀, pH dan Ib akan diolah menggunakan beberapa metode perhitungan, antara lain :

a. Pengolahan Data OD₆₀₀

Nilai OD yang didapatkan dari hasil penelitian akan dikonversi menjadi nilai N sel dan X dimana N sel adalah jumlah sel *Chlorella sp.* yang terdapat di dalam satu satuan volume, sedangkan berat kering biomassa (X) adalah berat dari *Chlorella sp.* di luar medium hidupnya. Jumlahnya dapat dihitung secara langsung dengan menggunakan data absorbansi pada 600 nm dan mengkorelasikannya dengan menggunakan kurva kalibrasi OD₆₀₀ Vs Nsel dan OD₆₀₀ Vs X. Dari pengolahan ini dapat dibuat kurva pertumbuhan X Vs t. Selanjutnya dibuat model pendekatan untuk mendapatkan suatu persamaan yang menyatakan hubungan antara X dengan t atau X = f(t). Persamaan ini digunakan untuk menghitung nilai laju pertumbuhan spesifik (μ) yaitu laju pertumbuhan produksi biomassa pada fasa logaritmik dan merupakan waktu yang diperlukan untuk sekali pembelahan sel. Pada pengolahan ini model yang digunakan adalah persamaan kinetika monod, yaitu :

$$\mu = \frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{dt} \text{ atau } \mu = \frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dt} \quad \dots (3.1)$$

dimana :

μ = laju pertumbuhan spesifik (h⁻¹)

N = jumlah sel (sel/cm³)

X = berat kering sel/biomassa (g/dm³)

t = waktu (h)

b. Pengolahan Data pH

Nilai pH digunakan untuk menghitung besar konsentrasi [HCO₃⁻] dalam reaktor dengan menggunakan persamaan Henderson-Hasellbach, yaitu :

$$[HCO_3^-] = \left(\frac{k_{CO_2}}{HCO_2} \right) \left(\frac{y_{CO_2} \cdot P_T}{10^{-pH}} \right) \left(\frac{\text{EXP}[A_k(1-T_0/T) + B_k \ln(T/T_0) + C_k(T/T_0 - 1)]}{\text{EXP}[A_h(1-T_0/T) + B_h \ln(T/T_0) + C_h(T/T_0 - 1)]} \right) \dots (3.2)$$

Dimana:

P_T = tekanan operasi (atm)

y_{CO_2} = konsentrasi gas CO₂ yang diumpankan

K_{CO_2} = 4,38 x 10⁻⁷

HCO_2 = 2900 KPa/mol

T = temperatur operasi

T_0 = temperatur standar

c. Pengolahan Data CTR dan qCO₂

CTR (Carbondioxide Transfer Rate) merupakan banyaknya gas CO₂ yang ditransferkan dalam suatu volum medium yang dibutuhkan oleh metabolisme sel selama satu satuan waktu tertentu. qCO₂ adalah laju gas CO₂ yang ditransfer dalam suatu volum medium karena adanya aktivitas kehidupan biologi dalam satu satuan waktu tertentu.

$$q_{CO_2} = \frac{\Delta y_{CO_2} \cdot \alpha_{CO_2}}{x} \dots (3.3)$$

Dimana:

X = berat kering 1 sel *Chlorella vulgaris* x jumlah sel/cm³ (g/dm³)

Δy_{CO_2} = Selisih antara konsentrasi CO₂ pada gas keluaran dan gas masukan bioreactor tembus cahaya

$$CTR = \Delta y_{CO_2} \cdot \alpha_{CO_2} \dots (3.4)$$

d. Pengolahan Data I

Untuk menentukan besarnya nilai total energi cahaya yang tersedia melalui plat iluminasi selama kultivasi dapat dihitung dengan cara:

$$E_0 = A \int_0^t (I_i - I_t) dt \quad \dots (3.5)$$

sedangkan total energi cahaya yang terserap selama kultivasi adalah:

$$E_0 = A \int_0^t I_t dt \quad \dots (3.6)$$

dimana :

A = luas permukaan plat iluminasi (m²)

I_t = intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh kultur medium (W/m²)

I_i = intensitas cahaya yang diterima oleh kultur medium (W/m²)

t = waktu (jam)

dengan nilai konversi 1 lux = 2,95 x10⁻³ W/m² dan untuk mencari nilai E_x (energi cahaya yang dimanfaatkan selama kultivasi) dan E (energi cahaya yang tersedia selama kultivasi) adalah sebagai berikut :

$$E_x = \frac{\int_0^t I_t dt}{\Delta x \cdot s} \quad \dots (3.7)$$

$$E_x = \frac{\int_0^t (I_i - I_t) dt}{\Delta x \cdot s} \quad \dots (3.8)$$

ΔX = berat biomassa yang dihasilkan selama masa kultivasi (g/dm³)

S = jarak yang ditempuh cahaya di dalam kultur medium (m) dengan demikian dapat dicari besarnya nilai efisiensi konversi energi cahaya untuk pembentukan biomassa (η_{bp}) :

$$\eta_{bp} = \frac{E_x}{E} \times 100 \quad \dots (3.9)$$

e. Pengolahan data Lipid

$$\%lipid = \frac{\text{Berat botol akhir} - \text{berat botol kosong}}{\text{berat sampel}} \times 100\% \quad \dots (3.10)$$

f. Klorofil

$$\text{klorofil } a \text{ (mg/L)} = 12,25 \times A_{663} - 2,55 \times A_{645} \quad \dots(3.11)$$

$$\text{klorofil } b \text{ (mg/L)} = 22,9 \times A_{645} - 4,64 \times A_{663} \quad \dots(3.12)$$

$$\text{klorofil } a + b \text{ (mg/L)} = 7,34 \times A_{663} + 17,76 \times A_{645} \quad \dots(3.13)$$

g. Beta karoten

$$\text{beta karoten (mg/L)} = \frac{(1000 \times A_{450} - 3,27 \times (\text{klorofil } a) - 104(\text{klorofil } b))}{227} \quad \dots(3.14)$$

h. Protein

Kurva kalibrasi dibuat untuk menghitung kadar protein yang terdapat pada sampel. Kurva yang dibuat berdasarkan data berat sampel BSA terhadap absorbansi (750 nm). Berdasarkan data yang diperoleh (dapat dilihat pada lampiran).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pelaksanaan penelitian, pengamatan yang dilakukan selama penelitian, data yang diambil dalam penelitian ini dan analisa dari data yang didapatkan.

4.1 Pembahasan Umum

Pada penelitian yang dilakukan, mikroalga *Chloralla sp.* akan dikultivasi dengan sistem semikontinu dalam sebuah fotobioreaktor kolom gelembung dengan volume 18 L. Penelitian ini akan ditekankan pada efek penambahan gas CO₂ tinggi dan NO_x yang diwakili dengan N₂O terhadap kemampuan fiksasi CO₂ dari *Chlorella sp.* serta akan dibandingkan dengan sistem kultivasi yang kontinu.

Fotobioreaktor yang akan digunakan adalah fotobioreaktor tembus cahaya yang didisain agar cahaya yang diberikan dari sumber iluminasi dapat secara merata diterima oleh mikroalga selama masa kultivasi untuk menghindari terjadinya efek *self-shading* dimana terjadi peristiwa penutupan sel yang menyebabkan tidak meratanya cahaya yang diberikan dan CO₂ yang didapatkan oleh mikroalga saat kultivasi. Sedangkan untuk kebutuhan nutrisi untuk proses kultivasi mikroalga *Chlorella sp.* pada penelitian ini terdapat di medium Beneck. Medium Beneck merupakan medium yang biasa digunakan sebagai medium air tawar.

Pada tahap awal penelitian dilakukan penentuan kurva OD₆₀₀ vs X. Penentuan kurva OD₆₀₀ vs X ini bertujuan untuk memudahkan perhitungan berat kering sel selama masa kultivasi. Panjang gelombang yang digunakan dalam pengukuran *optical density* (OD) mikroalga adalah 600 nm.

Pada tahap selanjutnya, dilakukan *pre-culture* dengan tujuan untuk mengkondisikan mikroalga melewati masa adaptasi (*lag phase*) dan siap berada pada fase eksponensial (*log phase*) saat proses kultivasi dimulai.

Selanjutnya dilakukan kultivasi dengan sistem semikontinu dan kontinu sebagai pembanding dengan kondisi aliran komposisi gas yang sama, dengan *optical densiti* yang sama dan masa kultivasi yang sama. Sistem semikontinyu

dimaksudkan karena ketika OD_{600} reaktor mencapai dua kali dari OD_{600} awal setengah dari volume dipanen dan diganti dengan medium baru sejumlah volume yang diambil.

Data yang diambil mencakup OD_{sel} , pH, y_{CO_2} in dan out, dan I_b pada rentang waktu yang telah ditentukan. Pengambilan data OD_{sel} berfungsi untuk melihat adanya peningkatan berat kering sel selama masa kultivasi dan diambil selama 6 jam sekali. Pengambilan data pH dilakukan untuk perhitungan terhadap konsentrasi substrat HCO_3^- yang terdapat dalam medium. Sedangkan untuk mengetahui besarnya energi cahaya yang tersedia dan dikonversi untuk pertumbuhan *Chlorella sp.* diamati dengan menggunakan lux meter, serta untuk mengetahui besarnya fiksasi CO_2 oleh *Chlorella sp.* maka dilakukan pengambilan data y_{CO_2} in dan out yang diukur menggunakan *Gas Chromatography*.

