



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGATURAN KECEPATAN ALIRAN HISAP DALAM  
PERLAKUAN FILTRASI PADA SIRKULASI ALIRAN MEDIA  
KULTUR UNTUK PENINGKATAN PRODUKSI BIOMASSA**

*Chlorella vulgaris* Buitenzorg

**SKRIPSI**

**Oleh :**

**HERU DARMAWAN**

**0706200333**

**PROGRAM EKSTENSI**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

**DEPOK, JULI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGATURAN KECEPATAN ALIRAN HISAP DALAM  
PERLAKUAN FILTRASI PADA SIRKULASI ALIRAN MEDIA  
KULTUR UNTUK PENINGKATAN PRODUKSI BIOMASSA**

*Chlorella vulgaris* Buitenzorg

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik**

**HERU DARMAWAN**

**0706200333**

**PROGRAM EKSTENSI  
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPOK, JULI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Heru Darmawan**

**NPM : 070620033**

**Tanda Tangan :** 

**Tanggal : 6 Juli 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Heru Darmawan  
NPM : 070620033  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Aliran Sirkulasi Media Kultur untuk Peningkatan Produksi Biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan 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 : 1. Ir. Dianursanti, M.T.

2. Prof. Dr. Ir. Anondho Wijanarko, M.Eng.

Penguji : Dr. Ir. Heri Hermansyah, M.Eng.

Penguji : Ir. Tania Surya Utami, M.T.

Penguji : Ir. Rita Arbianti M. Si.



Ditetapkan di : Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia,  
Depok.

Tanggal : 2 Juli 2010

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur kepada Allah SWT atas izinNya tugas ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Skripsi dengan judul **Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap Dalam Perlakuan Filtrasi Pada Sirkulasi Aliran Media Kultur Untuk Peningkatan Produksi Biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg** ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan akademis dalam meraih gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Kimia FTUI.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA, selaku ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
2. Ibu Ir. Dianursanti, M.T selaku pembimbing I, atas bimbingan yang telah diberikan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Anondho Wijanarko M.eng selaku pembimbing II atas bimbingan dan masukan yang telah diberikan.
4. Ibu Tania Surya Utami selaku pembimbing akademik penulis, atas bimbingan, dorongan dan nasehatnya.
5. Semua dosen Teknik Kimia FTUI, guru-guru dari TK sampai SMA atas ilmu yang telah diberikan.
6. Seluruh keluarga atas segala perhatiannya selama ini.
7. Teman-teman sepenelitian, Putu, Ponco, Fadli, Gema, Tarryn, Adit Kate, dan Maudhi.
8. Teman-teman angkatan 2007 atas kebersamaan dan pertemanannya selama ini.
9. Pihak-pihak lain yang mendukung dan membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Untuk itu, penulis mengharapkan saran dan kritik untuk memperbaiki penulisan di masa yang akan datang.

Depok, Juli 2010



Heru Darmawan

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Heru Darmawan  
NPM : 070620033  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

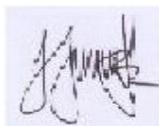
“Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Aliran Sirkulasi Media Kultur untuk Peningkatan Produksi Biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai pemilik/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 6 Juli 2010

Yang menyatakan



(Heru Darmawan)

Heru Darmawan  
0706200333  
Departemen Teknik Kimia

Pembimbing :  
I. Ir. Dianursanti, M.T.  
II. Prof. Dr. Ir. Anondho Wijanarko M.Eng

**PENGATURAN KECEPATAN ALIRAN HISAP DALAM PERLAKUAN FILTRASI  
PADA SIRKULASI ALIRAN MEDIA KULTUR UNTUK PENINGKATAN  
PRODUKSI BIOMASSA *Chlorella vulgaris* Buitenzorg**

**ABSTRAK**

Kandungan nutrisi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg sangat cocok untuk suplemen makanan, disamping dari kemampuannya untuk mereduksi CO<sub>2</sub> yang dapat dimanfaatkan untuk mengurangi pemanasan global. Karena tidak mungkin untuk menggunakan pencahayaan alterasi untuk mengatasi masalah *self shading* (terjadinya peningkatan kerapatan sel koloni *Chlorella vulgaris* Buitenzorg yang mengakibatkan penerimaan cahaya oleh sel pada seluruh bagian reaktor tidak merata) selama masa pertumbuhan sel pada pencahayaan harian. Untuk mengatasi masalah ini salah satu solusinya yaitu dengan menggunakan sistem pemerangkapan sel dengan proses filtrasi yang akan digunakan pada penelitian kali ini. Dalam penelitian ini, kultivasi dilakukan pada kondisi: T-29°C. P-1 atm. CO<sub>2</sub>-5%: Medium Benneck: Fotobioreaktor Kolom Gelembung berukuran 18 dm<sup>3</sup>: dan sumber cahaya lampu Phillip Halogen Lamp 20W/12V/50Hz. Kultivasi *Chlorella vulgaris* dengan proses filtrasi menggunakan basis kurva kecepatan hisap maksimum ( $\sigma$ ) berhasil meningkatkan produksi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg sebesar 43% dibandingkan dengan proses tanpa filtrasi dengan kerapatan yang sama.

Kata Kunci: filtrasi, *Chlorella vulgaris*, fotobioreaktor kolom gelembung.

Heru Darmawan  
0706200333  
Chemical Engineering Department

Counsellor :  
I. Ir. Dianursanti, M.T.  
II. Prof. Dr. Ir. Anondho Wijanarko M.Eng

**SUCTION RATE ADJUSTMENT IN FILTRATION PROCESS OF MEDIA CULTURE  
CIRCULATION FOR INCREASING BIOMASS PRODUCTION OF  
*Chlorella vulgaris* Buitenzorg**

**ABSTRACT**

Nutritional content of *Chlorella vulgaris* Buitenzorg biomass is suitable for holistic food supplement beside fact of its capability to reduce CO<sub>2</sub> a global warming pollutant by photosynthesis. Cause of it is impossible to use lightening alteration for solving self shading problem during cellular growth in daily solar lightening; a solution using cellular filtration treatment was done in this experiment. Cellular cultivation is operated in Bubble Column Photo bioreactor at temperature of 29°C; Pressure of 1 atm; CO<sub>2</sub> concentration in bubbled gas 5%; using 18 dm<sup>3</sup> Benneck medium and illuminated by a Phillip Halogen Lamp 20W/12V/50Hz. As a result, cultivation of *Chlorella* using filtration treatment at optimum suction rate ( $\sigma$ ) is successfully increasing biomass production around 40% more than cultivation without filtration treatment.

Keywords: Filtration Treatment, *Chlorella vulgaris* Buitenzorg, bubble column photo

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
DAFTAR NOTASI .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH .....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH .....	5
1.3 TUJUAN PENELITIAN .....	5
1.4 BATASAN MASALAH .....	5
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 MIKROALGA <i>Chlorella vulgaris</i> .....	8
2.1.1 Taksonomi <i>Chlorella vulgaris</i> .....	9
2.1.2 Morfologi <i>Chlorella vulgaris</i> .....	10
2.1.3 Pertumbuhan dan Perkembangan Sel <i>Chlorella vulgaris</i> .....	11
2.1.4 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i> .....	13
2.1.5 Kandungan Biomassa <i>Chlorella vulgaris</i> .....	16
2.1.6 Manfaat <i>Chlorella vulgaris</i> dalam Bidang Kesehatan .....	18
2.2 PROSES FOTOSINTESIS .....	20
2.2.1 Komponen Fotosintesis Mikroalga Hijau <i>Chlorella vulgaris</i> .....	20

2.2.2	Reaksi Fotosintesis .....	23
2.2.3	Fotosintesis Mikroalga Hijau <i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg .....	26
2.2.4	Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Proses Fotosintesis .....	26
2.3	FOTOBIOREAKTOR .....	27
2.3.1	Karakteristik Fotobioreaktor .....	28
2.3.2	Peranan Fotobioreaktor .....	30
2.3.3	Jenis Fotobioreaktor .....	31
2.3.4	Fotobioreaktor Kolom Gelembung .....	33
2.4	PENELITIAN YANG TELAH DILAKUKAN .....	34
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>35</b>
3.1	DIAGRAM ALIR PENELITIAN .....	35
3.2	ALAT DAN BAHAN PENELITIAN .....	36
3.3	VARIABEL PENELITIAN .....	37
3.3.1	Variabel Bebas .....	37
3.3.2	Variabel Terikat .....	37
3.3.3	Variabel Tetap .....	37
3.4	PROSEDUR PENELITIAN .....	37
3.4.1	Studi Literatur .....	38
3.4.2	Persiapan Peralatan dan Medium .....	38
3.4.3	Pembiakan Kultur <i>Chlorella vulgaris</i> dalam Medium <i>Benneck</i> .....	41
3.4.4	Penentuan Kerapatan Biomassa Inokulum <i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg ...	42
3.4.5	Pelaksanaan Kegiatan Riset .....	42
3.4.6	Pengambilan Data .....	43
3.4.7	Pengolahan Data Penelitian .....	44
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>47</b>
4.1	PEMBAHASAN UMUM .....	47
4.2	DATA PENELITIAN .....	52
4.3	PENENTUAN KECEPATAN ALIRAN HISAP YANG MEMBERIKAN LAJU PERTUMBUHAN SPESIFIK ( $\sigma_{\mu\max}$ ) MAKSIMUM PADA INOKULUM TERTENTU .....	55

4.4	PENGARUH PENGATURAN KECEPATAN ALIRAN HISAP DALAM PERLAKUAN FILTRASI TERHADAP PRODUKSI BIOMASSA (X) <i>Chlorella Vulgaris Buitenzorg</i> .....	57
4.4.1	Pengaruh Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Terhadap Laju Pertumbuhan ( $\mu$ ) <i>Chlorella Vulgaris Buitenzorg</i> .....	58
4.4.2	Pengaruh Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Terhadap $[HCO_3^-]$ .....	60
4.4.3	Pengaruh Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Terhadap Fiksasi $CO_2$ oleh <i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg .....	62
4.4.3.1	Pengaruh Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Terhadap $y_{CO_2}$ .....	62
4.4.3.2	Pengaruh Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Terhadap Laju Fiksasi Karbondioksida .....	63
4.4.3.3	Pengaruh Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Terhadap CTR dan CUR .....	64
4.4.3.4	Pengaruh Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Terhadap Besarnya Energi Cahaya Untuk Produksi Biomassa ( $E_x$ ) .....	68
<b>BAB V KESIMPULAN</b> .....		<b>70</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		<b>71</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....		<b>73</b>

## DAFTAR GAMBAR

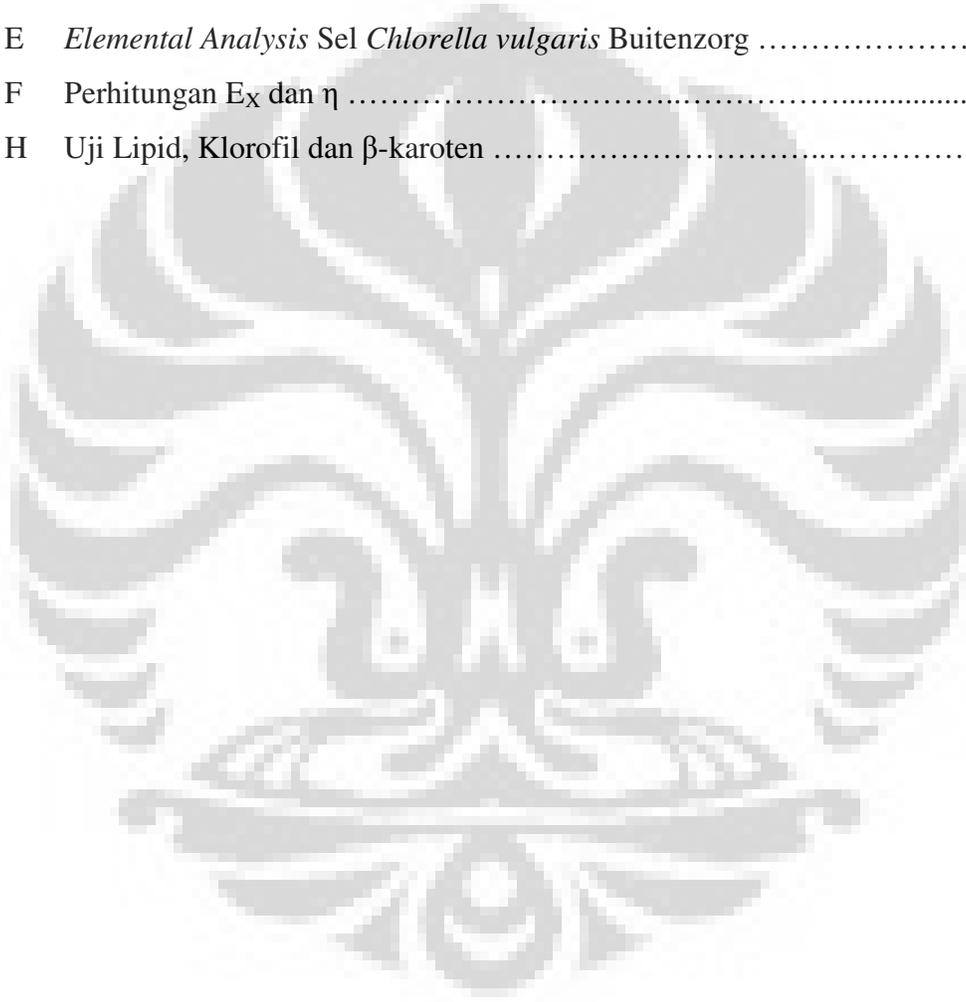
Gambar 2.1.	Struktur Sel <i>Chlorella</i> .....	8
Gambar 2.2.	Kurva Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i> .....	10
Gambar 2.3.	Transfer Elektron Pada Membran Thylakoid dalam Kloroplas .....	21
Gambar 2.4.	Struktur Klorofil a dan Klorofil b .....	22
Gambar 2.5.	Reaksi Fotokimia Utama Pada Fotosistem II dan Fotosistem I .....	22
Gambar 2.6.	Siklus Calvin untuk Reaksi Gelap .....	25
Gambar 2.7.	Fotobioreaktor Terbuka untuk Pembiakan <i>Chlorella vulgaris</i> .....	30
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian .....	39
Gambar 3.2.	Skema Alat Penelitian .....	43
Gambar 4.1	Data Pengamatan Pada Perlakuan Kontinyu-Filtrasi .....	51
Gambar 4.2	Data Pengamatan Pada Perlakuan Kontinyu .....	52
Gambar 4.3.	Laju Pertumbuhan Maksimum pada Variasi Jumlah Inokulum .....	53
Gambar 4.4.	Nilai $\sigma_{\mu_{max},opt}$ pada Berbagai Berat Kering Sel (X) .....	54
Gambar 4.5.	Pengaruh Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap terhadap Produksi Biomassa ..	55
Gambar 4.6.	Perbandingan $\mu$ Vs Waktu .....	56
Gambar 4.7	Pengaruh Pengaturan Kecepatan Hisap dalam Perlakuan Filtrasi terhadap [HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] Pada Kultur .....	59
Gambar 4.8	Konsentrasi Gas CO <sub>2</sub> (y <sub>CO<sub>2</sub></sub> ) yang Masuk dan Keluar Reaktor .....	60
Gambar 4.9	Pengaruh Pengaturan Kecepatan Hisap dalam Perlakuan Filtrasi terhadap Laju Fiksasi Karbondioksida (q <sub>CO<sub>2</sub></sub> ) .....	61
Gambar 4.10	Pengaruh Pengaturan Kecepatan Hisap dalam Perlakuan Filtrasi terhadap CTR .....	62
Gambar 4.11	Pengaruh Pengaturan Kecepatan Hisap dalam Perlakuan Filtrasi terhadap CUR .....	63
Gambar 4.12	Pengaruh Pengaturan Kecepatan Hisap dalam Perlakuan Filtrasi terhadap Laju CO <sub>2</sub> yang Terakumulasi di dalam Medium .....	64
Gambar 4.13	Mekanisme Akumulasi CO <sub>2</sub> intra sel .....	65

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Roadmap Penelitian tentang Produksi Biomassa <i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg di Laboratorium Rekayasa Bioproses Universitas Indonesia .....	3
Tabel 2.1.	Taksonomi <i>Chlorella vulgaris</i> .....	8
Tabel 2.2.	Perbandingan Komposisi Nutrisi Medium Pembiakan <i>Chlorella vulgaris</i> .....	13
Tabel 2.3.	Komposisi Biomassa <i>Chlorella vulgaris</i> .....	17
Tabel 2.4.	Perbandingan Antara Beberapa Sistem kultivasi Mikroalga .....	33
Tabel 2.5.	Penelitian dengan Perlakuan Filtrasi yang Telah Dilakukan .....	36
Tabel 3.1.	Bahan-Bahan Pembuatan Medium <i>Benneck</i> .....	42
Tabel 4.1.	Perbandingan Sistem Filtrasi dan Tanpa Filtrasi .....	56
Tabel 4.2.	Nilai $E_X$ dan $\eta_{bp}$ yang Diperoleh pada Penelitian .....	66
Tabel 4.3	Kandungan pigmen dalam biomassa <i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg .....	68
Tabel 4.4	Kandungan Lemak pada Beberapa Jenis Alga Ditunjukkan dalam Zat Kering ..	69