Untuk pengujian kandungan lipid setelah didapatkan alga kering maka dapat dilakukan ekstraksi lipid dengan menggunakan soxhlet. Prinsip *Soxhlet* ialah ekstraksi menggunakan pelarut yang selalu baru sehingga terjadi ekstraksi kontinu dengan jumlah pelarut konstan dengan adanya pendingin balik. Sejumlah alga kering dimasukkan dalam *Thimble* kemudian tutup bagian terbuka dengan kapas kemudian ekstraksi dijalankan selama 8 jam pada temperatur $80^\circ C$. Kandungan lipid diperoleh berdasarkan selisih berat labu ekstraksi.

Pengujian selanjutnya adalah pengujian klorofil, karotenoid dan protein. Untuk melakukan pengujian kandungan ini, dinding sel mikroalga dipecah terlebih dahulu dengan menggunakan prinsip getaran dari gelombang ultrasonic yang dikenal dengan metode sonikasi. Untuk mempercepat pemecahan dinding sel mikroalga digunakan *glass bead*. Pengujian klorofil dilakukan dengan menggunakan metode kelarutan. Klorofil mempunyai sifat hidrofilik sehingga klorofil dapat larut dalam pelarut nonpolar. Dalam penelitian ini, pelarut nonpolar yang digunakan adalah aseton. Kelarutan klorofil dalam aseton tersebut diukur absorbansinya pada panjang gelombang 645 dan 663 nm, sedangkan kelarutan karotenoid dalam aseton pada panjang gelombang 450 nm. Untuk mendapatkan kandungan klorofil & karotenoid, absorbansi yang terukur tersebut dimasukkan ke dalam persamaannya.

Untuk menguji kandungan protein, metode yang digunakan adalah metode *Lowry*. Persiapan yang dibutuhkan pada metode *Lowry* cukup rumit karena perlu membuat kurva kalibrasi terlebih dahulu. Kurva kalibrasi yang dibuat adalah kurva antara kandungan protein standar dengan absorbansinya. Protein standar yang digunakan adalah *Bovine Serum Albumin* (BSA). Persiapan selanjutnya adalah membuat larutan CuSO_4 Alkalin. Protein yang ada pada sel mikroalga akan terikat dengan tembaga yang ada pada larutan CuSO_4 alkalin. Kemudian, tembaga-protein yang terbentuk akan menguraikan *folin phenol reagent* (asam fosfomolibdat dan asam fosfotungstat) menjadi molibdenum yang berwarna biru. Semakin banyak protein yang menguraikan maka semakin berwarna biru pula sampel yang dihasilkan. Panjang gelombang yang digunakan untuk mengukur absorbansi protein adalah 600 nm. Hasil pengujian kandungan protein dan klorofil tidak dapat langsung digunakan sebagai produk karena pengujian yang dilakukan bukanlah ekstraksi langsung melainkan hanya uji kualitatif dari protein dan klorofil sehingga hasil yang didapatkan masih bercampur dengan pelarut yang tergolong berbahaya bagi tubuh manusia.

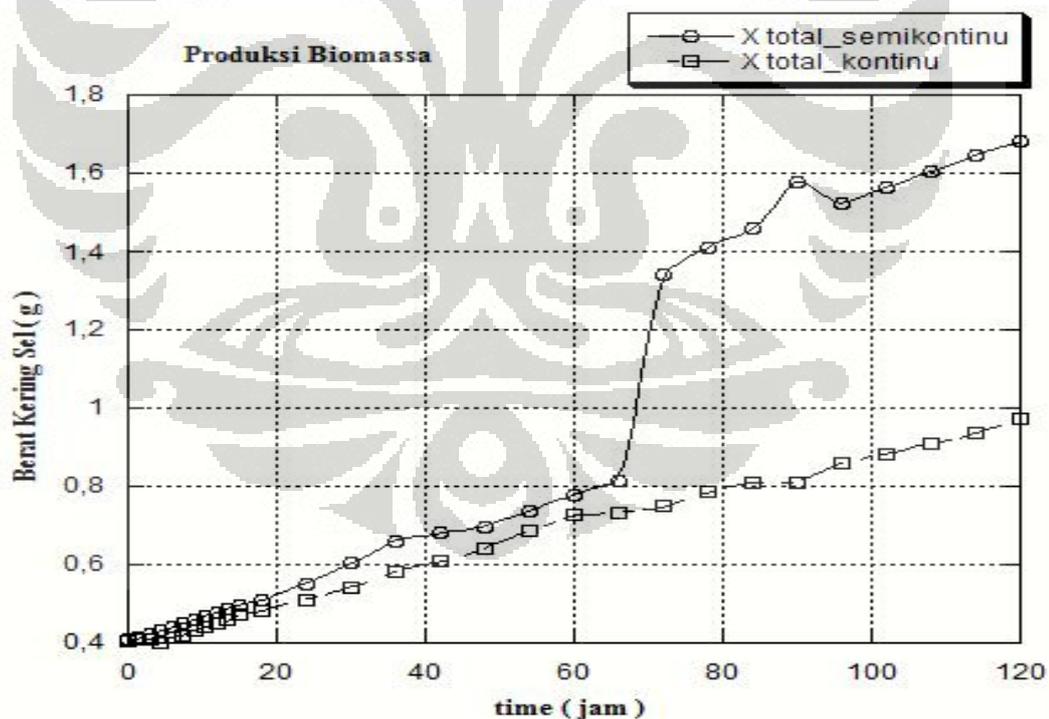
Tingginya konsentrasi CO_2 dalam gas buang merupakan faktor utama dalam pertumbuhan mikroalga (Yoo et al. 2010). Densitas awal yang tinggi dari *Chlorella* sp. bisa mengatasi tekanan lingkungan yang disebabkan oleh aerasi CO_2 yang tinggi dan tumbuh dengan cepat (Chiu et al., 2008). Dalam percobaan ini, dilakukan budidaya dengan densitas tinggi, pertumbuhan hambatan yang disebabkan oleh konsentrasi CO_2 yang tinggi pada gas buang berkurang, dan nilai pH kultur dapat dipertahankan secara stabil. Kehadiran NO_x dalam gas buang menghambat pertumbuhan mikroalga (Lee et al, 2000.). Namun, efek toksik NO juga bisa diatasi dengan densitas tinggi, dan NO dapat menjadi sumber nitrogen untuk mikroalga. NO terserap dalam medium dapat dikonversi ke NO_2 dan kemudian dioksidasi menjadi NO_3 , yang dapat dimanfaatkan sebagai nitrogen sumber (Nagase et al, 2001.). NO gas dapat larut dalam medium mikroalga dan dapat diambil langsung oleh sel alga melalui difusi (Nagase et al., 2001). Gas buang, yang berisi CO_2 dan NO, bisa memberikan tidak hanya sumber karbon untuk pertumbuhan mikroalga, tetapi juga merupakan sumber nitrogen tambahan.

4.2. Hasil Pengamatan dan Analisa

Data hasil penelitian yang dilakukan akan disajikan dalam bentuk angka dan grafik. Untuk data dalam bentuk angka, akan disajikan dalam lampiran dibagian akhir skripsi. Berikut adalah data grafik yang didapat dari pengamatan terhadap reaktor dengan sistem kultivasi semikontinu dan kontinu (kontrol).

4.2.1. Pengaruh CO₂ Tinggi dan NO_x terhadap Berat Kering Sel (X)

Data yang diperoleh dari penelitian ini adalah nilai OD (*optical density*) yang diukur menggunakan spektrofotometer UV/VIS dengan panjang gelombang sebesar 6000 nm. Nilai OD ini yang kemudian akan dikonversikan menjadi nilai X (berat kering sel) menggunakan persamaan yang terdapat pada kurva kalibrasi OD_{600nm} vs X. Seiring bertambahnya lama waktu kultivasi, maka berat kering sel akan semakin bertambah. Sebagai data pembandingan, *Chlorella sp.* dikultur dengan sistem kultivasi semikontinu dan kontinu. Untuk lebih memperjelas, grafik di bawah ini merupakan hubungan antara berat kering sel selama masa kultivasi.

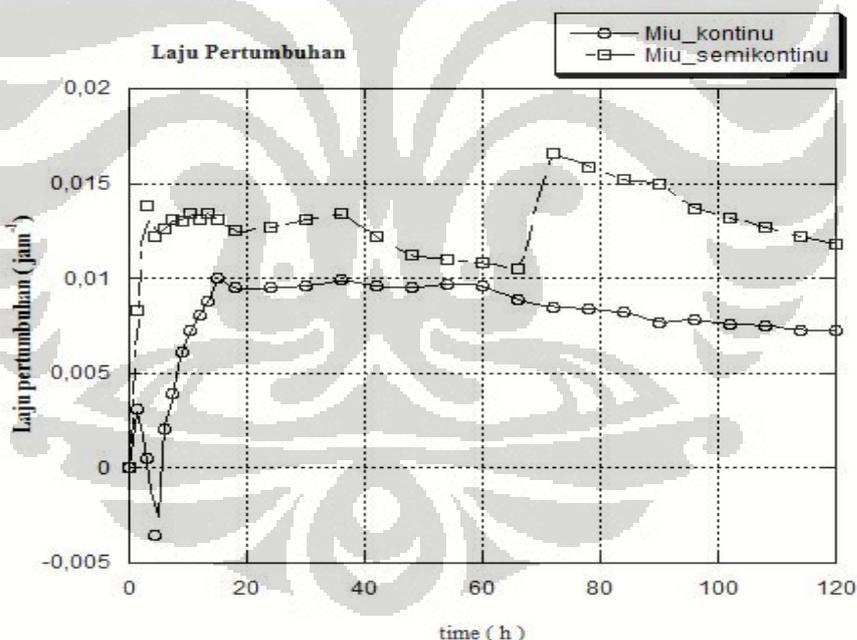


Gambar 4. 1. Peningkatan Produksi Biomassa Pada Sistem Kultivasi Semikontinu Dan Kontinu

Berdasarkan grafik diatas, terjadi peningkatan produksi biomassa pada sistem kultivasi semikontinu. Menurut *S.Y.Chiu et al,(2008)* sistem semikontinu dimulai dengan sistem kultivasi batch. Namun ketika Optical density naik hingga dua kali dari nilai semula, setengah dari volume kultur diganti dengan medium fresh. dikarenakan hal inilah terjadi peningkatan biomassa yang sangat signifikan. Selain itu proses ini diharapkan mampu menurunkan kerapatan yang terlalu tinggi sehingga cahaya yang diterima lebih merata dan proses fiksasi meningkat kembali.

4.2.2. Pengaruh CO₂ Tinggi dan NO_x terhadap terhadap Laju Pertumbuhan (μ)

Selama proses kultivasi berlangsung, Laju pertumbuhan *Chlorella sp.* seharusnya berada pada fase pertumbuhan dimana laju pertumbuhan masih terus naik sampai memasuki fase stasioner. Grafik berikut menunjukkan laju pertumbuhan dari *Chlorella sp.* dalam sistem kultivasi semikontinu dan kontinu:



Gambar 4. 2. Grafik Laju Pertumbuhan *Chlorella sp.* dalam Sistem Kultivasi Semikontinu dan Kontinu

Dengan semakin tingginya produksi biomassa, mengindikasikan bahwa proses fotosintesis dapat berjalan dengan lebih optimal dan menyebabkan laju pertumbuhan juga semakin cepat hal ini terlihat pada gambar 4.2. Karbohidrat hasil fotosintesis oleh mikroalga selain digunakan untuk pertumbuhan juga untuk respirasi selular. Apabila hasil fotosintesis berkurang, maka karbohidrat yang

tersisa setelah sebagian digunakan dalam proses respirasi tidak mencukupi untuk pertumbuhan sel.

Berikut merupakan persamaan untuk menentukan laju pertumbuhan.

$$\mu = \frac{1}{X} \frac{dX}{dt}$$

dimana:

μ = laju pertumbuhan (h^{-1})

X = berat kering sel (mg/ml)

t = waktu (h)

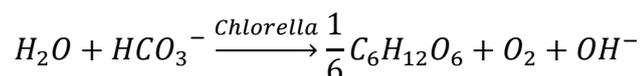
Persamaan tersebut menunjukkan bahwa laju pertumbuhan dipengaruhi oleh waktu dan berat kering sel. Laju pertumbuhan *Chlorella sp.* berbanding terbalik dengan berat kering yang dihasilkan pada rentang waktu tertentu.

4.2.3. Pengaruh CO₂ Tinggi dan NO_x terhadap [HCO₃⁻] dalam Medium

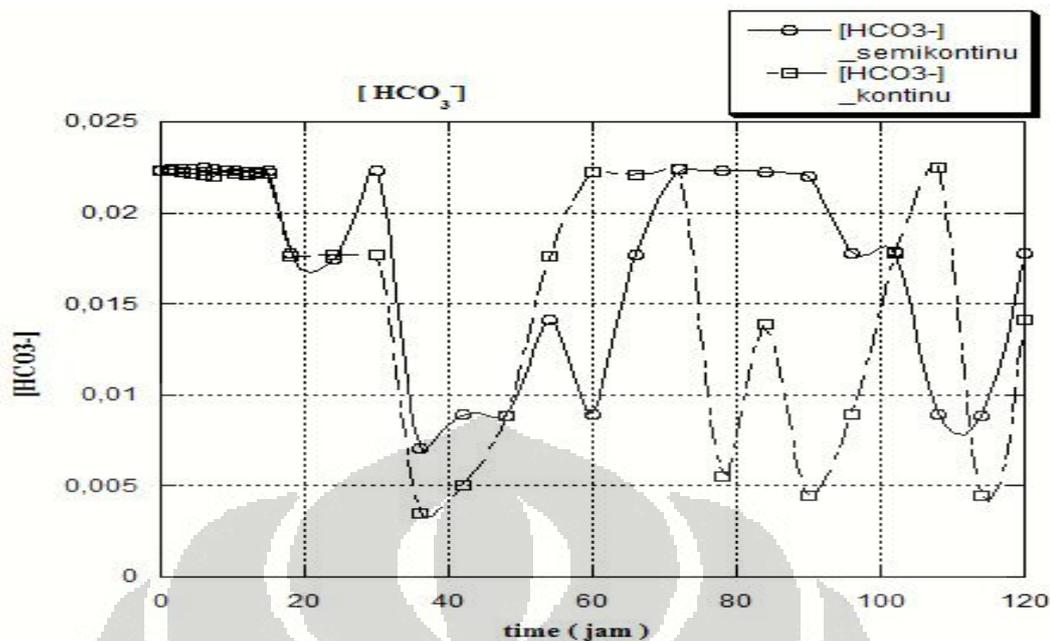
[HCO₃⁻] merupakan parameter untuk mengetahui jumlah karbonat yang tersedia dan dapat dikonsumsi oleh *Chlorella sp.* sebagai makanan atau sumber perkembangannya. Pada proses fotosintesis *Chlorella sp.*, CO₂ tidak diserap dalam bentuk gas melainkan dalam bentuk karbonat. Proses fotosintesis yang terjadi di dalam kultur diawali dengan pembentukan ion karbonat akibat reaksi antara CO₂ dengan air.



Dalam hal ini, yang berperan penting dalam proses fotosintesis yang terjadi saat kultur *Chlorella sp.* adalah [HCO₃⁻]. [HCO₃⁻] inilah yang kemudian akan bereaksi dengan H₂O membentuk senyawa organik seperti glukosa dan ion OH⁻.



Nilai [HCO₃⁻] mempengaruhi nilai pH yang diukur dengan menggunakan pH meter. Peningkatan jumlah sel dalam kultur cenderung meningkatkan jumlah pH kultur.



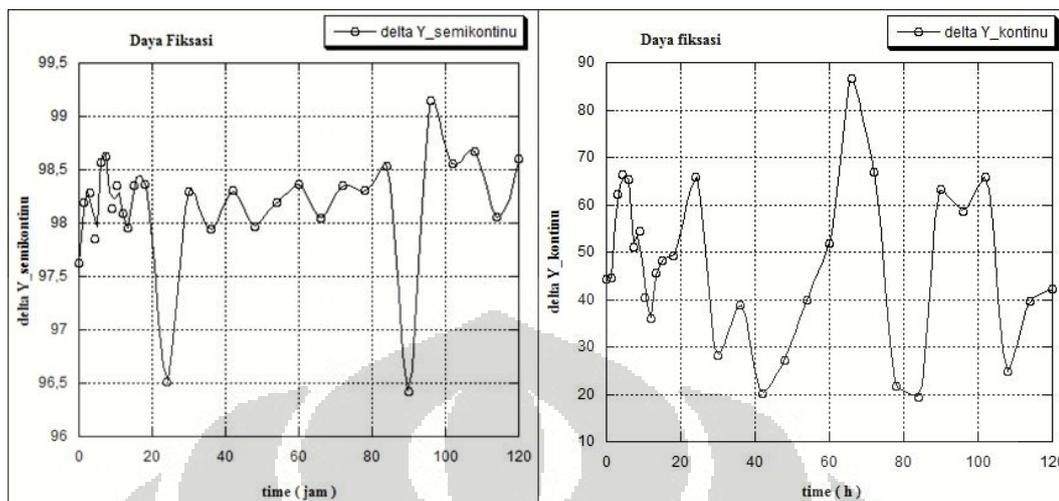
Gambar 4. 3. Grafik fluktuasi [HCO₃⁻] selama kultivasi

Fluktuasi dari nilai ion [HCO₃⁻] diakibatkan karena naik turunnya aktivitas metabolisme dari mikroalga. Pada awal kultivasi berjalan masih terjadi penyesuaian terhadap tingginya CO₂ serta inhibisi dari N₂O sehingga pH cenderung turun (D.R.Aditia,2010). Selanjutnya, nilai pH mengalami peningkatan. Kenaikan nilai pH dapat disebabkan semakin banyaknya jumlah [HCO₃⁻] dalam medium, dikarenakan besarnya konsentrasi spesi ion [HCO₃⁻] sebanding dengan besarnya nilai pH, sehingga nilai [HCO₃⁻] akan semakin besar dengan naiknya nilai pH dalam kultur. Pada akhir masa kultivasi, pH pada sistem kontinu mengalami penurunan dikarenakan kejenuhan medium serta penurunan aktivitas metabolisme sedangkan pada sistem semikontinu, pH tetap stabil karena adanya proses regenerasi medium sehingga medium tidak jenuh yang menyebabkan aktivitas metabolisme berjalan normal kembali.