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Data Penelitian .....	73
Lampiran B	Plot Nilai V Vs X .....	97
Lampiran C	Pengolahan Data OD sel .....	99
Lampiran D	Contoh dan Hasil Perhitungan CTR, CUR dan $q_{CO_2}$ .....	101
Lampiran E	<i>Elemental Analysis</i> Sel <i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg .....	108
Lampiran F	Perhitungan $E_x$ dan $\eta$ .....	110
Lampiran H	Uji Lipid, Klorofil dan $\beta$ -karoten .....	111



## DAFTAR NOTASI

$\alpha_{CO_2}$	Tetapan konversi CTR/ $q_{CO_2}$
CTR	Laju tranfer $CO_2$ ke medium kultur ( $CO_2$ transferred rate)
CUR	Laju penggabungan material ( $CO_2$ Uptake Rate)
$\Delta y_{CO_2}$	Fraksi $CO_2$ yang terfiksasi karena proses pertumbuhan mikro alga
$E_x$	Energi cahaya yang dimanfaatkan mikro alga untuk pertumbuhan
$[HCO_3^-]$	Konsentrasi bikarbonat dalam medium kultur
$H_{CO_2}$	Tetapan Henry untuk $CO_2$
I	Intensitas cahaya
$I_i$ dan $I_T$	Intensitas cahaya yang diterima dan ditransmisikan medium kultur
$K_{CO_2}$	Tetapan kesetimbangan $CO_2$
$\mu$	Laju pertumbuhan spesifik mikro alga
$\mu_{max}$	Laju maksimum pertumbuhan mikro alga pada awal fasa logaritmik pertumbuhan
$\eta$	Efisiensi konersi energi cahaya untuk pertumbuhan
N	Kerapatan sel mikro alga
$N_o$	Kerapatan sel awal mikro alga
$OD_{600}$	Nilai <i>optical density</i> yang diukur pada 600 nm
$P_{CO_2}$	Tekanan parsial $CO_2$
pH	PH medium kultur
$q_{CO_2}$	Laju fiksasi $CO_2$ spesifik mikro alga
$q_{CO_2max}$	Laju maksimum fiksasi $CO_2$ spesifik mikro alga
T	Suhu
t	Waktu
X	Kerapatan biomassa kering
$X_o$	Kerapatan biomassa kering awal
$y_{CO_2,i}$ dan $y_{CO_2,e}$	Persentasi $CO_2$ masuk dan keluar medium kultur

# BAB I

## PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Berbicara mengenai pemanasan global tidak akan lepas dari naiknya konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer bumi. CO<sub>2</sub> berperan sangat penting dalam efek rumah kaca yang disebut-sebut sebagai penyebab utama pemanasan global. Kadar CO<sub>2</sub> di atmosfer sejak tahun 2000 meningkat empat kali lebih cepat ketimbang sepuluh tahun sebelumnya. Hal itu tampak dari laporan *Global Carbon Project*. Peningkatan itu lebih tinggi dibandingkan banyaknya skenario negatif yang dibuat panel iklim PBB. Hal itu menyangkut peningkatan suhu maksimal enam derajat Celsius di tahun 2100. Di tahun 2007 tercatat emisi CO<sub>2</sub> di dunia sebesar 10 milyar ton. Hal itu tampak dari laporan terbaru *Global Carbon Project* (GCP). Laju pertumbuhan ekonomi, penggunaan sumber-sumber energi yang tidak efisien dan degradasi sistem penyerapan CO<sub>2</sub>, seperti hutan-hutan dan lautan, ikut berandil dalam perkembangan yang dramatis itu. Menurut GCP jelas bahwa peningkatan itu terjadi pada periode di mana dunia telah mengakui pentingnya kebijakan iklim. Namun terjadi juga peningkatan yang sama sekali tak terduga itu. Profesor Pier Vellinga seorang guru Besar Perubahan Iklim dari Universitas Wageningen mengatakan bahwa perekonomian dunia mengalami pertumbuhan dalam lima tahun terakhir. Hal itu sebagai sisi lain bahwa lebih banyak energi telah digunakan dan kian banyak CO<sub>2</sub> mencemari udara ([www.kabarindonesia.com](http://www.kabarindonesia.com), oktober 2008). Hal tersebut yang mendorong lahirnya Protokol Kyoto pada tanggal 11 Desember 1997. Pada intinya, Protokol Kyoto mewajibkan Negara-negara industri maju untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (*Green House Gases/GHG*s)-CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCS, PFCS, dan SF<sub>6</sub>-minimal 5,5 % dari tingkat emisi tahun 1990, selama tahun 2008 sampai tahun 2012 ([Republika online-http://www.republika.co.id.htm](http://www.republika.co.id.htm), Januari 2007). Namun sangat disayangkan tidak semua negara diwajibkan mengurangi emisi. Menindaklanjuti protokol Kyoto PBB kemudian mengadakan konferensi tentang perubahan iklim atau *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) yang

berlangsung Bali *International Convention Center* (BICC) di Nusa Dua, Bali, yang bertujuan untuk meratifikasi protokol kyoto. Dalam konferensi ini dihasilkan suatu kesepakatan yang dikenal dengan Bali *Roadmap*. Adapun Bali *Roadmap* sendiri terdiri atas lima hal, yaitu komitmen pasca 2012, dana adaptasi, alih teknologi, REDD (*Reducing Emission from Deforestation in Developing Countries*) dan CDM (*Clean Development Mechanism*).

Berbagai upaya telah dilakukan sebagai langkah untuk mendukung protokol maupun hasil dari bali *roadmap*, diantaranya adalah dengan mengembangkan penelitian-penelitian di bidang bioteknologi. Salah satunya adalah pemanfaatan mikroalga untuk memfiksasi CO<sub>2</sub> melalui proses fotosintesis.

Salah satu jenis mikroalga yang banyak terdapat di Indonesia adalah *Chlorella sp.* Efisiensi fotosintesis pada *Chlorella vulgaris* mencapai 8% dari kandungan klorofilnya mencapai 28,9 g/kg berat biomassa, paling tinggi jika dibandingkan dengan seluruh mikroalga hijau bahkan tumbuhan tingkat tinggi di dunia (Turkenburg, 1997). Oleh karena itu, *Chlorella vulgaris* dapat memfiksasi CO<sub>2</sub> dalam jumlah yang sangat besar. Kemampuan inilah yang secara tidak langsung berdampak positif terhadap penurunan efek pemanasan global.

Pemilihan mikroalga ini juga didasarkan pada kemampuannya bertahan hidup dan komposisi biomasanya yang memiliki nilai protein yang cukup tinggi yang dapat dijadikan sebagai bahan pangan alternatif. Hal ini menjawab permasalahan kurangnya asupan gizi bagi masyarakat, khususnya masyarakat perkotaan. Gaya hidup masyarakat metropolitan yang menuntut serba cepat dan praktis ternyata mempengaruhi pola makan masyarakat kota. Kebanyakan masyarakat kota memilih makanan cepat saji (*fast food*) sebagai alternatif makanan sehari-hari. Akibatnya banyak masyarakat kota yang kekurangan zat-zat nutrisi seperti vitamin, serat dan mineral dan mengakibatkan timbulnya penyakit. Biomassa *Chlorella* merupakan salah satu solusinya, biomassa ini dapat dibuat menjadi food supplement yang dapat memberikan zat nutrisi tersebut bagi tubuh manusia.

Mengingat banyaknya manfaat *Chlorella vulgaris*, perlu dilakukan studi lebih lanjut tentang pembudidayaan mikroalga ini agar didapatkan hasil yang optimal. Di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia telah dilakukan beberapa penelitian untuk meningkatkan produksi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Penelitian-penelitian sebelumnya di Laboratorium Rekayasa Bioproses Universitas Indonesia lebih banyak memfokuskan diri pada efek pencahayaan pada pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg, seperti tampak pada tabel berikut ini.

**Tabel 1.1 Jejak Rekam penelitian tentang produksi biomassa mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg di Laboratorium Rekayasa Bioproses Universitas Indonesia**

Peneliti (tahun)	Fokus Penelitian			Studi Hidrodinamika	Kandungan Biomassa
	Pencahayaan	Filtrasi	Kecepatan superfisial ( $U_G$ )		
Rahayu (2006) & Apriayati N. (2006)	pencahayaan alami				
Valentino (2006)	siklus harian atau terang gelap (flip-flop)				
Muryanto (2006)	pencahayaan periodik				
Sujarwo (2006)	pencahayaan kontinyu				
Andika(2005), Yudi.S (2006) Syahri (2008) Nisa.G (2009)	alterasi pencahayaan				
Ahmed (2008) Rachma (2008)		Efek filtrasi pada volume kultur 18 L			
Puteri (2007)			$U_G$ optimum untuk volume kultur 600 ml		
Isnaeni(2009)			$U_G$ optimum untuk volume kultur 18 L		
Nita (2009)				Penentuan parameter hidrodinamika	
Taryn (2009)					Uji kandungan protein

Di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia telah dilakukan beberapa penelitian untuk meningkatkan produksi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan menggunakan teknik filtrasi aliran sirkulasi medium kultur pada *Chlorella vulgaris*. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa saat digunakan filtrasi maka setiap waktu tertentu akan dilakukan pemindahan sejumlah sel mikroalga yang tersaring pada filter yang ada hal ini akan mengakibatkan jumlah sel mikroalga pada fotobioreaktor akan berkurang, pengurangan ini akan mengurangi peluang terjadinya perebutan CO<sub>2</sub> dan dengan kondisi ini diharapkan masalah tidak meratanya intensitas cahaya yang diterima sel dapat teratasi sehingga peningkatan jumlah sel akan lebih baik.

Pada penelitian kali ini, metode yang akan dilakukan adalah dengan pengaturan kecepatan aliran hisap dalam perlakuan filtrasi pada sirkulasi aliran media kultur. Pengaturan kecepatan hisap akan mempengaruhi besarnya sel yang terperangkap di dalam filter yang dapat mengurangi kepadatan, sehingga intensitas cahaya yang selalu konstan dapat mereduksi penggunaan cahaya serta didapatkan laju pertumbuhan yang maksimum, hal ini mengingat bahwa secara alamiah laju pertumbuhan mikroalga pada saat fase eksponensial akan menurun. Dengan berkurangnya kepadatan, pengaruh *self-shading of light* yang terjadi dalam kultur mikroalga di dalam reaktor dapat diatasi, selain itu diharapkan laju pertumbuhan maksimum dari mikroalga dapat dijaga konstan.

Penelitian ini diperlukan sebagai pembandingan dengan proses tanpa filtrasi untuk mengetahui proses yang lebih efektif dalam meningkatkan pertumbuhan biomassa *Chlorella* dalam fotobioreaktor skala industri menengah dan diharapkan dapat dijadikan acuan dalam penelitian-penelitian selanjutnya, dalam mengoptimalkan produksi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dalam skala besar.

## 1.2 RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh kecepatan aliran hisap terhadap produksi biomassa dan kemampuan fiksasi CO<sub>2</sub> nya.
2. Bagaimana menentukan kecepatan hisap yang optimum agar laju pertumbuhan maksimum dari mikroalga dapat dijaga konstan dan menghasilkan peningkatan produksi biomassa yang baik.

## 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh kecepatan hisap alat filter pada kultivasi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg terhadap produksi biomasanya (X).
2. Mengetahui kecepatan hisap yang paling maksimum dalam fotobioreaktor kolom gelembung melalui optimasi kecepatan hisap alat filter agar didapatkan laju pertumbuhan mikroalga yang konstan.

## 1.4 BATASAN MASALAH

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bioproses dan Laboratorium Rekayasa Reaksi Kimia dan Konversi Gas Alam Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
2. Penelitian ini hanya akan dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan aliran hisap pada produksi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.
3. Produksi biomassa dalam penelitian ini baru terbatas pada peningkatan jumlah sel kering.
4. Mikroalga yang digunakan adalah *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.
5. Medium yang digunakan untuk perkembangbiakan mikroalga ini adalah larutan *Benneck*
6. Sistem reaktor yang digunakan adalah fotobioreaktor tunggal dengan volume 18 L
7. Konsentrasi CO<sub>2</sub> yang digunakan sebesar 5%

## 1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan yang digunakan dalam makalah seminar ini adalah sebagai berikut :

### BAB I PENDAHULUAN

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

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai teori umum tentang mikroalga *Chlorella vulgaris*, proses fotosintesis, fotobioreaktor dan faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan produksi biomassa mikroalga *Chlorella vulgaris*.

### BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan tentang diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, variabel penelitian, prosedur penelitian, serta metode perhitungan data hasil observasi yang akan digunakan dalam penelitian.

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

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

### BAB V KESIMPULAN

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

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai tinjauan pustaka yang menjadi referensi penelitian. Beberapa topik yang akan diuraikan antara lain mengenai, mikroalga *Chlorella vulgaris*, fotosintesis pada mikroalga, faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan *Chlorella vulgaris*, serta fotobioreaktor yang digunakan.

#### 2.1 Mikroalga *Chlorella vulgaris*

*Chlorella vulgaris* adalah mikroalga yang termasuk ke dalam golongan alga hijau (*chlorophyta*). Bentuk sel *Chlorella vulgaris* bulat, bulat lonjong dengan garis tengah sel antara 2-8  $\mu\text{m}$ . *Chlorella vulgaris* berkembang biak dengan cara membelah diri dan pembentukan spora. *Chlorella vulgaris* bersifat fotoautotrof, yaitu dapat membentuk makanannya sendiri melalui proses fotosintesis.

Mikroalga *Chlorella* adalah jenis tumbuhan yang belum mempunyai akar, batang dan daun sebenarnya, tetapi sudah memiliki klorofil sehingga bersifat autotrof. Tubuhnya terdiri atas satu sel (uniseluler) dan ada pula yang banyak sel (multiseluler). Uniseluler umumnya sebagai fitoplankton sedang yang multiseluler dapat hidup sebagai Nekton, Bentos atau Perifiton. Habitat alga adalah air atau di tempat basah, sebagai Epifit atau sebagai Endofit. Alga berkembang biak dengan cara vegetatif dan generatif.

*Chlorella vulgaris* merupakan salah satu jenis alga dari divisi *chlorophyta*. Jenis mikroalga ini memiliki beberapa keistimewaan dimana *Chlorella* mampu bertahan terhadap segala perubahan alam sejak zaman pre-kambium karena punya ketahanan genetik dengan mekanisme perubahan DNA yang sangat tinggi, serta bentuk, ukuran, dan sifat dinding sel yang tersusun dari senyawa selulosa dan lignin yang kuat. Semua ini membuat *Chlorella* mudah menyesuaikan diri pada cuaca ekstrem dan bisa bertahan terhadap pengaruh luar dalam waktu lama hal ini membuat *Chlorella* dapat ditemukan di perairan tropis, sub tropis, sampai kutub sekalipun. (Surawiria, 2005).

*Chlorella* merupakan alga dengan kategori sel eukariotik yang hidup di dalam air bersih sebagai tanaman bersel tunggal yang mengandung nukleus dan klorofil. Nama *Chlorella* berasal dari bahasa latin yaitu “*chloros*” yang berarti hijau dan “*ella*” yang berarti kecil. Jadi *Chlorella* adalah suatu sel yang sangat kecil dan berwarna hijau. Karakteristik warna hijau tua-emerald *Chlorella* disebabkan karena *Chlorella* sangat kaya akan klorofil.

Dari sekian banyak spesies *Chlorella*, yang paling sering dikembangkan dan digunakan dalam penelitian adalah *Chlorella vulgaris* dan *Chlorella pyrenoidosa*.

*Chlorella vulgaris* hidup secara berkoloni dalam jumlah besar. Lingkungan tempat hidupnya secara umum akan didapatkan dimana-mana, terutama pada tempat lembab dan berair. Bahkan beberapa jenis bersimbiosis dengan jamur membentuk lumut kerak (*Lichenes*) atau hidup diantara jaringan Hydra (Sendjaja, 2006).

### 2.1.1 Taksonomi *Chlorella vulgaris*

Berdasarkan taksonominya, *Chlorella vulgaris* memiliki klasifikasi sebagai berikut

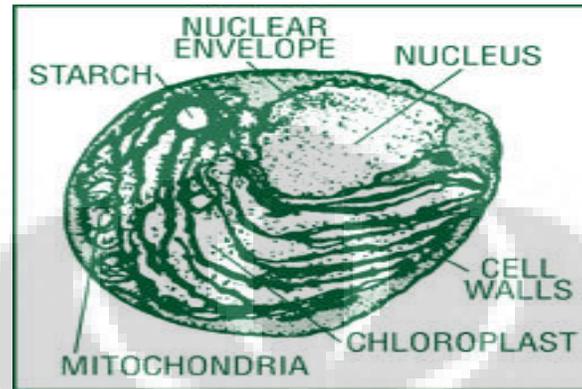
**Tabel 2.1. Taksonomi *Chlorella vulgaris*** (<http://www.en.wikipedia.org/wiki/Chlorella>)

Chlorella	
Klasifikasi ilmiah	
Kerajaan:	<a href="#">Plantae</a>
Divisio:	<a href="#">Chlorophyta</a>
Kelas:	<a href="#">Chlorophyceae</a>
Ordo:	<a href="#">chlorococcales</a>
Familia:	<a href="#">Oocystaceae</a>
Genus:	<b><i>Chlorella</i></b>
Spesies	
* <b><i>Chlorella vulgaris</i></b> <b><i>pyrenoidosa</i></b>	
<b><i>Chlorella pyrenoidosa</i></b>	

### 2.1.2 Morfologi *Chlorella vulgaris*

*Chlorella vulgaris* adalah organisme bersel tunggal atau uniselular. Struktur sel dari *Chlorella vulgaris* dapat dilihat pada gambar

Secara umum bagian-bagian sel-sel *Chlorella vulgaris* dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 2.1. Struktur Sel *Chlorella* ([www.tuberose.com](http://www.tuberose.com))

a). Inti Sel

Inti sel (*nucleus*) merupakan suatu struktur dengan ukuran yang besar dan dikelilingi oleh sitoplasma (<http://www.chem.mtu.edu/~drshonna/cm4710/lectures/chapter2.pdf>).

Inti sel dilindungi oleh sebuah membran. Bagian ini memiliki peran yang sangat penting karena bertugas mengatur seluruh aktivitas sel seperti berfotosintesis dan berkembang biak (Wirosaputro, 2002).

Di dalam inti sel terdapat sebuah inti lagi yang berukuran lebih kecil yang disebut dengan nukleolus. Nukleolus merupakan anak inti sel yang sangat kecil dan terbentuk dari kumpulan RNA (*Ribo Nukleic Acid*) sehingga nukleolus berperan dalam sintesis protein di dalam sel (Wirosaputro, 2002).

Selain itu, inti sel juga memiliki jaringan-jaringan halus yang berada di dalam cairan inti yang mengandung gen. Jaringan ini disebut dengan benang kromatin dan berfungsi sebagai pembawa informasi genetik dari sel induk kepada sel anak pada saat berkembang biak (Wirosaputro, 2002).

b). Kloroplas

Kloroplas merupakan jaringan berbentuk cangkir atau lonceng. Kloroplas terdiri atas lamella fotosintetik dan diselubungi oleh suatu membran ganda. Bagian ini memegang peranan penting dalam proses fiksasi CO<sub>2</sub> karena mengandung biomassa yang dapat menyerap energi cahaya untuk digunakan dalam reaksi fotosintesis (<http://www.chem.mtu.edu/-drshonna/cm4710/lectures/chapter2.pdf>).

c). Mitokondria

Mitokondria merupakan organel sel yang sangat kompleks dan terdiri atas struktur-struktur berbentuk seperti cerutu. Struktur-struktur kecil tersebut tersusun dari protein dan lipid yang membentuk suatu sel yang stabil dan keras. Dinding mitokondria berlapis dua dan lapisan dalamnya memiliki banyak lekukan. Struktur ini berguna untuk memperluas bidang permukaan penyerapan oksigen dalam proses respirasi sel.

Mitokondria berfungsi sebagai pusat pembangkit tenaga sel dengan menghasilkan ATP sebagai sumber energi. Selain itu mitokondria berperan penting dalam proses respirasi sel dan tempat pemecahan molekul protein dan lemak kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana yang selanjutnya digunakan sebagai sumber energi (<http://www.chem.mtu.edu/-drshonna/cm4710/lectures/chapter2.pdf>).

d). Dinding Sel

Dinding sel tersusun dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Dinding sel ini berfungsi untuk melindungi bagian dalam sel dari pengaruh luar. Bagian ini mengandung serat yang dapat dikonsumsi oleh manusia sebagai makanan sehat (Wirosaputro, 2002).

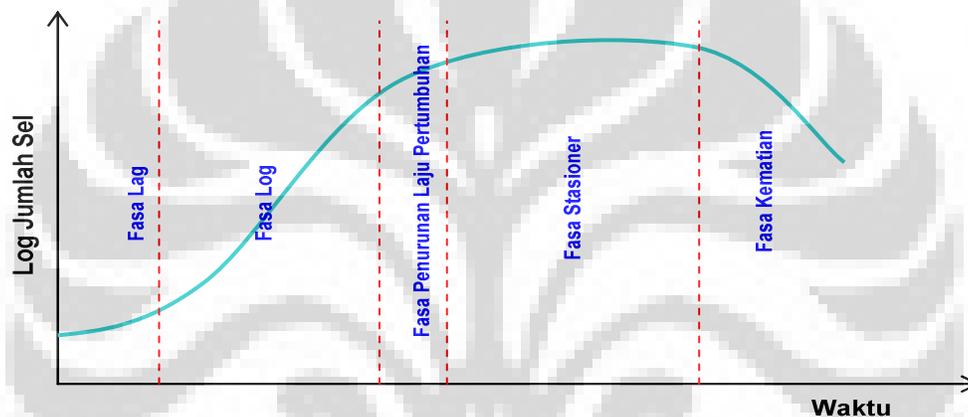
e). Vakuola

Vakuola merupakan tempat pembuangan (ekskresi) dari zat-zat yang tidak diperlukan lagi oleh sel. Zat-zat ini akan tertimbun di dalam vakuola sehingga ukuran dari vakuola pada sel semakin lama akan semakin membesar (<http://www.chem.mtu.edu/-drshonna/cm4710/lectures/chapter2.pdf>).

### 2.1.3 Pertumbuhan dan Perkembangan Sel *Chlorella vulgaris*

*Chlorella vulgaris* mempunyai waktu generasi yang sangat cepat. Oleh karena itu dalam waktu yang relatif singkat, perbanyakan sel akan terjadi secara cepat, terutama jika tersedianya cahaya dan sumber energi yang cukup. Pola pertumbuhan berdasarkan jumlah sel dapat dikelompokkan menjadi lima fasa yaitu, fasa tunda (*lag phase*), fasa pertumbuhan logaritmik (*log phase*), fasa penurunan laju pertumbuhan, fasa stationer dan fasa kematian.

Kelima fasa tersebut dapat ditunjukkan dengan kurva jumlah sel vs waktu



**Gambar 2.2. Kurva Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* (Sumber : Wirosaputro, 2002)**

a). Fasa Tunda (*lag phase*)

*Lag phase* adalah suatu tahap setelah pemberian inokulum ke dalam media kultur dimana terjadi penundaan pertumbuhan yang dikarenakan *Chlorella vulgaris* memerlukan pembelahan. Dalam fasa ini tidak terjadi pertambahan jumlah sel. Fasa ini adalah fasa penyesuaian yaitu suatu masa ketika sel-sel kekurangan metabolit dan enzim akibat dari keadaan tidak menguntungkan dalam pembiakan terdahulu, menyesuaikan diri dengan lingkungan yang baru. Enzim-enzim dan zat antara terbentuk dan terkumpul sampai konsentrasi yang cukup untuk kelanjutan pertumbuhan.

b). Fasa Pertumbuhan Logaritmik (*log phase*)

Pada fasa ini, sel-sel membelah dengan cepat dan terjadi penambahan dalam jumlah sel. Selama fasa ini, sel-sel berada dalam keadaan yang stabil. Bahan sel baru terbentuk dengan konstan tetapi bahan-bahan baru itu bersifat katalitik dan massa bertambah secara eksponensial. Hal ini bergantung dari satu atau dua hal yang terjadi, yaitu apabila tidak atau lebih zat makanan dalam pembenihan habis maka hasil metabolisme yang beracun akan tertimbun dan menghambat pertumbuhan. Kultur dalam fasa pertumbuhan eksponensial tidak hanya berada dalam keseimbangan pertumbuhan tetapi jumlah dari sel-sel dalam kultur ini bertambah dengan kecepatan yang konstan. Dalam penggunaan mikroorganisme pada dunia perindustrian, dibutuhkan bibit atau *starter* untuk proses fermentasi suatu bahan makanan, biasanya digunakan mikroorganisme yang sedang berada dalam fasa eksponensial. Hal ini dikarenakan mikroorganisme tersebut tidak akan mengalami fasa pertumbuhan sebelum fasa eksponensial dalam media yang baru.

c). Fasa Penurunan Laju Pertumbuhan

Pada fasa ini, tetap terjadi penambahan sel namun laju pertumbuhannya menurun. Hal ini dikarenakan terjadinya kompetisi yang sangat tinggi di dalam media hidup karena zat makanan yang tersedia tidak sebanding dengan jumlah populasi akibat dari penambahan yang sangat cepat pada fasa eksponensial sehingga hanya sebagian dari populasi yang mendapatkan makanan yang cukup dan dapat tumbuh serta membelah.

d). Fasa Stasioner

Fasa stasioner adalah fasa pemberhentian pertumbuhan. Pada fasa ini, jumlah sel kurang lebih tetap. Hal ini disebabkan oleh habisnya nutrisi dalam medium atau karena menumpuknya hasil metabolisme yang beracun sehingga mengakibatkan pertumbuhan berhenti. Dalam kebanyakan kasus, pergantian sel terjadi dalam fasa stasioner, dimana adanya kehilangan sel yang lambat karena kematian yang diimbangi dengan pembentukan sel-sel yang baru melalui pembelahan. Bila hal ini terjadi, maka jumlah sel akan bertambah secara lambat, meskipun jumlah sel hidup tetap.

e). Fasa Kematian

Dalam fasa ini, jumlah populasi ini menurun. Selama fasa ini, jumlah sel yang mati per satuan waktu secara perlahan-lahan bertambah dan akhirnya kecepatan sel-sel yang mati menjadi konstan.

### 2.1.4 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pertumbuhan *Chlorella vulgaris*

Organisme autotrofik seperti *Chlorella* membutuhkan cahaya, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, nutrient, dan *trace element* untuk pertumbuhannya ([www.nhm.ac.uk](http://www.nhm.ac.uk)). Berikut akan diuraikan beberapa faktor lain yang berhubungan dengan hal-hal tersebut yang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan mikroalga hijau *Chlorella* pada medium terbatas.

#### a) Jenis Medium

Medium pembiakan sangat berpengaruh dalam pertumbuhan *Chlorella*. Apabila asupan nutrisi dan medium tidak cukup, maka laju pertumbuhannya akan terhambat. Oleh karena itu, medium pembiakannya harus memiliki berbagai nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangannya sehingga komposisi dari medium yang diberikan harus sesuai.

Medium yang diperlukan untuk perkembangan *Chlorella* relatif lebih sederhana dan hanya memerlukan jenis nutrisi yang lebih sedikit dibandingkan dengan medium untuk jenis alga lainnya. Ada beberapa medium yang biasanya digunakan untuk pembiakan *Chlorella*. Yaitu Benneck, Detmer, Pupuk komersial dan Walne. Komposisi untuk masing-masing medium ditunjukkan pada tabel 2.2.

**Tabel 2.2. Perbandingan Komposisi Nutrisi Medium pembiakan *Chlorella vulgaris*.**

(Sumber :Wirosaputro, 2002)

Nutrisi	Benneck	Detmer	Pupuk Komersial	Walne
MgSO <sub>4</sub>	100 mg/L	550 mg/L	-	-
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	200 mg/L	250 mg/L	-	-
NaNO <sub>3</sub>	500 mg/L	-	-	100 mg/L
FeCl <sub>3</sub>	3-5 mg/L	-	-	1,3 mg/L
KCl	-	250 mg/L	40 mg/L	-
Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	-	1000 mg/L	-	-
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	-	-	800 mg/L	-
Na <sub>2</sub> EDTA	-	-	-	45 mg/L
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	-	-	-	33,6 mg/L
TSP	-	-	15 mg/L	-
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	-	-	-	20 mg/L
MnCl <sub>2</sub>	-	-	-	0,36 mg/L

## b) Pencahayaan

Cahaya merupakan faktor utama yang mempunyai peranan penting untuk pertumbuhan mikroalga sebagai sumber energi untuk pertumbuhan mikroalga dan fotosintesis. Intensitas yang baik bagi mikroalga untuk melakukan fotosintesis berkisar antara 2-3 kilolux. Cahaya matahari yang diperlukan oleh mikroalga dapat diganti oleh lampu TL. Penggunaan cahaya yang berasal dari lampu TL karena didasari oleh kebutuhan intensitas cahaya pada penelitian ini dimana jika cahaya pada lampu TL dapat diatur sesuai dengan intensitas yang dibutuhkan. Selain itu lampu TL mempunyai kestabilan intensitas cahaya jika dibandingkan dengan cahaya yang bersumber dari cahaya matahari.

Faktor pencahayaan terbagi menjadi tiga bagian, yaitu pencahayaan kontinyu, pencahayaan alterasi dan pencahayaan gelap-terang (fotoperiodesitas). Sebenarnya faktor pencahayaan ini juga dapat dibagi lagi menjadi pencahayaan dengan panjang gelombang tertentu dan pencahayaan dengan intensitas tertentu. Namun, kali ini hanya akan dibahas mengenai pencahayaan dengan intensitas tertentu.

### 1. Pencahayaan Kontinyu

Istilah pencahayaan kontinyu dalam penelitian ini adalah *Chlorella vulgaris* yang diiluminasi dengan cahaya tampak (370-900 nm) secara terus-menerus hingga mencapai fase stationernya. Menurut penelitian yang telah dilakukan, perlakuan ini memberikan hasil laju pertumbuhan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pencahayaan gelap-terang (fotoperiodesitas).

### 2. Pencahayaan Terang-Gelap

Istilah pencahayaan terang-gelap dalam penelitian ini adalah *Chlorella vulgaris* yang diiluminasi dengan cahaya tampak (370-900 nm) dengan mengatur kondisi terang selama 8 jam dan kondisi gelap selama 16 jam, seperti kondisi alami (periode cahaya matahari). Dari penelitian yang telah dilakukan, perlakuan ini memberikan efisiensi cahaya yang paling besar dibandingkan dengan pencahayaan kontinyu, namun laju pertumbuhannya masih sedikit di bawah pencahayaan kontinyu.

### 3. Pencahayaan Alterasi

Alterasi adalah perubahan perlakuan cahaya kontinyu dengan memberikan intensitas cahaya yang semakin tinggi seiring dengan pertambahan jumlah sel dari dalam penelitian ini. Perlakuan pencahayaan alterasi didasarkan pada semakin banyaknya jumlah sel biomassa dari

*Chlorella vulgaris* maka kultur akan semakin pekat, sehingga cahaya yang diberikan tidak lagi diterima secara merata oleh semua sel (terbatas pada sel yang ada di depan sumber cahaya). Usaha ini telah dibuktikan dapat meningkatkan laju pertumbuhan optimal dan menghasilkan biomassa dengan jumlah yang lebih tinggi dibandingkan dengan pencahayaan kontinyu tanpa alterasi pada cyanobacterium *A. Cylindrica* (Wijanarko, 2003). Dengan metode ini diharapkan laju pertumbuhan dari mikroorganisme dan kemampuan pengikatan karbondioksida akan dapat terus dipertahankan hingga pertumbuhannya mencapai titik optimal. Jumlah intensitas optimum bagi pertumbuhan *Chlorella vulgaris*. dengan jumlah biomassa tertentu disebut dengan  $I_{\mu_{max,opt}}$ . Nilai  $I_{\mu_{max,opt}}$  untuk nilai X yang bervariasi telah diketahui melalui penelitian sebelumnya di Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang dilakukan oleh Sang Made Kresna Andika (2005).

### c) Kondisi Operasi

Dalam proses kultivasi *Chlorella vulgaris*. digunakan beberapa kondisi operasi yaitu konsentrasi CO<sub>2</sub>, temperatur operasi, pH dan laju alir baik untuk udara ataupun CO<sub>2</sub>.

#### 1. Konsentrasi

Dalam proses fotosintesis, CO<sub>2</sub> merupakan unsur paling penting. Tersedianya CO<sub>2</sub> yang cukup dalam media akan memperlancar proses fotosintesis yang akan berimbas pada pertumbuhan *Chlorella vulgaris*. itu sendiri. Konsentrasi CO<sub>2</sub> yang optimal untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris*. adalah sekitar 3-5% (Wirosaputro, 2002).

#### 2. Temperatur

Kondisi lingkungan dimana pembiakan diletakan akan mempengaruhi proses metabolisme sel yang ada di dalamnya. 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 vulgaris* adalah 23°C - 30°C.

#### 3. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) akan mempengaruhi kinerja kerja suatu enzim. Menurut Round (1973), pH media berkisar antara 7.0 – 8.0 cukup baik digunakan dalam kultur alga di laboratorium. *Chlorella vulgaris* sendiri tahan terhadap lingkungan yang asam dengan pH mencapai 2. Untuk mencegah terjadinya perubahan pH dalam media kultur alga, perlu

ditambahkan EDTA (*Ethyl Diamine Tetra Acetate*) ke dalam media, karena EDTA berfungsi sebagai *buffer* sehingga pH media akan tetap stabil.

#### 4. Laju Alir dan CO<sub>2</sub>

Laju alir udara perlu dipertimbangkan jika jenis reaktor yang digunakan adalah reaktor kolom gelembung. Sedangkan laju CO<sub>2</sub> diatur sesuai dengan model reaktor yang digunakan, luas permukaan kontak dan volume kultur. Hal ini ditujukan untuk pemerataan suplai CO<sub>2</sub> yang dibutuhkan oleh *Chlorella vulgaris* pada medium terbatas.

#### 5. *Pre – Culture*

Tahapan ini sangat penting dalam pembiakan *Chlorella vulgaris* pada tahap ini mikroalga dikenalkan pada medium baru agar lebih terbiasa hingga dapat melewati fasa lag-nya. Setelah itu *Chlorella* siap untuk dibiakkan pada fasa log. Tahap ini juga bertujuan untuk mengetahui apakah medium yang digunakan sesuai.