4.2.4. CO₂ Tinggi dan NO_x terhadap Fiksasi CO₂ oleh *Chlorella sp.*

Daya fiksasi *Chlorella sp.* dapat diamati dengan melihat perubahan konsentrasi antara gas CO₂ yang mengalir ke dalam sistem (in) dan keluar sistem (out) yang terjadi selama proses kultivasi berlangsung. Selisih antara konsentrasi gas CO₂ in dan out merupakan besarnya konsentrasi gas CO₂ yang terfiksasi atau terserap oleh *Chlorella sp.*.

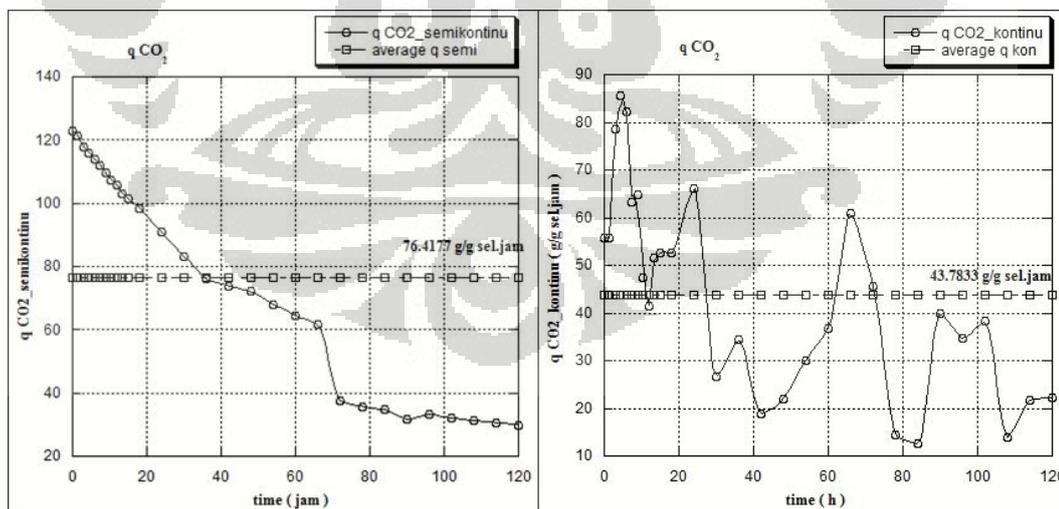
Gambar berikut menunjukkan besarnya daya fiksasi CO₂ oleh *Chlorella* sp. terhadap laju CO₂ tinggi:



Gambar 4. 4. Grafik fiksasi CO₂ oleh *Chlorella* sp.

4.2.5. Pengaruh CO₂ Tinggi dan NO_x terhadap qCO₂

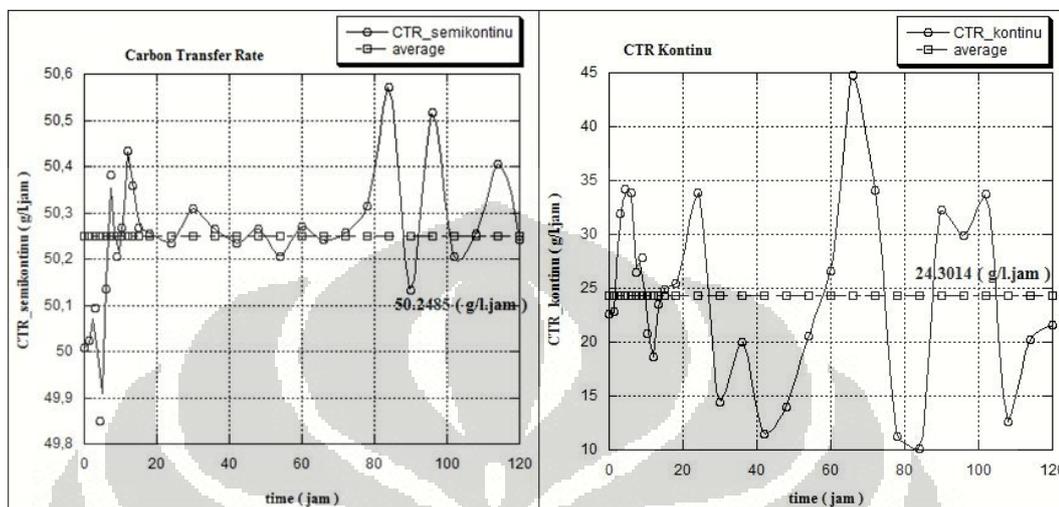
qCO₂ adalah laju gas CO₂ yang ditransfer dalam suatu volume medium karena adanya aktivitas kehidupan biologi dalam satu satuan waktu tertentu. Nilai qCO₂ didapatkan dari pengolahan data CTR (*carbon transfer rate*) dimana nilai q dapat didefinisikan sebagai CTR per satuan biomassa (Wijanarko et al, 2004).



Gambar 4. 5. Grafik Laju Gas CO₂ Yang Dialirkan Kedalam Sistem

4.2.6. Pengaruh CO₂ Tinggi dan NO_x terhadap CTR

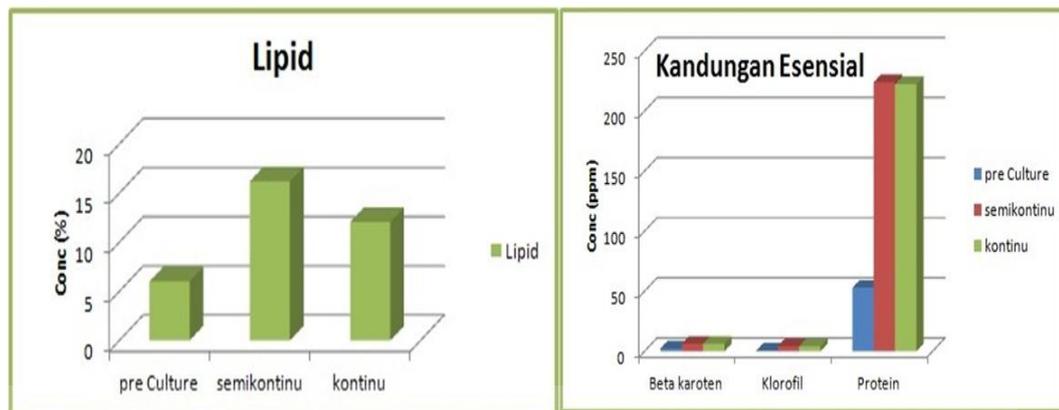
CTR (*carbon transfer rate*) merupakan banyaknya gas CO₂ yang ditransferkan dalam suatu volume medium kultur yang dibutuhkan oleh metabolisme sel selama satu satuan waktu tertentu (Wijanarko et al, 1997).



Gambar 4. 6. Grafik Carbon Transfer Rate pada tingkat CO₂ Tinggi

De Moris dan Costa (2007) melaporkan bahwa efisiensi fiksasi CO₂ dalam kultur dengan CO₂ tinggi lebih baik dari kultur dengan CO₂ rendah, dikarenakan meningkatkan waktu tinggal CO₂ dalam photobioreactor sehingga meningkatkan laju fiksasi oleh mikroalga (*cheng et al,2006*) hal ini sejalan dengan hasil yang ditunjukkan pada grafik yakni dengan laju karbon 98% dalam sistem semikontinu menghasilkan CTR sebesar 50.25%. nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi CO₂ rendah (5%) yakni sebesar 24.26 % (*angraini,2012*).

4.2.7. Kandungan Esensial



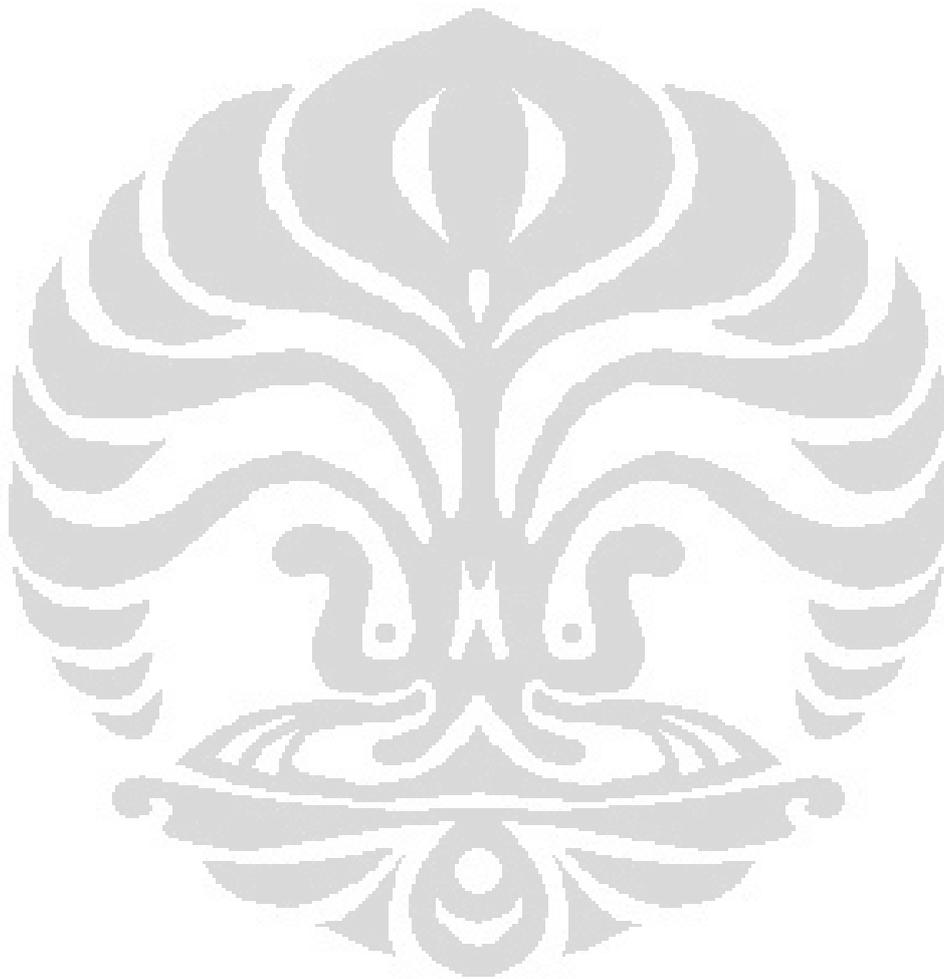
Gambar 4. 7. Grafik Kandungan Esensial

Tingkat penambahan nitrogen mengacu kepada peningkatan klorofil sebanding dengan peningkatan protein dan biomassa. Pada konsentrasi nitrogen yang rendah, mikroalga hijau memiliki kandungan lipid yang tinggi antara 35% sampai 58% dari berat keringnya. Akan tetapi, pada konsentrasi nitrogen yang tinggi, total persentase lipid hanya 11% hingga 20% (Kawaroe, 2010) hal ini sesuai dengan gambar 4.7 yakni lipid yang diperoleh 12% dan 16% dikarenakan adanya tambahan gas nitrogen yang menyebabkan kenaikan konsentrasi nitrogen dalam kultur sehingga menurunkan kandungan lipid.

Kimball (1991) berpendapat bahwa ada hubungan metabolisme antara karbohidrat, protein, dan lemak yaitu kompetisi asetil ko-A, yang merupakan precursor pada beragam jalur biosintesis seperti lemak, protein, dan karbohidrat. pada kondisi stress lingkungan yaitu konsentrasi nitrogen rendah, mikroalga akan cenderung membentuk lipid sebagai cadangan makanan daripada membentuk karbohidrat dan senyawa lainnya. Hal ini disebabkan karena mikroalga lebih banyak menggunakan atom karbon untuk membentuk lipid daripada karbohidrat, sebagai akibat meningkatnya aktifitas enzim asetil ko-A karboksilase (Sheehan, dkk, 1998).

Nitrogen merupakan makronutrisi yang dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroalga dalam kegiatan metabolisme sel yaitu kegiatan transportasi, katabolisme, asimilasi dan khususnya biosintesis protein. Nitrogen juga berperan dalam sintesis Klorofil dan enzim yang mengontrol seluruh proses metabolisme. Nitrogen merupakan bahan penting penyusun asam amino, amida, nukleotida, dan nukleo protein, serta esensial untuk pembelahan sel sehingga nitrogen penting

untuk pertumbuhan (Borowitzka, 1988). Dengan demikian pada saat konsentrasi nitrogen dalam media kultur optimal maka kegiatan metabolisme sel akan berjalan dengan baik, termasuk sintesis klorofil. Dengan adanya kandungan klorofil yang meningkat maka proses fotosintesis akan berjalan dengan baik sehingga pertumbuhan mikroalga akan optimal.



BAB V

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil. Diantaranya adalah :

1. *Chlorella sp.* mampu bertahan hidup dalam kondisi CO₂ tinggi hingga 98% bahkan dengan gangguan NO_x sebesar 0.4% dengan OD₆₀₀ awal 0.5.
2. Kemampuan fiksasinya cukup besar mencapai 90%, dengan nilai Carbon Transfer Rate sebesar 50.2485 g/l.jam
3. Produksi biomasnya meningkat sampai 127.4% dalam 120 jam melalui sistem kultivasi semikontinu.
4. Kandungan esensial secara umum mengalami peningkatan diakibatkan laju fotosintesis yang lebih cepat serta pengaruh pengkayaan nitrogen dengan adanya gas N₂O

DAFTAR PUSTAKA

Arif khozim setiawan,2008.*Pengaruh gas model hasil pembakaran LPG terhadap pertumbuhan mikroalga Chlorella vulgaris*. Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia.

Bligh, E.G. & Dyer, W.J. (1959). *A rapid method for total lipid extraction and purification*. Can.J.Biochem.Physiol. 37:911-917.

Brennan L,. And Owende P.2009, *Biofuel from microalgae-a review og technologies from production, processing, and extraction of biofuels and coproduct*. *Renew sustain energy Rev*,doi;10.1016/j.rser.2009.10.009

Carolina, sriharti,1995.*Kualitas alga bersel tunggal chlorella vulgaris pada berbagai media*. *Seminar ilmiah penelitian dan pengembangan bidang fisika*.

Central Research Institute of Electric Power Industry Report etc.

Danquah M,Ang L, Uduman N, Moheimani N, Forde G 2009. *Dewatering of microalgal culture for biodiesel production: exploring polymer flocculation and tangential flow filtration*. *Journal of chemical Technology and Biotechnology* 2009;84:1078-83

Didit Yudi Permana,2008. *Pengaruh alterasi terhadap fiksasi CO₂ pada pertumbuhan mikroalga Chlorella vulgaris*. Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia.

Dwi Rahmat aditya. 2010. *Pengaruh N₂O Terhadap Pertumbuhan Mikroalga Chlorella Vulgaris Buitenzorg*. Depatemen Teknik Kimia Unversitas Indonesia.

Khaerunnisa, heri et al.2011.*Pemantauan Emisi gas buang PLTU*. litbang tekMIRA

lembaga riset internasional tentang energi (*ExternE, UK SDC, Univ. of Wisconsin, CRIEPI (Japan), Paul Scherrer Inst., UK Energy Review, IAEA, Vattenfall AB, dan British Energy*),

Megasari, Kartini et al.2008, *Penakaran Daur Hidup Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batubara kapasitas 50Mwatt*. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta

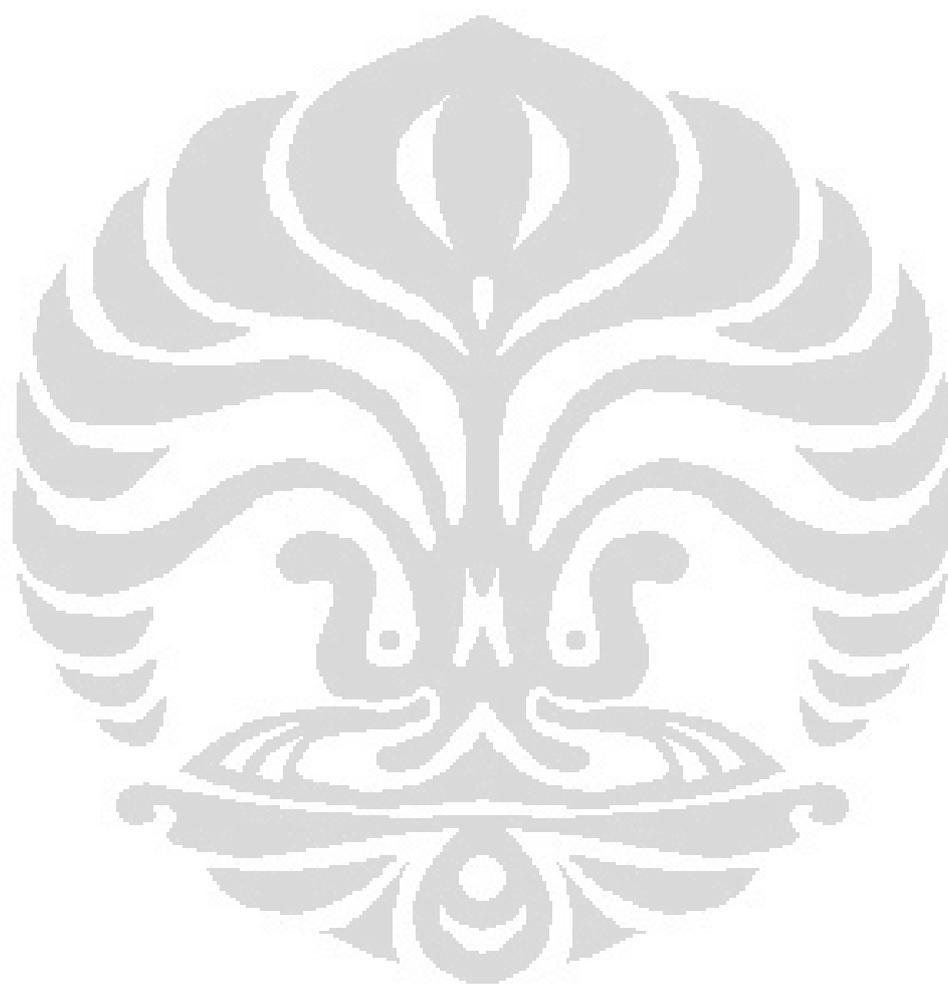
Neng, Teoh Pik and Rashidah mat Resat. 2009 online: *Production of green algae product from ultra filtration and flocculation*.