#### 6. Kontaminasi

Sedikit kontaminan yang ada akan mempengaruhi pertumbuhan *Chlorella vulgaris* kontaminan dapat berebut makanan dengan *Chlorella* itu sendiri dan yang lebih berbahaya jika kontaminan yang ada menjadi predator bagi mikroalga itu sendiri. Oleh karena itu, seluruh kegiatan kultivasi *Chlorella vulgaris* harus dilakukan secara steril untuk mencegah adanya kontaminan.

### 2.1.5 Kandungan Biomassa *Chlorella vulgaris*

*Chlorella vulgaris* memiliki komposisi biomassa yang sangat bermanfaat. Walaupun ukurannya kecil, tetapi kandungan gizi sangat tinggi. Di dalam organisme ini terkandung berbagai macam unsur vitamin dan mineral yang esensial bagi tubuh. Salah satunya adalah *Chlorella Growth Factor* (CGF). Komposisi CGF dalam *Chlorella vulgaris* hanya 5% namun memiliki manfaat yang sangat luas di bidang kesehatan. CGF mengandung berbagai macam jenis asam amino, peptida, protein, vitamin dan glukoprotein. CGF dapat digunakan sebagai obat antitumor dan dapat merangsang hormon pertumbuhan. Secara umum kandungan biomassa dari *Chlorella vulgaris* dapat dilihat pada tabel 2.3

**Tabel 2.3. Komposisi Biomassa *Chlorella vulgaris***(Sumber : [http://www.gtamart.com/mart/products/chlorella\\_vulgaris/](http://www.gtamart.com/mart/products/chlorella_vulgaris/))

<b>Komponen</b>		
Protein	g/100g	33-45
Lemak	g/100g	6.9-16.1
Air	g/100g	4-5
Klorofil	g/100g	0.7-2.7
Sumber Mineral	g/100g	6.5-10.5
Lipid	g/100g	6.5-12.5
Rohfaser	g/100g	6.6-7.5
Ballaststoffe	g/100g	27.1-32.5
Karbohidrat	g/100g	0.9-2
<b>Mineral</b>		
Kalsium	mg/100g	321-604
Magnesium	mg/100g	273-325
Seng	mg/100g	4-6
Besi	mg/100g	40-70
Kalium	mg/100g	1000-2900
Iodium	mg/100g	<0.0005
Selenium	µg/100g	2-10
<b>Vitamin</b>		
Betakaroten	mg/100g	3.3-11.2
Vitamin B1	mg/100g	0.5-1.0
Vitamin B2	mg/100g	3.2-3.8
Vitamin B6	mg/100g	0.3-3.7
Vitamin B12	mg/100g	0.2-1.0
Vitamin E	mg/100g	3.6-10.0
Vitamin C	mg/100g	13-20
Vitamin K1	mg/100g	0.2-0.8

### 2.1.6 Manfaat *Chlorella vulgaris* dalam Bidang Kesehatan

*Chlorella vulgaris* merupakan organisme autotrof sehingga dapat berperan aktif memfiksasi CO<sub>2</sub> dari udara sehingga dapat mengurangi tingkat polusi udara dari gas CO<sub>2</sub> dari lingkungan. Berkurangnya polutan CO<sub>2</sub> ini membawa dampak positif bagi kesehatan manusia karena akan mengurangi kemungkinan timbulnya gangguan pernafasan.

*Chlorella vulgaris* telah banyak diteliti dan dimanfaatkan di dalam bidang kesehatan dan pengobatan penyakit. Studi yang banyak diteliti mengenai beberapa komponen utama *Chlorella vulgaris* adalah :

a) Dinding Sel

Dinding sel yang sangat tebal dan komposisinya terdiri dari 27% protein, 9,2% lemak, 15,4% selulosa, 31% hemiselulosa, 3,3% glukosamin, dan abu yang banyak mengandung besi serta kapur. Khasiat dinding sel ini adalah (Sargowo dan Ratmawati, 2005) :

- Merangsang kekebalan tubuh sehingga tidak mudah terserang penyakit yang disebabkan oleh virus (batuk dan pilek); bakteri (disentri, tifus, dan bisul); dsb.
- Menyerap atau mengikat kolesterol sehingga tidak akan menyebabkan tekanan darah tinggi.
- Menyerap atau mengikat racun, baik yang berasal dari bahan kimia, makanan atau bakteri.
- Merangsang produksi sel-sel kekebalan saluran cerna sehingga tidak mudah terserang infeksi saluran pencernaan atau diare.

b) Klorofil

Klorofil yang jumlahnya 3% dengan bantuan cahaya matahari, mampu mengubah air dan zat asam arang menjadi oksigen serta bahan makanan yang sangat dibutuhkan oleh manusia. Manfaat klorofil bagi kesehatan yang telah diteliti diantaranya adalah (Sargowo dan Rahmawati, 2005) :

- menghambat pertumbuhan bakteri jahat di dalam saluran cerna dan merangsang pertumbuhan bakteri yang berguna untuk pencernaan makanan sehingga tidak mudah sariawan dan diare.
- Bersifat deodoran, sehingga dapat mengurangi bau badan, bau mulut, bau nafas, juga bau yang berasal dari gas perut (flatulensi).
- Merangsang tumbuhnya fibroblast sehingga dapat mempercepat penyembuhan luka.

- Memperbaiki fungsi hati sehingga dapat menjalankan fungsi metabolisme makanan dan detoksifikasi racun.
- Merangsang pembentukan sel darah merah (eritrosit)
- Mencegah dan memperbaiki pengerasan pembuluh darah, untuk mencegah tekanan darah tinggi, penyakit reumatik dan jantung.
- Memperlancar aliran darah.
- Bersifat anti-proteolitik, untuk mencegah penyakit alergi, dan tumor atau kanker.
- Bersifat antioksidan sehingga dapat mengikat radikal bebas.

c). Beta karoten

Beta karoten terdapat dalam jumlah 18-20 kali lebih banyak dari pada beta karoten dalam wortel, pepaya atau tomat. Manfaat beta karoten adalah sebagai berikut (Sargowo dan Ratnawati, 2005) :

- Sebagai antioksidan.
- Merangsang kekebalan tubuh.
- Sumber vitamin A

d) CGF (*Chlorella Growth Factor*)

CGF terkandung dalam nukleus pada sel *Chlorella*. CGF ini mengandung bahan pertumbuhan yang disebut *Ribo Nucleic Acid* (RNA) sebanyak 10% dan *Deoxy Ribo Nucleic Acid* (DNA) 3%. Dengan adanya RNA dan DNA dalam jumlah yang cukup, *Chlorella vulgaris* mampu berkembang biak dengan sangat cepat, menjadi 4 kali lipat hanya dalam waktu 16-20 jam. Satu sel *Chlorella vulgaris* baru mati setelah berkembang biak menjadi 10.000 sel (Jensen, 1990). Manfaat CGF adalah (Sargowo dan Ratnawati, 2005) :

- menghambat pertumbuhan tumor ganas (kanker).
- Meningkatkan regenerasi atau peremajaan sel-sel tubuh yang rusak.

e) Protein

Protein dalam *Chlorella vulgaris* terdiri dari asam amino esensial yang sangat diperlukan oleh tubuh karena tidak bisa disintesis oleh tubuh manusia sendiri. Selain berguna bagi pertumbuhan, kandungan protein alami yang dimiliki *Chlorella vulgaris* juga membantu menjaga gula dalam darah. ([www.chlorellafactor.com](http://www.chlorellafactor.com)).

## 2.2 FOTOSINTESIS

Fotosintesis adalah suatu proses biokimia yang dilakukan tumbuhan, alga, dan beberapa jenis bakteri untuk menghasilkan makanan dengan memanfaatkan energi cahaya. 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 disebut sebagai fototrof.

Arti fotosintesis sendiri adalah proses penyusunan atau pembentukan dengan menggunakan energi cahaya atau foton. Sumber energi cahaya alami adalah matahari yang memiliki spektrum cahaya infra merah (tidak kelihatan), merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, ungu dan ultra ungu (tidak kelihatan).

Pada proses fotosintesis, cahaya yang digunakan adalah spektrum cahaya tampak, dari ungu sampai merah. Infra merah dan ungu tidak digunakan dalam fotosintesis.

Dalam fotosintesis, dihasilkan karbohidrat dan oksigen. Oksigen merupakan hasil sampingan dari fotosintesis dimana volumenya dapat diukur. Oleh sebab itu, untuk mengetahui tingkat produksi fotosintesis adalah dengan mengatur volume oksigen yang dikeluarkan dari tumbuhan.

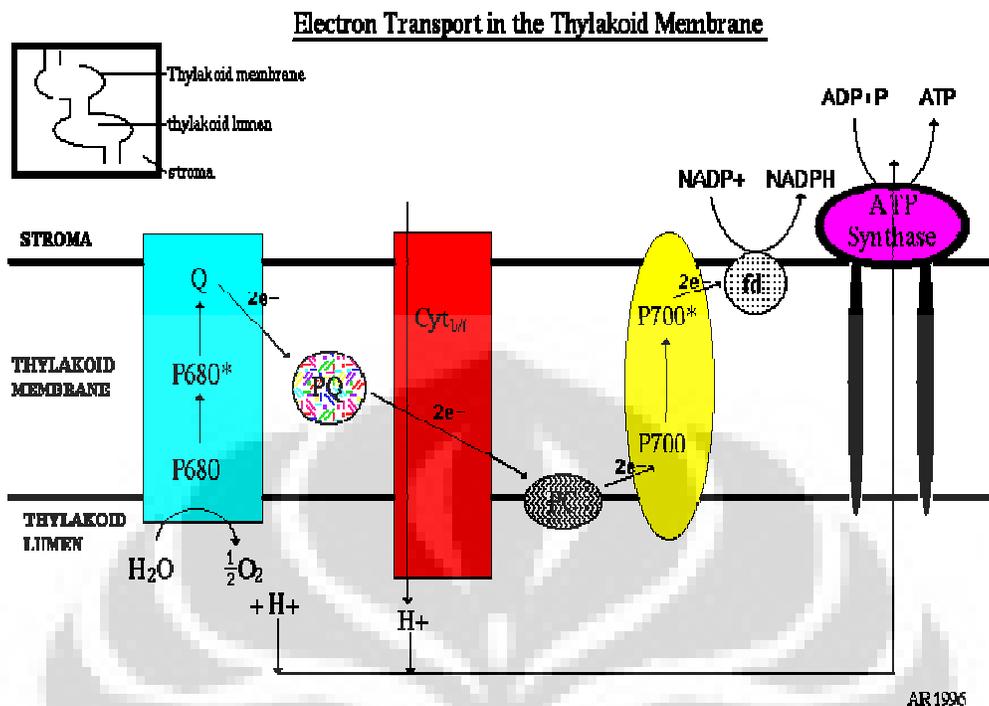
### 2.2.1 Komponen Fotosintesis Mikroalga Hijau *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Komponen-komponen yang berperan dalam proses fotosintesis *Chlorella* adalah kloroplas, sistem antenna penyerapan cahaya dan pusat reaksi fotokimia utama.

#### a) Kloroplas

Proses fotosintesis pada *Chlorella* terjadi di dalam kloroplas, dimana organela-organela ditemukan di dalam sel. Kloroplas menyediakan energi dan karbon tereduksi yang diperlukan untuk pertumbuhan *Chlorella* dan perkembangannya, sementara itu media hidupnya menyediakan CO<sub>2</sub>, air, nitrogen, senyawa organik dan mineral-mineral yang penting yang diperlukan oleh kloroplas untuk biogenesis (<http://www.life.ui.ac.edu/govindjee/paper/gov.html>).

Di dalam kloroplas terdapat sistem membran yang kompleks. Dikenal dengan membran fotosintetik (*membrane thylakoid*), yang mengandung cukup protein yang diperlukan untuk reaksi terang. Protein yang diperlukan untuk fiksasi dan reduksi CO<sub>2</sub> terdapat di luar membran fotosintetik. Membran fotosintetik terbentuk terutama dari lemak, gliserol dan protein (<http://www.life.ui.ac.edu/govindjee/paper/gov.html>).



**Gambar 2.3. Transfer Elektron Pada Membran Thylakoid dalam Kloroplast**

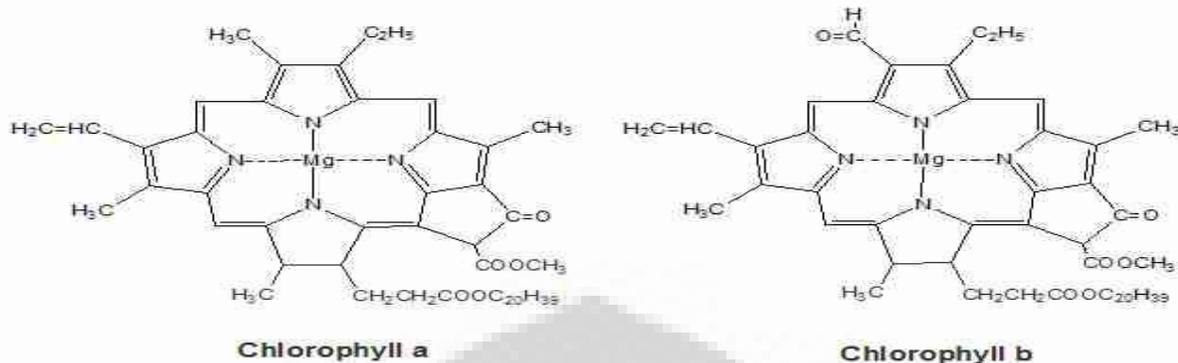
([www.sciencegateway.org](http://www.sciencegateway.org))

Masing-masing kloroplas dibentuk dari lapisan dalam dan luar envelope membrane dan berbentuk seperti lensa *konveks meniscus* dengan diameter 5-10 mikron. *Envelope membrane* bagian dalam berfungsi sebagai barrier untuk mengontrol fluks organik dan bertanggung jawab atas molekul yang keluar masuk kloroplas. Air dapat dengan bebas melalui *envelope membrane*, juga bagi molekul netral seperti  $CO_2$  dan  $O_2$ .

b) Sistem antenna penyerapan cahaya

Salah satu faktor utama yang menggerakkan fotosintesis adalah cahaya tampak (panjang gelombang 400 hingga 700 nm) yang teradsorb oleh molekul pigmen (terutama klorofil a dan b serta karotenoid) (<http://www.life.ui.ac.edu/govindjee/paper/gov.html>).

Struktur kimia dari klorofil a dan b dapat dilihat pada gambar. Pada klorofil b,  $CH_3$  pada cincin II digantikan oleh grup CHO. *Chlorella* akan kelihatan hijau dikarenakan klorofil yang dimilikinya.

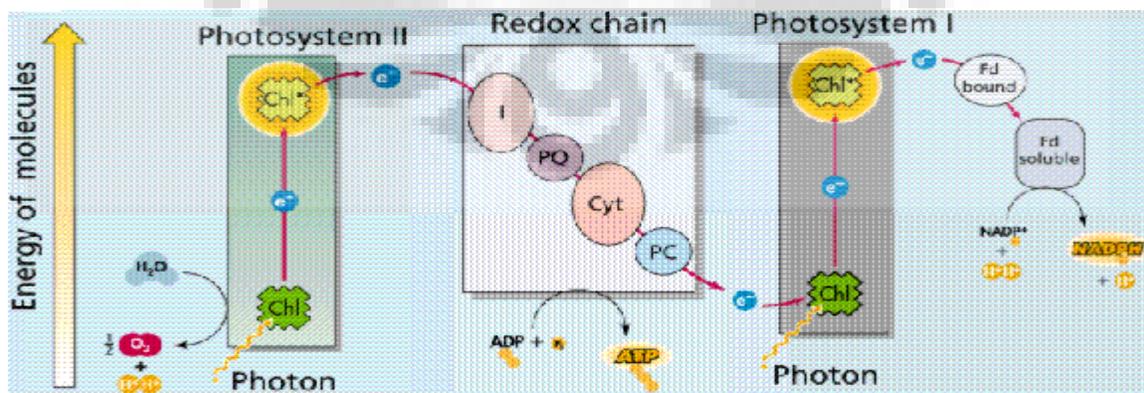


**Gambar 2.4. Struktur Klorofil a dan Klorofil b**  
[www.benbest.com/nutrceut/phytochemicals.html](http://www.benbest.com/nutrceut/phytochemicals.html)

Masing-masing klorofil ini memiliki kelebihan pada daya absorpsi terhadap panjang gelombang tertentu. Cahaya yang dikumpulkan oleh 200-300 molekul pigmen akan diikat oleh protein kompleks yang berada di dalam membran fotosintetik. *Light harvesting complex* akan mengelilingi pusat reaksi yang berfungsi sebagai antenna. Fotosintesis akan dimulai dengan absorpsi foton oleh molekul antenna, yang berlangsung sekitar femto detik ( $10^{-15}$  s) dan menyebabkan transisi dari elektron stabil menjadi elektron tereksitasi. Dalam waktu  $10^{-15}$  detik bentuk tereksitasi akan menurun karena relaksasi vibrasi.

c) Pusat reaksi fotokimia utama

Terdapat dua pusat reaksi fotokimia utama dalam proses fotosintesis yaitu fotosistem II dan fotosistem I seperti ditunjukkan pada gambar



**Gambar 2.5. Reaksi Fotokimia Utama Pada Fotosistem II dan Fotosistem I**  
[http://www.biology.arizona.edu/the\\_biology\\_project/the\\_biology\\_project.html](http://www.biology.arizona.edu/the_biology_project/the_biology_project.html)

Fotosistem II menggunakan energi untuk menggerakkan dua reaksi kimia, oksidasi air dan reduksi plastoquinone. Fotosistem II kompleks terdiri dari 15 lebih polypeptide dan sekurangnya 9 komponen redoks yang berbeda (klorofil, pheophytin, plastoquinone, tyrosine, Mn, Fe, Cytochrome b559, karotenoid dan histidine) yang menjalankan transfer elektron *light-induced*. Fotosistem II merupakan satu-satunya protein kompleks yang dapat mengoksidasi air dan menghasilkan pelepasan O<sub>2</sub> ke atmosfer.