Sheng-Yi Chiu, 2008. *Reduction of CO₂ by a high-density culture of Chlorella sp. in semicontinuous photobioreactor.Taiwan.Bioresource Technology journal of Sciene Direct – 3389-3396*

Wijanarko, A., dkk. 2003. *Reactor in Series Approximation, An Enhancement Effort of CO₂ Removal and Biomass Production by Anabaena cylindrica*, Department of Chemical Engineering, Tokyo Institute of Technology.

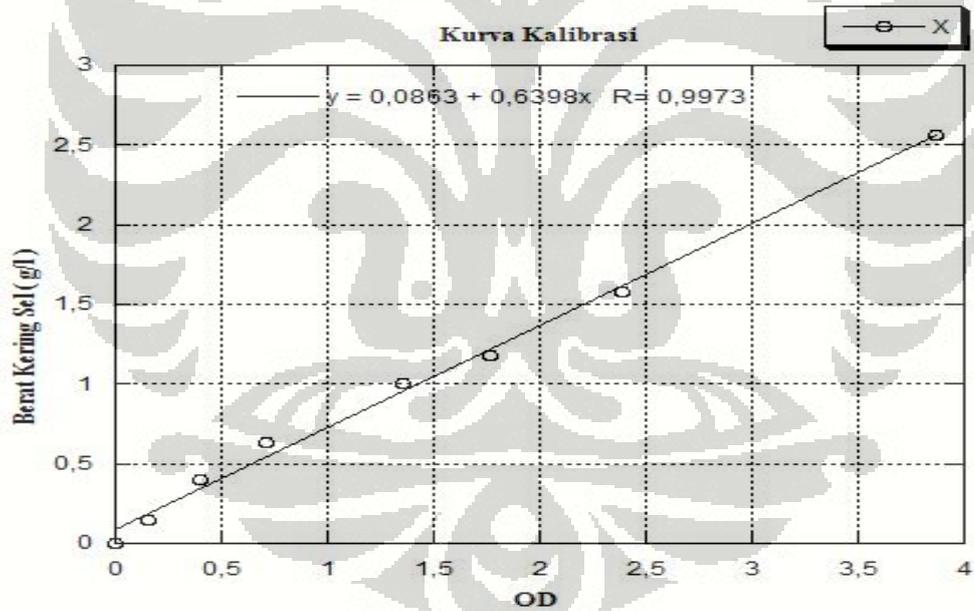
Wirosaputro, Sukiman.2002.*Chlorella untuk kesehatan Global*, Gajah Mada University Press.

LAMPIRAN



Lampiran A. Kurva Kalibrasi Optical Density terhadap Berat Kering sel.

Berat Kering sel (g)	ABS
0.000	0.000
0.007	0.146
0.020	0.404
0.032	0.630
0.050	1.006
0.059	1.180
0.079	1.574
0.128	2.566



Jam ke-	OD Reaktor	OD Filtrat	X Filtrat	X total	pH	[HCO ₃ -]	I ₀ (lux)	I _b (lux)	yCO ₂ in	yCO ₂ out	ΔyCO ₂	%ΔyCO ₂	Δy CO ₂ CTR	CTR	q CO ₂	miu
0	0.502			0.407	6.2	0.0223	3500	180.33	98.7890	1.1687	97.6203	98.8170	0.9882	50.0074	122.7236	0.0000
1.5	0.510			0.413	6.2	0.0224	3500	176.67	99.3363	1.1448	98.1915	98.8476	0.9885	50.0228	121.2387	0.0083
3	0.529			0.425	6.2	0.0224	3500	197.33	99.2886	1.0068	98.2818	98.9860	0.9899	50.0929	117.9338	0.0138
4.5	0.538			0.431	6.2	0.0224	3500	239.67	99.3345	1.4829	97.8516	98.5072	0.9851	49.8506	115.7936	0.0122
6	0.552			0.439	6.2	0.0225	3500	219.33	99.4999	0.9272	98.5727	99.0681	0.9907	50.1345	114.0795	0.0126
7.5	0.568			0.450	6.2	0.0224	3500	206.33	99.0617	0.4395	98.6222	99.5563	0.9956	50.3815	112.0320	0.0131
9	0.581			0.458	6.2	0.0223	3500	195.67	98.9270	0.7848	98.1422	99.2067	0.9921	50.2046	109.6113	0.0130
10.5	0.598			0.469	6.2	0.0224	3500	180.00	99.0108	0.6622	98.3486	99.3312	0.9933	50.2676	107.2031	0.0134
12	0.610			0.477	6.2	0.0222	3500	172.33	98.4238	0.3368	98.0870	99.6578	0.9966	50.4329	105.8229	0.0131
13.5	0.628			0.488	6.2	0.0222	3500	160.33	98.4401	0.4832	97.9569	99.5091	0.9951	50.3576	103.1719	0.0134
15	0.640			0.496	6.2	0.0224	3500	148.67	99.0108	0.6622	98.3486	99.3312	0.9933	50.2676	101.3925	0.0131
18	0.663			0.510	6.1	0.0178	3500	135.67	99.0567	0.6873	98.3694	99.3062	0.9931	50.2549	98.4450	0.0125
24	0.728			0.552	6.1	0.0174	3500	111.33	97.2270	0.7139	96.5131	99.2657	0.9927	50.2345	90.9922	0.0127
30	0.809			0.604	6.2	0.0223	3500	90.80	98.8754	0.5782	98.2972	99.4152	0.9942	50.3101	83.3089	0.0131
36	0.897			0.660	5.7	0.0070	3500	71.67	98.6042	0.6634	97.9408	99.3272	0.9933	50.2656	76.1368	0.0134
42	0.930			0.681	5.8	0.0089	3500	63.00	99.0345	0.7293	98.3052	99.2636	0.9926	50.2334	73.7301	0.0122
48	0.954			0.697	5.8	0.0089	3500	57.00	98.6334	0.6632	97.9702	99.3276	0.9933	50.2658	72.1516	0.0112
54	1.018			0.738	6	0.0141	3500	42.00	98.9734	0.7821	98.1913	99.2098	0.9921	50.2061	68.0654	0.0110
60	1.083			0.779	5.8	0.0089	3500	30.00	99.0234	0.6549	98.3685	99.3386	0.9934	50.2714	64.5163	0.0108
66	1.138			0.814	6.1	0.0177	3500	26.00	98.7639	0.7128	98.0511	99.2783	0.9928	50.2408	61.6912	0.0105
72	0.630	1.198	0.8527804	1.342	6.2	0.0224	3500	214.67	99.0345	0.6845	98.3500	99.3088	0.9931	50.2563	37.4445	0.0166
78	0.735			1.409	6.2	0.0223	3500	175.00	98.8736	0.5678	98.3058	99.4257	0.9943	50.3154	35.7016	0.0159
84	0.811			1.458	6.2	0.0223	3500	133.00	98.6042	0.0654	98.5388	99.9337	0.9993	50.5725	34.6872	0.0152
90	0.999			1.578	6.2	0.0220	3500	84.00	97.3335	0.9124	96.4211	99.0626	0.9906	50.1317	31.7643	0.0150
96	0.910			1.521	6.1	0.0178	3500	71.67	99.3176	0.1734	99.1442	99.8254	0.9983	50.5177	33.2070	0.0137
102	0.976			1.564	6.1	0.0178	3500	65.00	99.3422	0.7875	98.5547	99.2073	0.9921	50.2049	32.1101	0.0132
108	1.039			1.604	5.8	0.0089	3500	43.00	99.3585	0.6880	98.6705	99.3076	0.9931	50.2556	31.3347	0.0127
114	1.104			1.645	5.8	0.0089	3500	31.00	98.4461	0.3888	98.0573	99.6051	0.9961	50.4062	30.6342	0.0122
120	1.160			1.681	6.1	0.0178	3500	27.00	99.3176	0.7126	98.6050	99.2825	0.9928	50.2429	29.8843	0.0118
RATA-RATA														50.2485	76.4417	

Lampiran B. Tabel Pengamatan dan Perhitungan kultivasi Semikontinu.