Fotosistem I terdiri dari protein heterodimer yang berfungsi sebagai ligan untuk kebanyakan elektron *carrier*. Pusat reaksi dijalankan oleh sistem antenna yang mengandung dua ratus molekul klorofil (terutama klorofil a). Pada keadaan terang, fotosistem II akan mengumpukan elektron ke fotosistem I. Elektron ini akan ditransfer dari fotosistem II ke fotosistem I oleh *intermediate carrier*. Reaksi tersebut adalah transfer elektron dari molekul air ke NADP<sup>+</sup>, menghasilkan bentuk tereduksi yaitu NADPH yang akan digunakan bersama ATP dan CO<sub>2</sub> yang difiksasi untuk membentuk senyawa organik pada reaksi gelap (siklus Calvin) (<http://www.life.ui.ac.edu/govindjee/paper/gov.html>).

### 2.2.2 Reaksi Fotosintesis

Fotosintesis adalah reaksi kimia dimana energi pencahayaan diubah menjadi energi kimia dalam glukosa. Mikroalga hijau seperti tumbuhan tingkat tinggi pada umumnya menggunakan proses ini untuk mensintesa gula dan gas oksigen yang merupakan komponen penting dalam kehidupan. Secara kimia, proses fotosintesis merupakan reaksi oksidasi-reduksi dimana oksigen dioksidasi dan hidrogen, ATP dan NADP direduksi.

Reaksi fotosintesis secara umum dibagi menjadi dua tahap, yaitu reaksi terang dan reaksi gelap. Pada reaksi terang terjadi reaksi transfer elektron dan foton, sedangkan pada reaksi gelap terjadi reaksi biosintesa karbohidrat dari CO<sub>2</sub>. Reaksi terang menghasilkan sintesis ATP dan NADPH untuk membentuk senyawa organik pada reaksi gelap (<http://www.life.ui.ac.edu/govindjee/paper/gov.html>).

#### a) Reaksi Terang

Reaksi terang berlangsung pada system membran kompleks/grana yang tersusun dari protein kompleks, elektron *carrier* dan molekul lemak. Reaksi terang mengkonversi energi menjadi berbagai produk (<http://www.biology.arizona.edu/>). Pada langkah pertama adalah konversi foton menjadi bentuk elektron tereksitasi pada molekul antenna pigmen yang terdapat

pada sistem antenna. Baik molekul donor maupun molekul akseptor akan melekat pada protein kompleks pusat reaksi (<http://www.life.ui.ac.edu/govindjee/paper/gov.html>).

Secara umum, terdapat tiga reaksi utama yang terjadi pada reaksi terang yaitu :

1. Oksidasi H<sub>2</sub>O, menurut persamaan :



2. Reduksi NADP<sup>+</sup>, menurut persamaan :



3. Sintesis ATP, menurut persamaan :



Jika tiga persamaan diatas digabungkan maka akan didapat persamaan untuk reaksi terang :



Pada organisme fotosintetik oksigenik, terdapat dua pusat reaksi yang berbeda, yaitu fotosistem II dan fotosistem I yang bekerja bersamaan secara seri. Pada keadaan terang, fotosistem II mengumpukan elektron ke fotosistem I. Elektron ini akan ditransfer dari fotosistem II ke fotosistem I oleh *intermediate carrier*. Reaksi tersebut adalah transfer elektron dari molekul air ke NADP<sup>+</sup>, menghasilkan bentuk yang tereduksi yaitu NADPH.

Pada proses fotosintesis, banyaknya energi yang disediakan oleh energi cahaya disimpan sebagai energi bebas redoks (sebuah bentuk energi bebas kimia) dalam NADPH, yang kemudian akan digunakan untuk mereduksi karbon (<http://www.life.ui.ac.edu/govindjee/paper/gov.html>).

Efek dari reaksi terang adalah konversi energi radian menjadi energi bebas redoks dalam bentuk NADPH dan transfer energi grup fosfat dalam bentuk ATP. Pada reaksi terang, transfer elektron tunggal dari air menjadi NADP<sup>+</sup> melibatkan sekitar 30 ion logam dan 7 grup aromatik. Ion logam termasuk 20 ion Fe, 5 ion Mg, 4 ion Mn dan 1 ion Cu. Aromatik termasuk quinine, pheophytin, NADPH, tyrosine dan flavoprotein.

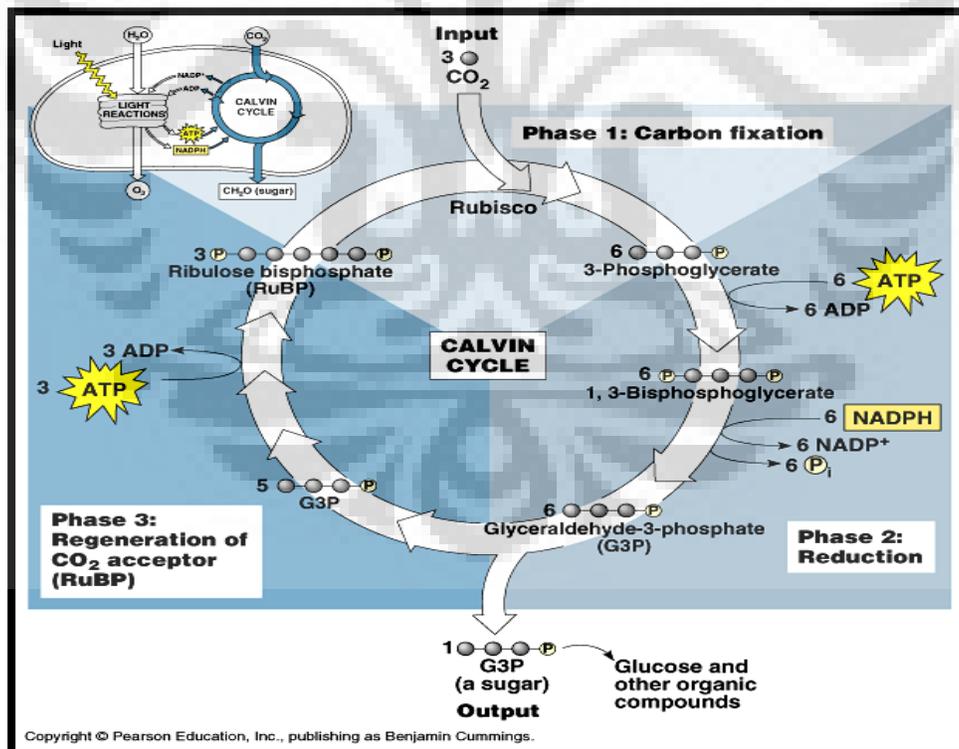
NADPH dan ATP yang terbentuk pada reaksi terang menyediakan energi untuk reaksi gelap fotosintesis, yang dikenal sebagai siklus Calvin atau siklus fotosintetik reduksi karbon (<http://www.life.ui.ac.edu/govindjee/paper/gov.html>).

b) Reaksi Gelap

Siklus Calvin merupakan suatu siklus dalam proses fotosintesis yang termasuk dalam reaksi gelap. Kata “Calvin” berasal dari nama seorang peraih Nobel *Prize* pada tahun 1950-an karena telah melakukan eksperimen berbagai reaksi, yaitu Melvin Calvin.

*Chlorella* menghilangkan  $\text{CO}_2$  dari lingkungan dan mereduksinya menjadi karbohidrat melalui siklus Calvin. Proses ini merupakan serangkaian reaksi biokimia yang mereduksi karbon dan menyusun ulang ikatan menghasilkan karbohidrat dari molekul  $\text{CO}_2$ . Untuk fiksasi karbon (fiksasi gas  $\text{CO}_2$  yang bebas berdifusi menjadi bentuk yang non-volatil berupa *reduced sugar*) dibutuhkan ATP (energi) dan NADPH (*reducing power*).

ATP dan NADPH yang dihasilkan dalam proses fotosintesis memicu berbagai proses biokimia. Pada tumbuhan proses biokimia yang terpicu adalah siklus Calvin yang mengikat karbon dioksida untuk membentuk ribulosa (dan kemudian menjadi gula seperti glukosa). Reaksi ini disebut reaksi gelap karena tidak bergantung pada ada tidaknya cahaya sehingga dapat terjadi meskipun dalam keadaan gelap (tanpa cahaya).



Gambar 2.6. Siklus Calvin untuk Reaksi Gelap

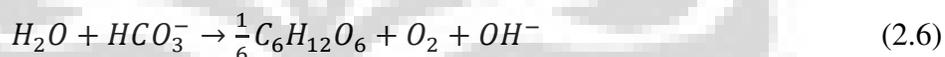
([www.superglossary.com/biology/Rubp.html](http://www.superglossary.com/biology/Rubp.html))

### 2.2.3 Fotosintesis Mikroalga Hijau *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Pada mikroalga hijau *Chlorella* yang termasuk organisme renik air, fotosintesis dilakukan di dalam air/media hidupnya.  $CO_2$  yang dibutuhkan sebagai carbon *source*-nya didapatkan dalam bentuk senyawa bikarbonat yang terbentuk dari reaksi air dengan  $CO_2$  terlarut dalam media hidupnya (pada ekstra selular) sebagai berikut (Wijanarko, 2004)



Senyawa bikarbonat ini yang kemudian diserap oleh sel *Chlorella*. Proses metabolisme yang terjadi dalam sel selanjutnya adalah reaksi antara bikarbonat tersebut dan 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 (Wijanarko, 2004)



Sehingga diketahui bahwa hasil fotosintesis dari mikroalga hijau *Chlorella* adalah ion  $OH^-$ , oksigen molekular, dan senyawa organik yang akan digunakan sebagai cadangan makanan, apabila tidak mendapatkan cahaya dan  $CO_2$  untuk pertumbuhan dan pembelahaan sel-nya (heterotrof)

Seperti yang kita ketahui bahwa fotosintesis adalah bagian dari metabolisme, maka apabila metabolisme ini terganggu maka pertumbuhan dari *Chlorella* akan mengalami hambatan.

### 2.2.4 Faktor yang mempengaruhi fotosintesis

- a) Intensitas cahaya  
Laju fotosintesis maksimum ketika banyak cahaya.
- b) Konsentrasi karbon dioksida  
Semakin banyak karbon dioksida di udara, makin banyak jumlah bahan yang dapat digunakan tumbuhan untuk melangsungkan fotosintesis.
- c) Suhu  
Enzim-enzim yang bekerja dalam proses fotosintesis hanya dapat bekerja pada suhu optimalnya. Umumnya laju fotosintensis meningkat seiring dengan meningkatnya suhu hingga batas toleransi enzim.

- d) Kadar air  
Kekurangan air atau kekeringan menyebabkan stomata menutup, menghambat penyerapan karbon dioksida sehingga mengurangi laju fotosintesis.
- e) 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.
- f) Tahap pertumbuhan  
Penelitian menunjukkan bahwa laju fotosintesis jauh lebih tinggi pada tumbuhan yang sedang berkecambah dibandingkan dengan tumbuhan dewasa. Hal ini mungkin dikarenakan tumbuhan berkecambah memerlukan lebih banyak energi dan makanan untuk tumbuh.

### 2.3 FOTOBIOREAKTOR

Dalam rangka memaksimalkan produktivitas produk yang berasal dari mikroorganisme fototropik, fotobioreaktor sangat dibutuhkan sebagai tempat hidup dari mikroorganisme ini (Pulz, 2001).

Fotobioreaktor itu sendiri terbagi dalam dua sistem, yaitu sistem terbuka (*open system*) dan sistem tertutup (*closed system*). Sistem terbuka bisa berupa air alami (danau, lagoon (danau di pinggir laut), kolam dan danau buatan). Umumnya sistem tertutup terdiri dari fotobioreaktor tubular dengan tube dalam berbagai bentuk, ukuran dan panjang yang disesuaikan dengan material yang digunakan (Pulz, 2001).

Pada masa yang akan datang, sistem kolam terbuka yang digunakan untuk memproduksi mikroorganisme dalam skala besar, mempunyai potensi inovasi yang lebih rendah dibanding sistem tertutup. Untuk produk yang bermutu tinggi, fotobioreaktor sistem tertutup lebih dipilih, ditinjau dari segi perkembangannya dan bervariasinya pendekatan yang dapat digunakan dalam desain.



**Gambar 2.7. Fotobioreaktor Terbuka untuk Pemiakan *Chlorella vulgaris***  
[www.energypowershift.com/developments.htm](http://www.energypowershift.com/developments.htm)

### 2.3.1 Karakteristik Fotobioreaktor

Umumnya, kondisi kehidupan normal alamiah mikroalga yang menjadi salah satu subjek penelitian bioteknologi adalah sebagai berikut : jarak rata-rata antara sel (*cell displacement*) vertical atau horizontal berkisar  $5 \cdot 10^{-3}$  sampai  $3 \cdot 10^{-5}$  m/s. Densitas maksimum sel  $1,000 \text{ sel/cm}^3$ , *photon flux density* (PFD) biasanya bagus dalam *light limited area*, suplai cahaya efektif pada saat pagi sampai sore, kondisi  $\text{CO}_2$  dan nutrisi biasanya jauh dari optimal, stabilitas nilai pH, konsentrasi ion dan temperatur pada rentang yang cukup panjang.

Pada kenyataannya, untuk sistem kultivasi dalam fotobioreaktor harus diberikan pada kondisi yang sangat berbeda, dimana densitas sel dapat mencapai hingga  $10^8 \text{ sel/cm}^3$ . Jarak rata-rata sel tereduksi sampai  $60 \mu\text{m}$  atau 10 kali diameter sel, *cell displacement* dari 0.3-1 m/s, *turbulence-conditioned* PFD bervariasi antara frekuensi 0,1-1.000 s dapat menggantikan waktu pagi sampai sore maupun malam harinya, suplai nutrient dan  $\text{CO}_2$  yang biasanya optimum, nilai pH dan temperatur yang optimum untuk spesifik sel mikroalga tertentu.

Berikut ini akan dijelaskan beberapa karakteristik dari fotobioreaktor :

a) Energi Cahaya

Cahaya sebagai sumber energi untuk kehidupan fotoautotropik merupakan faktor pembatas yang mendasar dalam *photobiotechnology*. Pada pencahayaan yang intens, laju fotosintesis akan berbanding lurus proporsional dengan intensitas cahaya, sampai intensitas iluminasi yang tinggi dapat merusak sistem reseptor fotosintetik dalam beberapa menit, yang

dinamakan *photoinhibition*. Pada kebanyakan mikroalga, fotosintesis akan ter-*saturated* pada radiasi sekitar 1.700-2.000  $\mu\text{E}/\text{m}^2$  dan mengalami *photoinhibition* pada 130  $\mu\text{E}/\text{m}^2$  (Pulz, 2001).

Pada jenis fotobioreaktor tubular atau *plate-type* dengan *surface-to-volume ratio* 20-80  $\text{m}^2/\text{m}^3$  dan besarnya pencahayaan mencapai 1.15  $\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$  dengan *layer thickness* sampai 5 mm, produktivitas dapat mencapai 2-5 g berat kering per hari. Meskipun minat pada bioteknologi semakin berkembang belakangan ini, tetapi masih sedikit referensi literatur mengenai *short-term process* dari *photoadaption*, yaitu mengenai *light inhibition* atau *saturation effect* dalam fotobioreaktor dalam sistem tertutup. *Photoadaption* memerlukan waktu sekitar 10-40 menit dimana dapat dijelaskan ketidaksesuaian antara produktivitas kultur alga pada *open-air* dan pencahayaan optimum mereka.

b) Kesetimbangan  $\text{CO}_2/\text{O}_2$

Untuk laju fotosintesis yang tinggi, kesetimbangan  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  harus disesuaikan, dimana enzim utama *carboxylating*, Rubisco, menggunakan  $\text{CO}_2$  untuk siklus Calvin dan tidak menggunakan untuk  $\text{O}_2$  fotorespirasi. Oksigen dapat menjadi permasalahan dalam kultur mikroalga dengan densitas sel tinggi karena akan menghambat laju fotosintesis.