Jam ke-	OD Reaktor	X total	pH	[HCO ₃ ⁻]	I0 (lux)	Ib (lux)	yCO ₂ in	yCO ₂ out	ΔyCO ₂	%ΔyCO ₂	Δy CO ₂ CTR	CTR	q CO ₂	miu
0	0.501	0.407	6.2	0.022	3600	180.330	98.772	54.564	44.209	44.758	0.448	22.650	55.674	0.000
1.5	0.504	0.409	6.2	0.022	3600	231.330	98.751	54.235	44.516	45.079	0.451	22.813	55.809	0.003
3	0.502	0.407	6.2	0.022	3600	231.330	98.454	36.260	62.194	63.171	0.632	31.968	78.454	0.001
4.5	0.491	0.400	6.2	0.022	3600	246.670	97.940	31.693	66.247	67.640	0.676	34.230	85.481	0.004
6	0.509	0.412	6.2	0.022	3600	237.000	97.812	32.417	65.395	66.858	0.669	33.834	82.130	0.002
7.5	0.520	0.419	6.2	0.022	3600	226.670	97.392	46.332	51.060	52.427	0.524	26.531	63.321	0.004
9	0.537	0.430	6.2	0.022	3600	219.300	99.003	44.544	54.460	55.008	0.550	27.837	64.757	0.006
10.5	0.552	0.439	6.2	0.022	3600	210.000	98.215	57.837	40.377	41.111	0.411	20.805	47.341	0.007
12	0.566	0.448	6.2	0.022	3600	201.670	97.893	61.874	36.020	36.795	0.368	18.620	41.524	0.008
13.5	0.581	0.458	6.2	0.022	3600	194.330	98.012	52.374	45.639	46.564	0.466	23.564	51.448	0.009
15	0.604	0.473	6.2	0.022	3600	183.000	97.988	49.735	48.253	49.243	0.492	24.920	52.714	0.010
18	0.620	0.483	6.1	0.018	3600	165.670	98.135	48.836	49.298	50.235	0.502	25.422	52.636	0.010
24	0.664	0.511	6.1	0.018	3600	156.000	98.604	32.699	65.906	66.839	0.668	33.824	66.176	0.010
30	0.714	0.543	6.1	0.018	3600	142.000	98.459	70.373	28.086	28.526	0.285	14.436	26.579	0.010
36	0.774	0.582	5.4	0.004	3600	131.330	98.645	59.746	38.899	39.433	0.394	19.956	34.317	0.010
42	0.815	0.608	5.6	0.005	3600	117.000	89.046	68.836	20.209	22.696	0.227	11.485	18.899	0.010
48	0.867	0.641	5.8	0.009	3600	85.000	98.342	71.083	27.259	27.718	0.277	14.027	21.883	0.009
54	0.936	0.685	6.1	0.018	3600	72.000	98.346	58.363	39.983	40.655	0.407	20.574	30.028	0.010
60	0.999	0.725	6.2	0.022	3600	64.000	98.604	46.736	51.868	52.602	0.526	26.620	36.694	0.010
66	1.012	0.734	6.2	0.022	3600	56.000	97.916	11.257	86.659	88.504	0.885	44.788	61.038	0.009
72	1.035	0.748	6.2	0.022	3600	41.000	99.201	32.362	66.839	67.378	0.674	34.097	45.554	0.008
78	1.092	0.785	5.6	0.006	3600	38.000	97.426	75.745	21.680	22.253	0.223	11.262	14.347	0.008
84	1.128	0.808	6.0	0.014	3600	31.000	97.132	77.675	19.457	20.031	0.200	10.137	12.546	0.008
90	1.133	0.811	5.5	0.004	3600	25.000	99.268	35.955	63.313	63.780	0.638	32.277	39.789	0.008
96	1.209	0.860	5.8	0.009	3600	22.000	99.390	40.696	58.694	59.054	0.591	29.885	34.757	0.008
102	1.245	0.883	6.1	0.018	3600	19.000	98.931	32.991	65.940	66.652	0.667	33.730	38.206	0.008
108	1.287	0.910	6.2	0.022	3600	16.000	99.378	74.583	24.795	24.950	0.249	12.626	13.879	0.007
114	1.327	0.935	5.5	0.004	3600	15.000	98.840	59.315	39.524	39.988	0.400	20.236	21.636	0.007
120	1.383	0.971	6.0	0.014	3600	13.000	98.948	56.743	42.205	42.654	0.427	21.585	22.227	0.007
RATA-RATA												24.3014	43.7877	

Lampiran C. Tabel Pengamatan dan Perhitungan kultivasi Kontinu.

Beta Karoten

	ABS		Average
pre cultur	0.168	0.65856	0.66
pre cultur	0.167	0.65464	
semikontinu_1	1.106	4.33552	4.34
semikontinu_2	1.107	4.33944	
kontinu_1	1.099	4.30808	4.31
kontinu_2	1.102	4.31984	

Klorofil

	ABS	Klorofil a	Klorofil b	Klorofil a+b	Average
Pre Culture	1.1	0.159	1.86866	0.54464	2.40638
	1.2	0.056			
	2.1	0.159	1.86597	0.56754	2.42658
	2.2	0.057			
Semikontinu	1.1	0.383	4.44446	1.79528	6.22286
	1.2	0.156			
	2.1	0.383	4.44446	1.79528	6.22286
	2.2	0.156			
Kontinu	1.1	0.381	4.41368	1.85036	6.24722
	1.2	0.158			
	2.1	0.381	4.41368	1.85036	6.24722
	2.2	0.158			

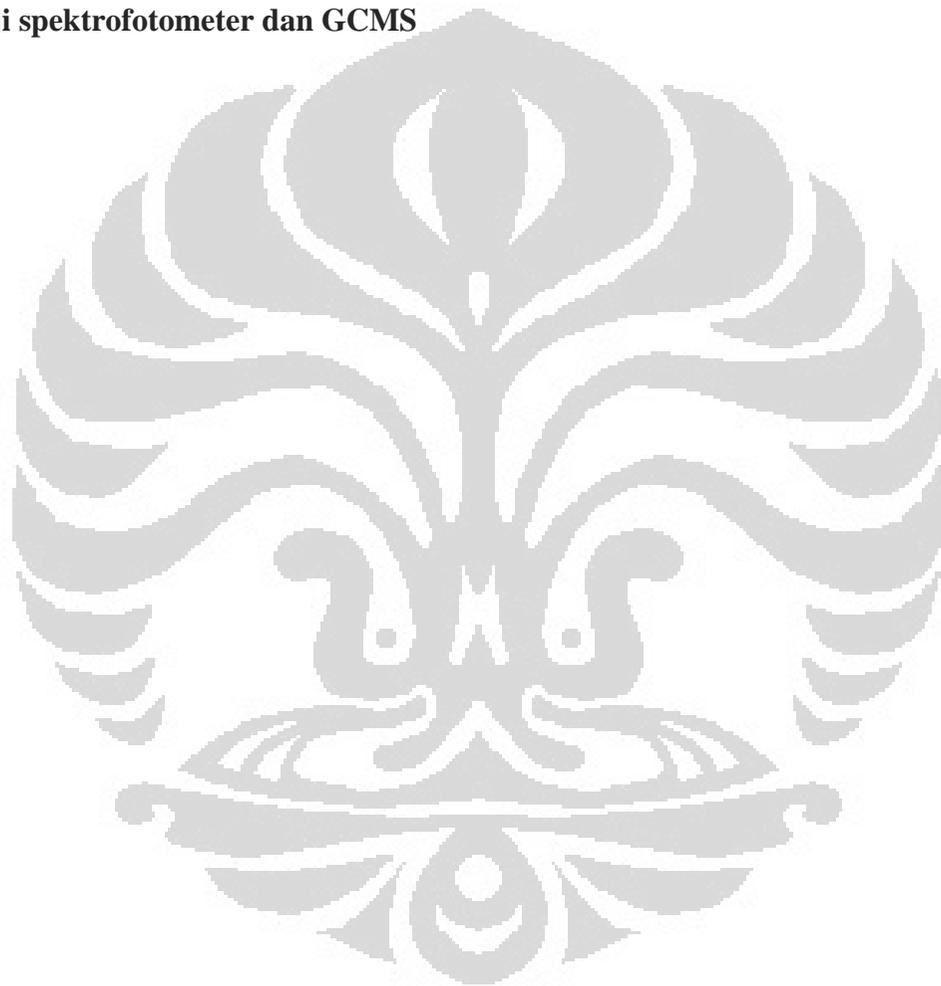
Lampiran D. Hasil Perhitungan Kandungan Beta karoten dan Klorofil

Protein	CONC	Fp	Final Conc	Average
pre cultur_1	52.449	1	52.449	52.956
pre cultur_2	53.463	1	53.463	
semikontinu_1	112.286	2	224.572	224.064
semikontinu_2	111.778	2	223.556	
kontinu_1	110.764	2	221.528	222.542
kontinu_2	111.778	2	223.556	

Lipid	% lipid	Average
pre cultur_1	5.90	6
pre cultur_2	6.10	
semikontinu_1	16.40	16.2
semikontinu_2	16.00	
kontinu_1	12.00	12.06
kontinu_2	12.12	