Konsentrasi  $\text{CO}_2$  biasanya harus dijaga selama margin yang sempit. Kandungan  $\text{CO}_2$  udara 0,03% menjadi sub optimal bagi pertumbuhan dan pada umumnya tumbuh-tumbuhan dapat mentoleransi konsentrasi  $\text{CO}_2$  hanya sampai 0,1%. Tetapi untuk kebanyakan strain dari mikroalga, telah diteliti bahwa mikroorganisme ini dapat mentoleransi kandungan  $\text{CO}_2$  udara sampai 12% pada temperatur 35°C. Sampai saat ini tekanan parsial  $\text{O}_2$  ( $p\text{O}_2$ ) dalam *suspense* mikroalga baik dalam open atau *closed photobioreactor*, dapat direduksi hanya dengan menambah turbulensi dan *stripping*  $\text{O}_2$  dengan udara. Kedua pendekatan ini masih menjadi '*unsolved dilemma*' dalam sistem fotobioreaktor (Pulz, 2001)

c) Temperatur

Temperatur dapat mempengaruhi respirasi dan fotorespirasi secara lebih kuat dibanding dengan fotosintesis. Ketika  $\text{CO}_2$  atau cahaya menjadi terbatas untuk proses fotosintesis, pengaruh temperatur menjadi tidak signifikan. Dengan penambahan temperatur, respirasi akan meningkat secara signifikan. Jadi, net efisiensi fotosintesis akan menurun dengan kenaikan pada temperatur tinggi. Efek ini dapat memperburuk kultur *suspense* pada kondisi penurunan  $\text{CO}_2$  dan kelarutan  $\text{O}_2$  pada kenaikan temperatur (Pulz, 2001).

d) Nutrien dan Nilai pH

Suplai nutrient yang cukup untuk mikroalga adalah pre-kondisi untuk fotosintesis yang optimal. Defisiensi nutrient akan menyebabkan gangguan pada metabolisme dan ketidaksesuaian produksi pada *intermediate* proses fotosintesis. Deviasi dari nilai pH optimum akan mempengaruhi psikologis reaksi dan produktivitas sehingga kondisi yang terkontrol dengan mudah harus dijaga pada rasio optimum dalam fotobioreaktor (Pulz, 2001).

### 2.3.2 Peranan Fotobioreaktor

Baik mikro maupun mikroalga mempunyai peranan yang sangat penting dalam perekonomian dunia dengan nilai perkiraan *turn over* sebesar US\$ 5 milyar/tahun. Mikroalga merupakan organisme yang unik dan berharga dalam beberapa aplikasi, dimana organisme ini merupakan organisme yang pertama *biological CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> exchanger* pada planet ini, penghasil biomassa dan merupakan suatu grup organisme ekologi yang beragam. Bakteri fotosintesis dan mikroalga telah menjadi suatu ketertarikan dalam beberapa penelitian, industrial dan kepentingan lingkungan hayati. Dasar dari penelitian-penelitian tersebut adalah untuk mendalami pemahaman proses fotosintesis secara selular pada organisme fotosintetik, tetapi beberapa penelitian juga telah diarahkan untuk keperluan industri komersial yang dapat memasarkan produk yang dihasilkan dari proses ini. Mikroalga memiliki potensial bioteknologi yang besar untuk memproduksi substansi berharga untuk aplikasi makanan, kesehatan, kosmetika, industri farmasi dan juga untuk proses bioteknologi lainnya. Proses reaksi yang menghasilkan produk-produk komersial tersebut dijalankan dalam sebuah sistem yang dinamakan fotobioreaktor. Proses *biological C-fixation* untuk mengurangi emisi industri relatif lebih mahal dibandingkan dengan teknik penghilangan CO<sub>2</sub> secara konvensional, tetapi akan dapat bernilai ekonomis dengan pemilihan jenis spesies mikroalga yang menghasilkan produk yang bernilai komersial tinggi. Sehingga basis bioteknologi untuk produksi yang paling efisien dari biomassa mikroalga merupakan kunci keberhasilan untuk masa depan organisme ini. Sistem teknis untuk produksi mikroorganisme fototropik diformulasikan dalam bentuk fotobioreaktor. Sistem ini telah dievaluasi pada berbagai konsep konfigurasi dengan pertimbangan potensial produktivitas dan prospek ekonominya. Desain secara teknik dan basis teknologi untuk fotobioreaktor merupakan pokok yang paling penting untuk keberhasilan ekonomi dalam lapangan bioteknologi fototropik.

### 2.3.3 Jenis Fotobioreaktor

Sistem kultur alga bisa diberikan perlakuan cahaya dengan cahaya buatan, cahaya matahari atau dengan keduanya. Pencahayaan sistem kultur alga secara alami dengan luas permukaan pencahayaan yang luas meliputi *open ponds* (Hase et al., 2000), *flat-plate* (Hu et al., 1996), *horizontal/serpentine tubular airlift* (Camacho Rubio et al., 1999), dan *inclined tubular photobioreactors* (Ugwu et al., 2002). Secara umum, fotobioreaktor skala laboratorium diberi cahaya buatan (baik secara internal maupun eksternal) menggunakan lampu *fluorescent* atau distributor cahaya lainnya. Beberapa jenis dari fotobioreaktor ini meliputi *bubble column* (Degen et al., 2001; Ogonna et al., 2002; Chini Zittelli et al., 2003), *airlift column* (Harker et al., 1996; Kaewpintong et al., 2007), *stirred-tank* (Ogonna et al., 1999), *helical tubular* (Hall et al., 2003), *conical* (Watanabe and Saiki, 1997), *torus* (Pruvost et al., 2006), dan fotobioreaktor tipe *seaweed* (Chetsumon et al., 1998).

Dari beberapa jenis fotobioreaktor yang dikembangkan untuk memproduksi biomassa mikroalga, masing-masing memiliki kelebihan dan keterbatasan. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4. Perbandingan antara beberapa sistem kultivasi mikroalga**

<b>Sistem Kultur</b>	<b>Kelebihan</b>	<b>Keterbatasan</b>
<i>Open ponds</i>	Relatif ekonomis, mudah dibersihkan setelah kultivasi, baik untuk kultivasi alga	Control yang rendah pada kondisi kultur, sulit menumbuhkan kultur alga dalam waktu yang panjang
<i>Vertical-column photobioreactors</i>	Perpindahan massa yang tinggi, pencampuran yang baik dengan <i>shear</i> yang rendah, konsumsi energi rendah, sangat potensial untuk penskalaan, mudah disterilisasi, baik untuk immobilisasi alga, mengurangi fotoinhibisi dan fotooksidasi	Kecilnya luas permukaan yang mendapat cahaya, konstruksinya butuh bahan yang kompleks, <i>shear stress</i> pada kultur alga, berkurangnya luas permukaan yang mendapat cahaya saat <i>scale-up</i>

<i>Flat-plate photobioreactors</i>	Besarnya luas permukaan yang mendapat cahaya, cocok untuk kultur di luar ruangan, baik untuk immobilisasi alga, jalan peninarannya baik, produktivitas biomasnya baik, relative murah, mudah dibersihkan, kecil akumulasi oksigen	<i>Scale up</i> membutuhkan banyak suku cadang dan bahan pendukung, sulit dalam mengontrol temperature kultur, terdapat tingkat pertumbuhan di dinding, kemungkinan <i>hydrodynamic stress</i> pada beberapa jenis alga
<i>Tubular photobioreactors</i>	Besarnya luas permukaan yang mendapat cahaya, cocok untuk kultur di luar ruangan, produktivitas biomasnya baik, relative murah	Terdapat gradient/perbedaan <i>p</i> , <i>dissolved oxygen</i> dan $CO_2$ di sepanjang pipa, kerak, dan ada pertumbuhan di dinding, membutuhkan lahan tanah yang luas

Sumber : Ugwu et al., 2002

Dikarenakan sistem terbuka biasanya memiliki produktifitas yang kecil sehingga untuk skala industri banyak digunakan sistem tertutup seperti *tubular* fotobioreaktor.

Fotobioreaktor sistem tertutup mempunyai berbagai bentuk, ukuran dan panjang yang disesuaikan dengan material yang digunakan (Pulz, O, 2001). Ada beberapa jenis fotobioreaktor sistem tertutup (dibedakan berdasarkan bentuk, *flow regime*, efisiensi cahaya dan luas permukaan kontakannya) yang biasanya digunakan dalam kultivasi mikroorganismenya yaitu :

- Tubular fotobioreaktor
- Conical fotobioreaktor
- Plat-type fotobioreaktor
- Buble column fotobioreaktor

### 2.3.4 Fotobioreaktor Kolom Gelembung

Sistem fotobioreaktor terdiri dari beberapa bagian yaitu reaktor *vessel*, sistem sirkulasi gas, sistem titrasi gas, lemari yang bersih, sumber cahaya dan sistem pengendalian reaktor. Untuk kultivasi mikroalga sendiri dapat dilakukan dengan sistem *batch* atau kontinyu. Tetapi dalam beberapa penelitian sistem kultivasi yang digunakan adalah semi-*batch* dimana gas CO<sub>2</sub> secara kontinyu dialirkan ke dalam reaktor sedangkan mikroalga ditempatkan secara *batch* (<http://www.inhavision.inha.ac.kr/leeeg/lumostat.pdf>).

Dalam fotobioreaktor ini biasanya digunakan *sparger* yang fungsinya sama seperti pengaduk dalam reaktor berpengaduk. Fungsi dari *sparger* disini adalah agar pencampuran gas dan aerasi terjadi secara baik. Penggunaan fotobioreaktor kolom gelembung ini mempunyai beberapa keuntungan diantaranya biaya modal yang cukup rendah.

Intensitas penerangan dalam fotobioreaktor kolom gelembung system batch harus dipertahankan pada tingkat yang sesuai dengan jumlah inokulum. Hal ini dikarenakan semakin bertambahnya waktu maka jumlah mikroorganisme dalam fotobioreaktor tersebut akan semakin banyak karena terjadi proses pembelahan sel. Semakin banyak jumlah mikroorganisme tersebut maka kemungkinan bagi mikroorganisme yang berada di bagian tengah dan belakang untuk memperoleh cahaya semakin minim karena tertutup oleh mikroorganisme yang berada di depannya. Distribusi yang tidak seimbang ini menyebabkan laju pertumbuhan mikroorganisme terganggu. Peristiwa ini dikenal dengan *self-shading of light*.

Dalam reaksi fotosintesis dihasilkan gas O<sub>2</sub> yang dapat menyebabkan kenaikan tekanan dan merusak fotobioreaktor. Dengan menggunakan sistem titrasi katalitik menggunakan gas H<sub>2</sub> atau menggunakan sistem aerasi dengan aerator, konsentrasi O<sub>2</sub> dalam fotobioreaktor dapat dihilangkan.

## 2.4 Penelitian yang Telah Dilakukan

Perlakuan filtrasi pada aliran sirkulasi kultur alga bertujuan memerangkap sebagian biomassa dalam kultur untuk mengurangi kepadatan sehingga intensitas cahaya yang selalu konstan tetap dapat mencukupi pada kultivasi. Dengan berkurangnya kepadatan, pengaruh self-shading (peristiwa penutupan satu sel oleh sel lain yang menyebabkan tidak meratanya cahaya dan CO<sub>2</sub> yang didapatkan oleh alga) yang terjadi dalam kultur alga di dalam reaktor dapat diatasi. Berikut adalah beberapa penelitian dengan perlakuan filtrasi yang telah dilakukan :

**Tabel 2.5. Penelitian dengan Perlakuan Filtrasi yang Telah Dilakukan**

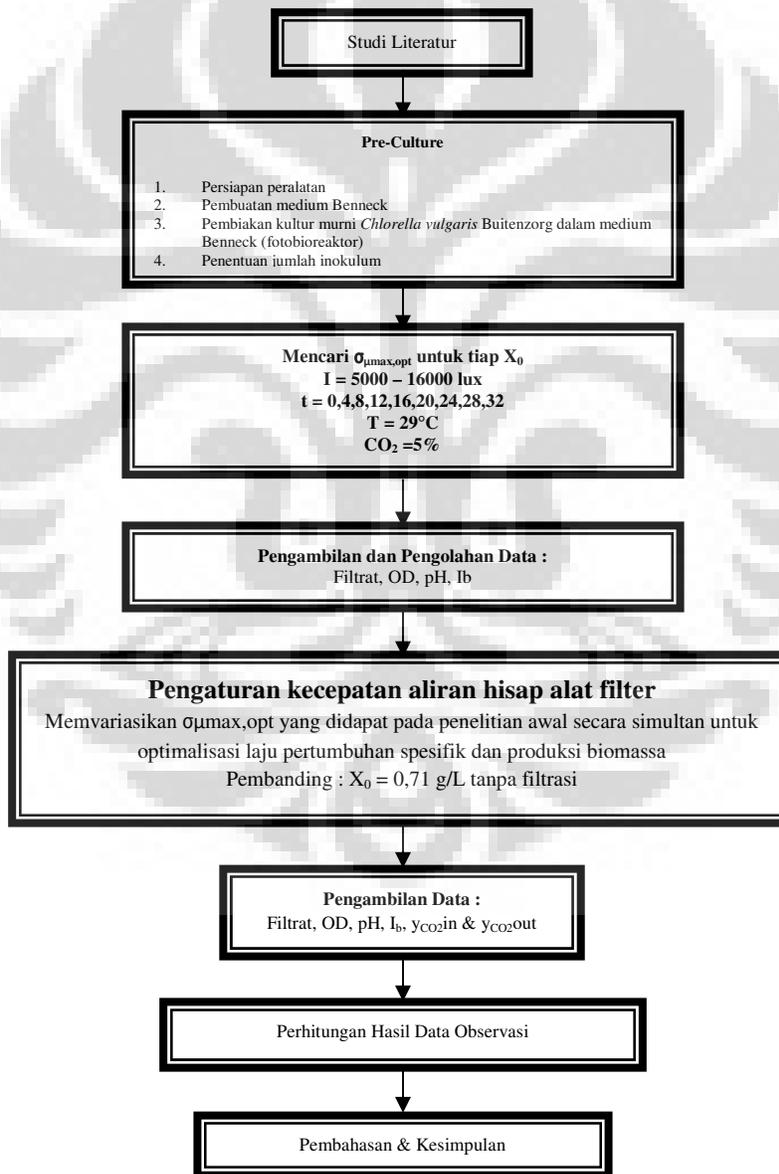
Peneliti / Tahun	Judul Penelitian	Kesimpulan
Ahmed Syarif, 2008	Peningkatan Produksi Biomassa <i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg dengan Perlakuan Aliran Sirkulasi Media Kultur Pada Pencahayaan Alterasi	Penggunaan pencahayaan alterasi akan menghasilkan jumlah sel 1,27 kali lebih banyak dibandingkan dengan pencahayaan kontinyu dengan menggunakan sama-sama perlakuan filtrasi aliran sirkulasi media
Rachma Nuzulliany, 2008	Perlakuan Filtrasi Aliran Sirkulasi Media Kultur Untuk Peningkatan Produksi Biomassa <i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg Melalui Pencahayaan Kontinyu dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung Skala Menengah	Penggunaan perlakuan filtrasi memberikan peningkatan terhadap biomassa yang dihasilkan sekitar 1,03 kali lipat dibandingkan dengan reaktor tanpa filtrasi,

# BAB III

## METODE PENELITIAN

Pada bab ini, akan dijelaskan mengenai diagram alir penelitian, alat dan bahan penelitian, variabel penelitian, prosedur serta metode perhitungan data hasil observasi yang akan digunakan pada penelitian ini.

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

### 3.1 Alat dan Bahan Penelitian

Pada bagian berikut akan dijelaskan mengenai beberapa alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini.

Pada penelitian ini akan digunakan peralatan-peralatan sebagai berikut :

1. Satu buah fotobioreaktor dengan volume total 18 dm<sup>3</sup> dengan bahan dasar kaca transparan yang dilengkapi dengan aliran *input* dan *output* gas dan udara yang mengandung CO<sub>2</sub>.
2. *Air Flow* kapasitas 140 L/m merek resun LP-100
3. Tabung CO<sub>2</sub> yang dilengkapi dengan regulator
4. Flowmeter udara dan flowmeter CO<sub>2</sub>
5. Rangkaian filtrasi
6. *Spons*
7. Lampu Philips Halogen 20W/12V/50Hz (sebagai sumber pencahayaan) dan transformator 220 V primer/12 V sekunder.
8. T-septum yang terbuat dari bahan gelas (sebagai titik indikator konsentrasi CO<sub>2</sub> input fotobioreaktor).
9. Peralatan *glassware* yang terdiri dari Erlenmeyer 100 cm<sup>3</sup> (sebagai discharge gas CO<sub>2</sub> dan udara output fotobioreaktor), pipet ukur 5 cm<sup>3</sup>, pipet Pasteur, gelas ukur 10 cm<sup>3</sup> dan 100 cm<sup>3</sup> botol sampel sel dan beaker glass 20 cm<sup>3</sup> dan 100 cm<sup>3</sup>.
10. Selang silikon dan selang plastik (sebagai rangkaian peralatan dan konektor rangkaian).
11. Syringe 1001 RT Hamilton 1 cm<sup>3</sup> (*inlet-outlet*)(untuk mengambil sampel dari *input* dan *output* CO<sub>2</sub>)
12. Set Lightmeter Lxtron LX-103 (sebagai penghitung kekuatan intensitas cahaya, dengan satuan Lx ataupun Foot-Candle).
13. pH meter HANNA Model HI 8014 dengan larutan buffer 4 dan 7
14. Lemari kerja ultraviolet (sebagai transfer box)
15. Spectro UV-VIS RS Spectrometer, LaboMed. Inc (untuk menghitung OD/absorbansi pada 600 nm).
16. Unit Gas Chromatography TCD Shimadzu GC-8A (untuk mengukur konsentrasi gas CO<sub>2</sub> input dan output fotobioreaktor), Recorder C-R6A Chromatopac (untuk mendapatkan *print out* dari hasil GC), tabung gas (*carrier gas*) Helium.

Sedangkan untuk bahan penelitian yang digunakan adalah :

1. Starter mikroalga hijau *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan usia  $\pm$  60 jam yang telah dihitung kerapatannya (berat kering/volume) dengan menggunakan spektrofotometer pada 600 nm.
2.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$  untuk membuat medium Benneck
3. Aquadest (sebagai bahan medium dan mencuci alat seperti gelas, pipet ukur dan lain-lain)
4. Alkohol 70% (untuk mencuci alat/sterilisasi dan mencegah kontaminasi)

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

#### 3.3.1. Variabel Bebas

Variabel ini merupakan variabel yang diset pada suatu harga tertentu. Variabel bebas pada penelitian ini adalah waktu pengambilan data ( $t$ ), kerapatan awal ( $X_0$ ), variasi kecepatan hisapnya.

#### 3.3.2. Variabel Terikat

Variabel ini merupakan variabel yang diukur dengan menggunakan alat. Variabel terikat pada penelitian ini adalah kerapatan biomassa *Chlorella*, jumlah kerapatan sel ( $X$ ), konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  dalam udara input dan output ( $y_{\text{CO}_2}$ ), pH dan besar intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh reaktor ( $I_b$ ).

#### 3.3.3. Variabel Tetap

Variabel tetap dalam penelitian ini adalah kecepatan superficial  $\text{CO}_2$  dan intensitas cahaya yang digunakan.

### 3.4 Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian secara umum dapat dilihat pada Gambar. Masing-masing tahapan tersebut dapat dijabarkan lagi menjadi prosedur-prosedur seperti terlihat pada penjelasan berikut.

### 3.4.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan sebelum menjalankan persiapan, semua literatur yang berkaitan dengan penelitian dikumpulkan dan dipelajari.

### 3.4.2. Persiapan Peralatan dan Medium

Peralatan seperti fotobioreaktor kolom gelembung (aquarium), filter udara, filter biomassa, multi sparger, peralatan *venture* hisap dan media Benneck yang akan digunakan disterilisasi terlebih dahulu dalam panci bertekanan tinggi dalam selang waktu 1-2 jam atau dengan alkohol 70% sebelum dilakukan perangkaian peralatan riset ini.

#### a) Pembuatan Rangkaian Peralatan

Peralatan riset dirangkai dalam suatu lemari kaca untuk melindungi reaktor dari kontaminan. Reaktor yang digunakan berukuran 18 L. Reaktor yang digunakan dihitung nilai  $\alpha_{\text{kaca}}$ -nya sebagai fungsi dari intensitas. Nilai  $\alpha_{\text{kaca}}$  ini digunakan untuk mengetahui hambatan cahaya dari reaktor dikarenakan ukurannya dan tebalnya yang berbeda-beda sehingga pada perhitungan dapat diketahui jumlah cahaya yang digunakan mikroalga untuk pertumbuhannya dengan tepat.

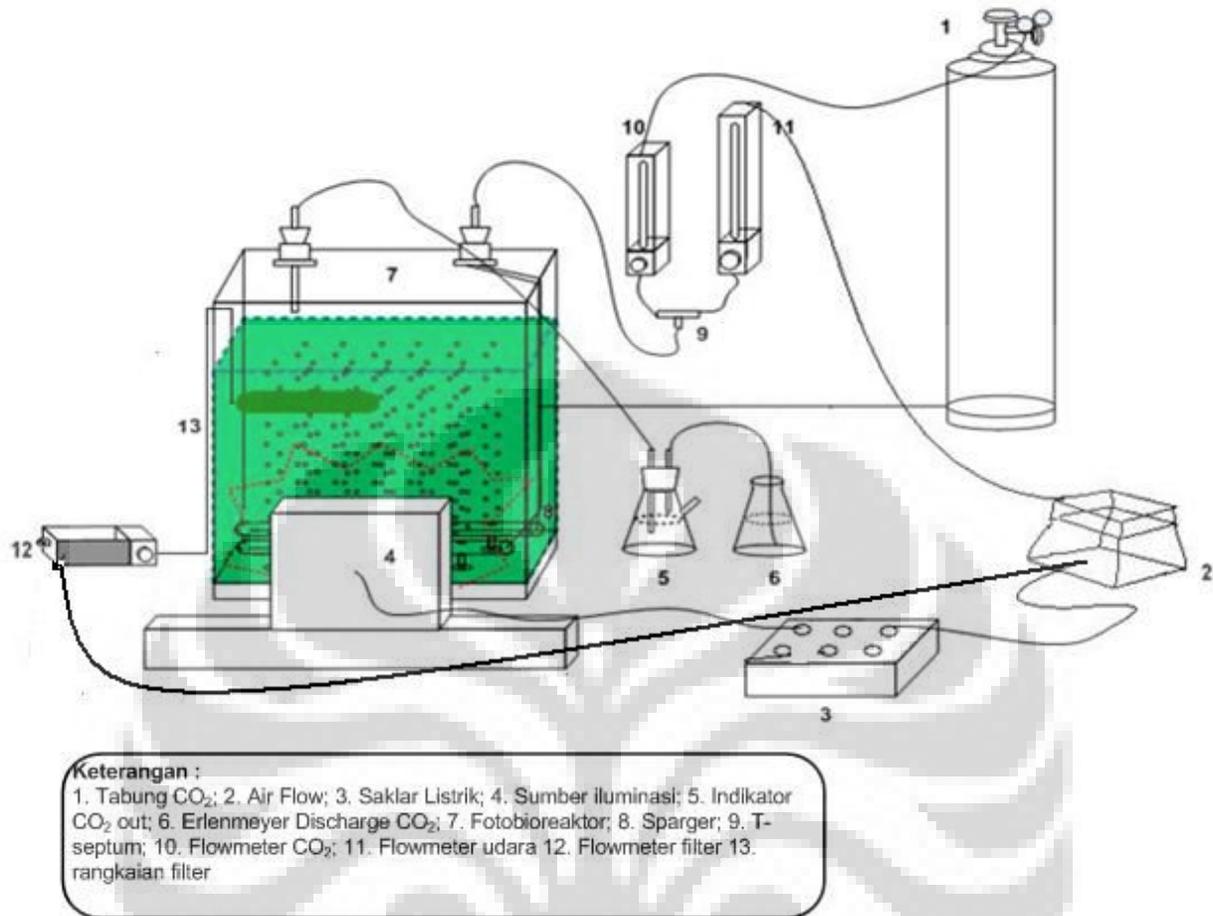
Untuk penghubung rangkaian digunakan selang silikon dan selang plastik. Pada tiap sambungan selang dilapisi dengan selotip untuk memastikan tidak ada sambungan yang bocor sekaligus mencegah kontaminan masuk ke dalam rangkaian.

Kemudian dipasang rangkaian alat filtrasi di dinding dalam reaktor, untuk penghubung rangkaian filtrasi digunakan selang silikon dan satu buah flowmeter udara yang dihubungkan dengan satu buah air flow.

Kalibrasi flowmeter juga dilakukan agar dapat diketahui dengan tepat skala dari masing-masing flowmeter. Hal ini penting karena CO<sub>2</sub> sebagai *carbon source* yang akan dialirkan harus selalu dijaga konstan pada konsentrasi 5% dari laju aliran total.

Kemudian untuk sumber iluminasi digunakan lampu halogen dengan kekuatan intensitas cahaya sampai 110 Klx. Karena lampu ini berdaya 12 V maka dipasang transformator untuk menurunkan tegangan dari 220 V ke 12 V.

Berikut adalah ilustrasi rangkaian alat penelitian yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu :



**Gambar 3.2. Skema Alat Penelitian**

b) Sterilisasi Peralatan

Sebelum digunakan, seluruh peralatan untuk riset yang akan bersentuhan langsung dengan *Chlorella* disterilisasi terlebih dahulu agar tidak terkontaminasi bakteri pengganggu yang dapat menghambat/mengganggu pertumbuhan *Chlorella*.

Langkah-langkah sterilisasi alat :

1. Pencucian Alat

Peralatan yang digunakan dicuci terlebih dahulu dengan air dan sabun cuci sampai bersih lalu dibilas dengan air sampai tidak terdapat lagi sisa sabun pada peralatan yang akan digunakan.

2. Pengeringan

Peralatan yang telah dicuci kemudian dibilas sampai bersih, selanjutnya dikeringkan menggunakan tisu kering atau dengan kompresor udara. Kemudian semua peralatan kaca yang

memiliki rongga ditutup dengan *aluminium foil* untuk mencegah masuknya kontaminan setelah disterilisasi.

### 3. Sterilisasi

Peralatan dari kaca/logam disterilisasi menggunakan *oven* dengan suhu 120°C selama  $\pm 1$  jam, sedangkan peralatan dari plastik atau berdimensi besar cukup direndam dalam alkohol 70% selama  $\pm 5$  menit dan direndam lagi sebelum dipakai.

### 4. Penyimpanan

Peralatan kaca/logam dan peralatan dari plastik yang telah disterilisasi selanjutnya disimpan dalam lemari penyimpanan kedap udara yang dilengkapi dengan lampu UV.

Hal-hal yang perlu diperhatikan yaitu lingkungan pada lemari kerja dan *transfer box* juga harus bersih dan steril, caranya dengan dilap terlebih dahulu, lalu disemprot dengan alkohol 70% dan diratakan dengan lap/tisu kering dan bersih. Lemari penyimpanan alat dan transfer box harus menggunakan lampu UV untuk mencegah pertumbuhan kuman dan dimatikan saat akan digunakan untuk kerja. Dan yang tidak kalah penting yaitu tangan praktikan juga harus selalu bersih, dicuci terlebih dahulu dan dilumuri spray alkohol 70% sebelum mulai bekerja atau mengambil data.

### c). Pembuatan Medium Benneck

Medium yang digunakan sebagai medium kultur media pertumbuhan *Chlorella* dalam riset ini adalah medium Benneck. Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat medium Benneck yaitu :

**Tabel 3.1 Bahan – Bahan Pembuatan Medium Benneck**

Bahan	(mg/dm <sup>3</sup> aquadest)
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	200
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	100
NaNO <sub>3</sub>	500
FeCl <sub>3</sub>	3-5

Pertimbangan penggunaan medium ini antara lain karena stok *Chlorella vulgaris* Buitenzorg murni yang didapat dengan menggunakan medium ini mudah dibuat. Hal lain yang

menjadi pertimbangan adalah kandungan nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg terdapat pada medium ini. Penggunaan medium ini juga mengacu pada hasil riset-riset sebelumnya yang menggunakan medium ini dan cukup baik untuk digunakan sebagai media hidup *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.

Cara membuat satu liter medium :

1. Menyiapkan bahan-bahan di atas :  $\text{MgSO}_4$  100 mg,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  200 mg,  $\text{NaNO}_3$  500 mg,  $\text{FeCl}_3$  3-5 mg. Lalu keempat bahan tersebut dilarutkan dalam 1  $\text{dm}^3$  aquadest, diaduk sampai seluruh bahan larut.
2. Medium disterilisasi menggunakan *autoclave* selama  $\pm 1,5$  jam, lalu didinginkan. Lakukan pemanasan sebanyak  $\pm 3$  kali untuk memastikan medium benar-benar steril. Cara membuka *autoclave* harus menunggu suhu dan tekanan *autoclave* turun agar tidak berbahaya.
3. Medium yang telah steril dan dingin dapat disimpan dalam lemari yang telah disterilisasi dengan UV atau lemari pendingin bila tidak langsung digunakan. Apabila terdapat endapan pada dasar medium, harus dipisahkan terlebih dahulu sebelum disimpan.

### 3.4.3 Pemiakan Kultur *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dalam Medium *Benneck*

Medium kultur murni yang didapat harus dibiakan kembali sebelum dapat digunakan dalam riset. Tujuannya adalah selain untuk memperbanyak stok yang ada, juga untuk membuat *Chlorella vulgaris* Buitenzorg tersebut beradaptasi dalam medium baru sebelum digunakan (melewati fasa lag).

Cara pemiakan medium kultur murni :

1. Menyiapkan medium serta peralatan pemiakan (wadah, selang udara, tutup wadah) lalu disterilkan terlebih dahulu.
2. Stock murni *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dimasukkan kedalam wadah steril dan dicampur dengan medium *Benneck* yang telah steril. Perbandingan antara jumlah stock *Chlorella* dengan medium dapat diatur sesuai kebutuhan riset. Pindahkan ini harus dijaga steril, dilakukan dalam *transfer box*, lingkungan disterilkan dengan alkohol 70% dan menggunakan api Bunsen.

3. Lalu medium kultur tersebut di-*bubbling* dengan menggunakan kompresor udara dan CO<sub>2</sub> sebesar 1v/vm. Pada tahap ini juga harus diberikan cahaya namun dengan intensitas yang kecil  $\pm 1000$  lx.
4. Pembiakan dapat dilakukan selama satu minggu atau lebih bila bertujuan untuk memperbanyak stok yang ada, tetapi jika hanya untuk melewati *lag time* dapat dilakukan selama 2-3 hari atau  $\pm 60$  jam, tergantung jumlah selnya.

#### 1.4.4. Penentuan Kerapatan Biomassa Inokulum *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Penentuan kerapatan biomassa inokulum sangat penting dalam riset ini karena secara garis besar berkaitan dengan jumlah sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg yang terdapat dalam medium kultur. Kerapatan biomassa inokulum perlu diketahui agar dapat dilihat perubahan jumlahnya dari waktu ke waktu dan berkaitan dengan besar intensitas cahaya yang dibutuhkan.

Langkah-langkah perhitungan :

1. Homogenisasi yang dilakukan dengan pengadukan medium kultur sampai semua endapan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg yang ada merata di dalamnya.
2. Pengambilan sejumlah volume inokulum stok yang teraduk merata dan memasukannya ke dalam *glass cuvette*.
3. Penghitungan kerapatan biomassa dapat dilakukan dengan alat bantu spektrofotometer, didapatkan data absorbansi kemudian menggunakan kurva kalibrasi OD Vs  $X_{sel}$  atau OD Vs  $N_{sel}$ .

#### 3.4.5. Pelaksanaan Kegiatan Riset

Pada eksperimen dengan perlakuan filtrasi aliran sirkulasi kultur media yang ditujukan untuk mengurangi *self shading* dengan memerangkap sebagian produk biomassa dalam filter aliran sirkulasi media, dilakukan observasi pengaruh kecepatan aliran hisap terhadap peningkatan produksi biomassa dan laju pertumbuhannya dengan mencari kecepatan aliran hisap optimum pada tiap jumlah kerapatan sel dari  $\pm 0,71$  g/L -  $\pm 4,28$  g/L.

Pada awal perlakuan riset, selalu dilakukan tindakan *aseptic* dengan menggunakan Bunsen dan alkohol 70% untuk menghindari atau mengurangi efek kontaminasi. Hal ini sangat penting karena efek kontaminasi dapat menghambat pertumbuhan dari mikroalga ini.

Riset yang dilakukan adalah pemberian perlakuan pengaturan kecepatan aliran hisap alat filter dengan berbagai variasi kecepatan untuk  $X_0 = 0,71 \text{ g/L} ; 2,14 \text{ g/L} ; 2,86 \text{ g/L} ; 4,28 \text{ g/L}$  dalam fotobioreaktor kolom gelembung berukuran 18 L untuk mencari kecepatan hisap paling maksimum dari tiap jumlah inokulum, kemudian dilakukan pengaturan kecepatan hisap pada kecepatan hisap optimum dengan jumlah kerapatan awal  $0,71 \text{ g/L}$  dan menggunakan pencahayaan kontinyu kemudian sebagai pembanding dilakukan sistem reaktor tanpa filtrasi dengan kerapatan dan pencahayaan yang sama untuk melihat pengaruh dari pengaturan kecepatan aliran hisap alat filter.

Parameter penentuan kecepatan hisap paling maksimum dari suatu kerapatan sel ini adalah laju pertumbuhan maksimum sel/biomassanya. Untuk menentukan laju pertumbuhan maksimum dilakukan running dalam rentang 32 jam. Dengan pertimbangan bahwa pada rentang waktu tersebut sudah dapat menggambarkan profil laju pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.

#### 3.4.6. Pengambilan Data

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

- pH kultur media dalam fotobioreaktor
- Intensitas cahaya dibalik reaktor/ $I_b$  (Lx)
- Kerapatan biomassa dalam kultur media dalam fotobioreaktor (g/L)
- Kerapatan biomassa yang terperangkap dalam filter (g/L)
- Konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  dalam udara input dan output ( $y_{\text{CO}_2}$ )

Langkah-langkah pengambilan data :

1. Sampel diambil dari kultur media dalam reaktor untuk diukur kerapatan biomassa dalam kultur media/absorbansinya (X/OD) bersamaan dengan mengambil nilai pH, konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  dalam udara input dan output ( $y_{\text{CO}_2}$ ) dan intensitas cahaya yang ditransmisikan ke belakang reaktor ( $I_b$ ).
2. Bersamaan dengan perlakuan di atas, biomassa yang terperangkap dalam filter juga diambil dengan cara memindahkannya dari media kultur ke dalam wadah berisi medium Benneck melalui proses pemerasan sebelum diukur kerapatan biomassa dalam kultur media/absorbansinya (X/OD) dari media kultur tersebut.