Lampiran E. Hasil Perhitungan Kandungan Protein dan Lipid

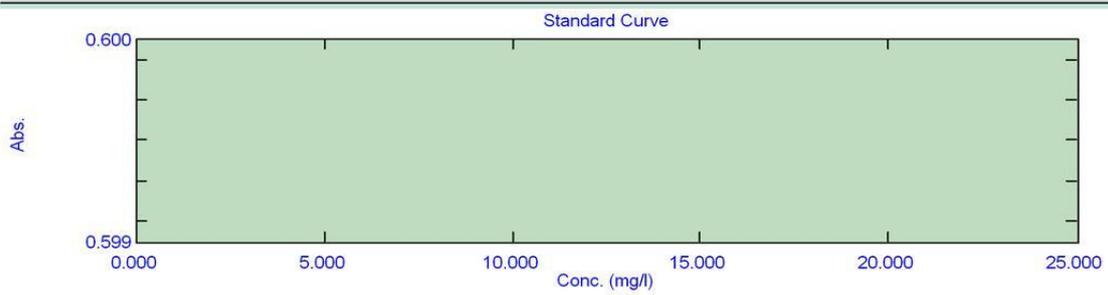
Lampiran F. Print out hasil uji spektrofotometer dan GCMS



TESTING REPORT_BETA KAROTEN

07/10/2012

08:00:32 PM



Standard Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL450.0	Wgt.Factor	Comments
1							

Sample Table

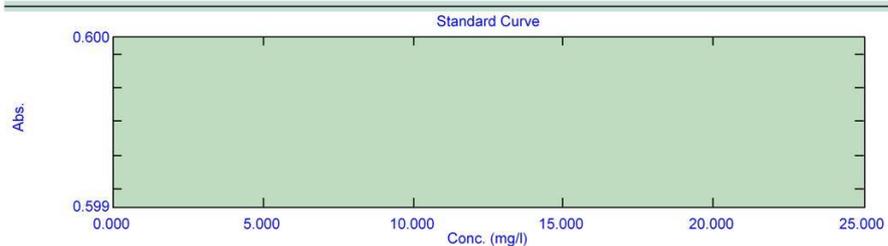
	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL450.0	Comments
1	pre culture_1	Unknown		*****	0.168	
2	preculture_2	Unknown		*****	0.167	
3	semikontinu_1	Unknown		*****	0.106	
4	semikontinu_2	Unknown		*****	0.107	
5	kontinu_1	Unknown		*****	0.998	
6	kontinu_2	Unknown		*****	0.102	
7						

Prepared by,

Lab Technician

Checked by,

Lab Coordinator



Standard Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL645.0	Wgt.Factor	Comments
1							

Sample Table

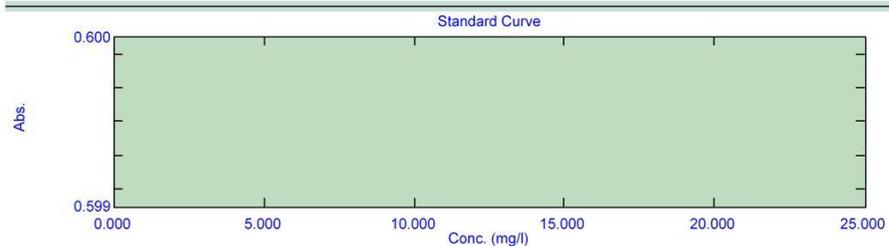
	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL645.0	Comments
1	pre culture_1	Unknown		*****	0.056	
2	pre culture_2	Unknown		*****	0.057	
3	semikontinu_1	Unknown		*****	0.156	
4	semikontinu_2	Unknown		*****	0.156	
5	kontinu_1	Unknown		*****	0.158	
6	kontinu_2	Unknown		*****	0.158	
7						

Prepared by,

Lab
Technician

Checked by,

Lab
Coordinator



Standard Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL663.0	Wgt.Factor	Comments
1							

Sample Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL663.0	Comments
1	pre culture_1	Unknown		*****	0.159	
2	pre culture_2	Unknown		*****	0.159	
3	semikontinu_1	Unknown		*****	0.383	
4	semikontinu_2	Unknown		*****	0.383	
5	kontinu_1	Unknown		*****	0.381	
6	kontinu_2	Unknown		*****	0.381	
7						

Prepared by,

Lab
Technician

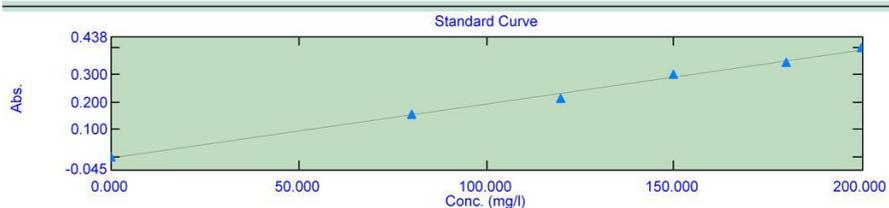
Checked by,

Lab
Coordinator

TESTING REPORT_PROTEIN

07/10/2012

08:07:40 PM



$y = 0.00197x - 0.00443$
Correlation Coefficient $r^2 = 0.99397$

Standard Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL750.0	Wgt.Factor	Comments
1	STD 1	Standard		0.000	0.000	1.000	
2	STD 2	Standard		80.000	0.155	1.000	
3	STD 3	Standard		120.000	0.213	1.000	
4	STD 4	Standard		150.000	0.303	1.000	
5	STD 5	Standard		180.000	0.344	1.000	
6	STD 6	Standard		200.000	0.398	1.000	
7							

Sample Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL750.0	Comments
1	PRE CULTUR_1	Unknown		52.449	0.099	
2	PRE CULTUR_2	Unknown		53.463	0.101	
3	SEMIKONTINU_	Unknown		112.286	0.217	FP=2X
4	SEMIKONTINU_	Unknown		111.778	0.216	FP=2X
5	KONTINU_1	Unknown		110.764	0.214	FP=2X
6	KONTINU_2	Unknown		111.778	0.216	FP=2X
7						

Prepared by,

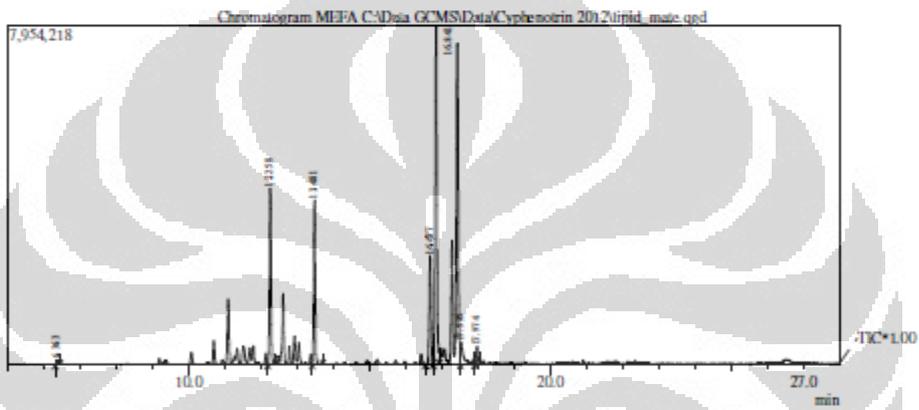
Lab
Technician

Checked by,

Lab
Coordinator

Sample Information

Analyzed by : Admin
 Analyzed : 6/21/2012 10:10:37 PM
 Sample Type : Standard
 Level # : 5
 Sample Name : MEFA
 Sample ID : MEFA
 IS Amount : [1]-1
 Sample Amount : 1
 Dilution Factor : 1
 Vial # : 1
 Injection Volume : 2
 Data File : C:\Data GCMS\Data\Cyphenotrin 2012\lipid_mate.qgd
 Org Data File : C:\Data GCMS\Data\Cyphenotrin 2012\MEFA_2.qgd
 Method File : C:\Data GCMS\Data\pestisida\Sid150310\Fatty Acid.qgm
 Org Method File : C:\Data GCMS\Data\pestisida\Sid150310\Fatty Acid.qgm
 Tuning File : C:\GCMSolution\System Tune 1070612.qgt
 \$!\$(solvent=)(Comment)
 solvent



Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Mark	Name
1	6.363	6.308	6.442	296965	0.46	95257	0.49	3.11		Stearic acid
2	12.258	12.183	12.417	12716557	19.67	4139208	21.22	3.07	V	Palmitic acid
3	13.481	13.417	13.708	11180696	17.29	3865254	19.82	2.89	V	Palmitic acid
4	16.677	16.550	16.738	8726199	13.50	2547696	13.06	3.42	V	Linoleic acid
5	16.841	16.758	16.933	22377027	42.35	7941071	40.72	3.44	V	Linoleic acid
6	17.535	17.508	17.908	999129	4.63	502396	2.57	5.95	SV	Oleic acid
7	17.974	17.908	18.083	1362852	2.11	411482	2.11	3.31	V	Stearic acid
				64651435	100.00	19502084	100.00			