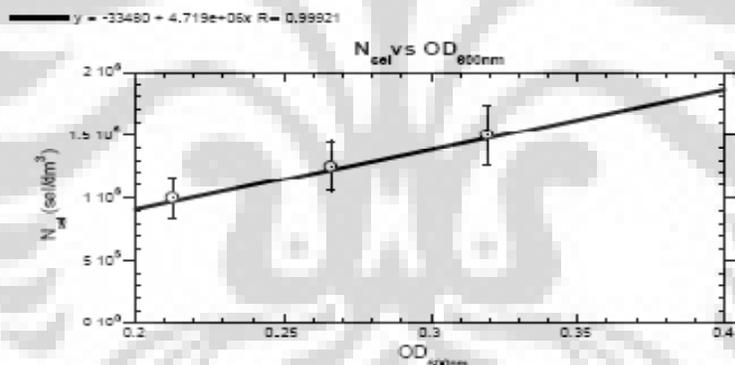
3. Langkah-langkah pengambilan data diulangi setiap interval waktu yang telah ditetapkan (untuk sampel dari media kultur, selama 4 jam sekali dan filtrat selama 4 jam sekali).

### 3.4.7. Pengolahan Data Penelitian

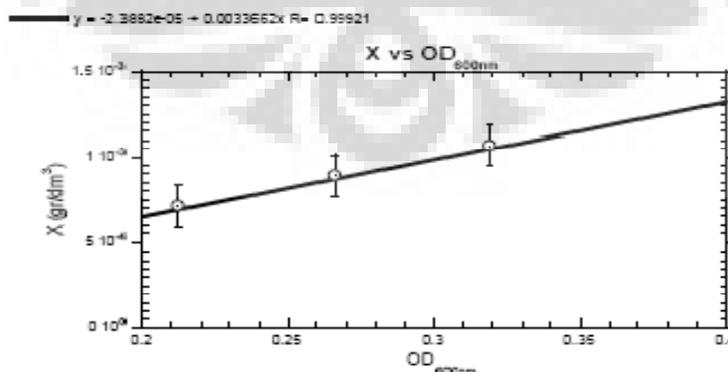
Variabel penelitian yang diambil yaitu  $OD_{600}$ , pH dan  $I_b$  akan diolah menggunakan beberapa metode perhitungan, antara lain :

a) Pengolahan Data  $OD_{600}$

Nilai OD yang didapatkan dari hasil penelitian akan dikonversi menjadi nilai N sel dan X dimana N sel adalah jumlah sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg yang terdapat di dalam satu satuan volume, sedangkan berat kering biomassa (X) adalah berat dari *Chlorella vulgaris* Buitenzorg di luar medium hidupnya. Jumlahnya dapat dihitung secara langsung dengan menggunakan data absorbansi pada 600 nm dan mengkorelasikannya dengan menggunakan kurva kalibrasi  $OD_{600}$  Vs Nsel dan  $OD_{600}$  Vs X. Dari pengolahan ini dapat dibuat kurva pertumbuhan X Vs t.



Gambar B.1. Kurva Kalibrasi  $N_{sel}$  vs  $OD_{600}$



Gambar B.2. Kurva Kalibrasi X vs  $OD_{600}$

Gambar 3.3. Kurva Kalibrasi  $N_{sel}$  Vs  $OD_{600}$  dan  $X_{sel}$  Vs  $OD_{600}$

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 ( $\mu$ ) 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 :

$$\mu = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} \text{ atau } \mu = \frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dt} \quad (3.1)$$

dimana :

$\mu$  = laju pertumbuhan spesifik ( $h^{-1}$ )

N = jumlah sel ( $sel/cm^3$ )

X = berat kering sel/biomassa ( $g/dm^3$ )

t = waktu (h)

b) Pengolahan Data pH

Nilai pH digunakan untuk menghitung besar konsentrasi  $[HCO_3^-]$  dalam reaktor dengan menggunakan persamaan Henderson-Hasellbach, yaitu :

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

Dimana :

$P_T$  = tekanan operasi (atm)

$y_{CO_2}$  = konsentrasi gas  $CO_2$  yang diumpankan (5%)

$K_{CO_2}$  =  $4,38 \times 10^{-7}$

$H_{CO_2}$  = 2900 KPa/mol

T = temperatur operasi

$T_0$  = temperatur standar

c) Pengolahan Data CTR, CUR, dan  $q_{CO_2}$

CTR (Carbondioxide Transfer Rate) merupakan banyaknya gas  $CO_2$  yang ditransferkan dalam suatu volum medium yang dibutuhkan oleh metabolisme sel selama satu satuan waktu tertentu.  $q_{CO_2}$  adalah laju gas  $CO_2$  yang ditransfer dalam suatu volum medium karena adanya aktivitas kehidupan biologi dalam satu satuan waktu tertentu.

$$q_{CO_2} = \frac{\Delta y_{CO_2} \cdot \alpha_{CO_2}}{X} \quad (h^{-1}) \quad (3.3)$$

dimana :

$X$  = berat kering 1 sel *Chlorella vulgaris* B. x jumlah sel/cm<sup>3</sup> (g/dm<sup>3</sup>)

$\Delta y_{CO_2}$  = selisih antara konsentrasi CO<sub>2</sub> pada gas keluaran dan gas masukan bioreaktor tembus cahaya

$$CTR = \Delta y_{CO_2} \cdot \alpha_{CO_2} \quad (\text{g/dm}^3 \cdot \text{h}) \quad (3.4)$$

Dalam penelitian ini :

$$\alpha_{CO_2} = \frac{U_g \cdot A \cdot M_{CO_2} \cdot P}{V_{med} \cdot R \cdot T} \quad (3.5)$$

$$\alpha_{CO_2} = \frac{151,5 \frac{\text{dm}}{\text{h}} \cdot 3,384 \text{ dm}^2 \cdot 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 1 \text{ atm}}{18 \text{ dm}^3 \cdot 0,082 \frac{\text{L atm}}{\text{mol}^\circ\text{K}} \cdot 302^\circ\text{K}}$$

$$\alpha_{CO_2} = 50,61 \frac{\text{g}}{\text{dm}^3 \cdot \text{h}}$$

CUR (Carbon Uptake Rate) merupakan laju penggabungan CO<sub>2</sub> menjadi suatu biomaterial yang ditentukan berdasarkan laju pertumbuhan (Ohtaguchi et al, 1997).

$$CUR = \frac{44}{\beta} \cdot \frac{dX}{dt} \quad (\text{g/dm}^3 \cdot \text{h}) \quad (3.6)$$

**Tabel 3.2**

***Elemental Analysis Sel Chlorella vulgaris Buitenzorg***

Elemen (% berat)				
C	H	N	O	P
22	6,05	5,2	9,45	2,36

dimana :

$$\beta = 24,565 \quad \text{RMF} = \text{CH}_{3,3}\text{N}_{0,203}\text{O}_{0,322}\text{P}_{0,041}$$

## d) Pengolahan Data I

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

$$E_o = A \int_0^t (I_i - I_t) dt \quad (3.7)$$

Sedangkan total energi cahaya yang terserap selama kultivasi adalah :

$$E_o = A \int_0^t I_t dt \quad (3.8)$$

Dimana : A = luas permukaan plat iluminasi (m<sup>2</sup>)

I<sub>t</sub> = intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh kultur medium (W/m<sup>2</sup>)

I<sub>i</sub> = intensitas cahaya yang diterima oleh kultur medium (W/m<sup>2</sup>)

t = waktu (jam)

dengan nilai konversi 1 lx = 2,95 x10<sup>-3</sup> W/m<sup>2</sup> dan untuk mencari nilai E<sub>x</sub> (energi cahaya yang dimanfaatkan selama kultivasi) dan E (energi cahaya yang tersedia selama kultivasi) adalah sebagai berikut :

$$E_x = \frac{\int_0^t I_t dt}{\Delta X \cdot s} \quad E_x = \frac{\int_0^t (I_i - I_t) dt}{\Delta X \cdot s} \quad (3.9)$$

Dimana : ΔX = berat biomassa yang dihasilkan selama masa kultivasi (g/dm<sup>3</sup>)

s = jarak yang ditempuh cahaya di dalam kultur medium (m)

dengan demikian dapat dicari besarnya nilai efisiensi konversi energi cahaya untuk pembentukan biomassa (η<sub>bp</sub>) :

$$\eta_{bp} = \frac{E_x}{E} \times 100\% \quad (3.10)$$

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, akan dijelaskan mengenai pelaksanaan penelitian, hasil pengamatan, serta analisa dari hasil penelitian.

#### 4.1. Pembahasan Umum

Pada penelitian ini, mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dikultivasi dalam sebuah fotobioreaktor kolom gelembung dengan perlakuan filtrasi aliran sirkulasi media kultur ini untuk mengoptimalkan produksi biomasanya. Pembahasan mengenai hasil penelitian akan ditekankan pada pengaruh pengaturan kecepatan aliran hisap dalam perlakuan filtrasi terhadap peningkatan produksi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Penelitian ini dilakukan sesuai dengan saran dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Rachma Nuzulliany dalam skripsinya yang berjudul “ Perlakuan Filtrasi Aliran Sirkulasi Media Kultur untuk Peningkatan Produksi Biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Melalui Pencahayaan kontinyu dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung Skala Menengah” pada tahun 2008, dikatakan bahwa dari hasil penelitian, terbukti bahwa penggunaan filtrasi berhasil meningkatkan produksi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg biarpun dalam peningkatan yang relatif kecil, sehingga perlu dilakukannya observasi tentang kecepatan hisap optimum dari alat filter. Untuk itu, variabel-variabel yang menjadi bahasan hanya terbatas pada variabel yang merupakan parameter pertumbuhan.

Pada penelitian ini, digunakan strain *Chlorella vulgaris* Buitenzorg sebagai objek penelitian yang merupakan ganggang bersel tunggal yang didapat dari Balai Penelitian Perikanan Air Tawar Depok. Penamaan *nomenclature* Buitenzorg diambil untuk identitas jenis *Chlorella* ini karena berasal dari daerah bogor yang pada zaman Belanda disebut sebagai Buitenzorg (kota yang sejuk). Penelitian ini menggunakan fotobioreaktor kolom gelembung tembus cahaya skala menengah bervolume 18 L dengan ukuran reaktor (38,5 x 10 x 60) cm<sup>3</sup>. Ukuran tersebut digunakan karena reaktor didesain memiliki ukuran yang sangat tipis, hal ini bertujuan untuk membantu cahaya mudah tembus hingga ke belakang reaktor dan menghindari terjadinya self-shading (peristiwa penutupan satu sel oleh sel lain yang menyebabkan tidak meratanya cahaya dan CO<sub>2</sub> yang didapatkan oleh alga) saat kultur sudah semakin padat. Penggunaan kolom gelembung tembus cahaya dilakukan karena kolom ini merupakan peralatan yang sesuai untuk budidaya mikroorganisme fotosintesa karena

maksimalisasi peningkatan produksi dan penyediaan cahaya yang secara simultan memberikan laju produksi volumetrik yang tinggi dapat dilakukan pada reaktor ini (Wijanarko, 2006).

Pada fotobioreaktor kolom gelembung dilengkapi dengan filter yang terbuat dari busa berpori. Penggunaan filter ini bertujuan untuk menyerap sel biomassa yang dihasilkan dari pembelahan sel. Rangkaian filter ini disirkulasikan ke dalam reaktor kembali, pengembalian media yang melewati saringan ini berfungsi untuk menjaga volume medium dalam fotobioreaktor agar tetap. Dasar penggunaan filter ini adalah pengurangan sejumlah sel dari fotobioreaktor untuk mengurangi kepekatan sel di dalamnya. Pengurangan kepekatan sel ini akan berakibat pada bertambah besarnya peluang sel-sel yang ada di fotobioreaktor untuk mendapatkan cahaya yang cukup dan asupan nutrisi dari medium yang digunakan. Dengan berkurangnya kerapatan sel maka intensitas cahaya yang tembus hingga ke bagian belakang reaktor akan lebih besar. Selain itu penggunaan filter akan memperbesar jumlah biomassa yang dihasilkan. Jumlah biomassa yang dihasilkan menjadi jumlah yang ada dalam fotobioreaktor ditambahkan dengan yang didapatkan dari penyaringan di filter. Dengan metode pemanenan seperti ini diharapkan akan diperoleh jumlah biomassa yang lebih besar dibandingkan yang tanpa filter.

Untuk mengembangbiakan *Chlorella vulgaris* ini diperlukan sejumlah energi. Energi yang dibutuhkan adalah energi cahaya yang digunakan sel untuk berfotosintesis. Agar dapat menghitung kuantitas energi cahaya yang diperlukan selama proses perkembangbiakan maka fotobioreaktor bagian samping ditutup dengan menggunakan karton yang berwarna hitam. Hal ini bertujuan untuk menghindari adanya penyerapan energi cahaya pada bagian lain selain bagian yang memang seharusnya dikenai cahaya. Dengan menutup semua sisi kecuali bagian depan maka kita dapat menghitung dengan lebih teliti jumlah energi cahaya yang dibutuhkan dalam pembiakannya.

Sebelum dilakukannya percobaan, terlebih dahulu dilakukan pensterilan alat dengan mencuci bersih alat-alat yang akan digunakan, menyemprotnya dengan alkohol 70% dan kemudian menyinari dengan lampu UV selama  $\pm 7$  menit. Untuk alat-alat yang terbuat dari gelas dilakukan pembasuhan menggunakan air panas selama beberapa kali setelah tahap pencucian untuk membunuh kuman. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kontaminan yang ada pada alat-alat yang akan digunakan. Masalah kontaminan ini amat penting untuk diperhatikan mengingat amat rentannya *Chlorella vulgaris* Buitenzorg ini pada kontaminan dalam bentuk apapun. Keberadaan kontaminan dalam reaktor nantinya akan membunuh sel perlahan-lahan yang ditandai dengan menurunnya nilai *Optical Density* dari waktu ke waktu.

Saat reaktor sudah dimasuki kontaminan maka seluruh sel yang ada tidak dapat diselamatkan lagi dan penelitian harus diulang kembali. Hal ini disebabkan karena kontaminan yang ada tidak dapat dipisahkan dari sel dan medium.

Pada tahap awal penelitian, dilakukan penentuan kurva OD<sub>600</sub> Vs X. Penentuan kurva OD<sub>600</sub> Vs X ini bertujuan untuk memudahkan perhitungan terhadap berat kering sel selama masa kultivasi sehingga untuk mengetahui jumlah sel serta berat kering dari sampel cukup dengan mengetahui tingkat absorbansinya yang kemudian dihubungkan dengan kurva OD<sub>600</sub> Vs X. Hal ini membuat prosedur perhitungan maupun pengukuran yang dilakukan tidak membutuhkan waktu yang relatif lama. Kurva OD<sub>600</sub> Vs X yang digunakan pada penelitian ini merupakan kurva hasil penelitian Sang Made Kresna (2004). Panjang gelombang yang digunakan dalam pengukuran absorbansi adalah 600 nm, karena absorbansi dari *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada panjang gelombang ini paling tinggi jika dibandingkan pada panjang gelombang cahaya tampak lainnya.

Tahapan penelitian berikutnya adalah kultur terhadap *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dalam medium *Benneck*. Medium ini dipilih sebagai medium kultur *Chlorella vulgaris* Buitenzorg karena dalam medium ini banyak terdapat senyawa makro yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg secara optimal dalam fotobioreaktor, seperti NaNO<sub>3</sub>, MgSO<sub>4</sub> dan KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. Mg<sup>2+</sup> diperlukan dalam mengontrol proses pembelahan sel, sedangkan PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> dan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> sangat penting dalam pembentukan nukleat dan protein selama pertumbuhan sel. Selain itu, dipilihnya *Benneck* sebagai medium dalam penelitian ini karena *Benneck* telah terbukti mampu memberikan asupan nutrisi kepada *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada penelitian-penelitian sebelumnya.

Pembiakan medium kultur murni *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dalam medium *Benneck* (*pre-culture*) dilakukan untuk mempersiapkan mikroalga berada pada fase pertumbuhan eksponensial atau telah melewati fase adaptasi (*lag phase*) serta untuk membiasakan mikroalga pada kondisi operasi yang akan digunakan pada penelitian ini. Waktu *pre-culture* untuk tiap jenis mikroorganisme berbeda-beda, untuk *Chlorella vulgaris* adalah selama 48 jam (Wijanarko, 2006). Proses ini dilakukan dalam fotobioreaktor berukuran kecil dengan intensitas penyinaran yang cukup serta aliran udara tanpa CO<sub>2</sub> tambahan.

Langkah berikutnya adalah pembuatan kerapatan awal dari mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Pada tahap ini dilakukan variasi kerapatan sel sebagai kerapatan sel awal *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dalam fotobioreaktor, mulai dari ±0,71 g/L sampai ±4,28 g/L. Pembuatan starter ini dilakukan dengan menuangkan *Chlorella* dari hasil *pre-*

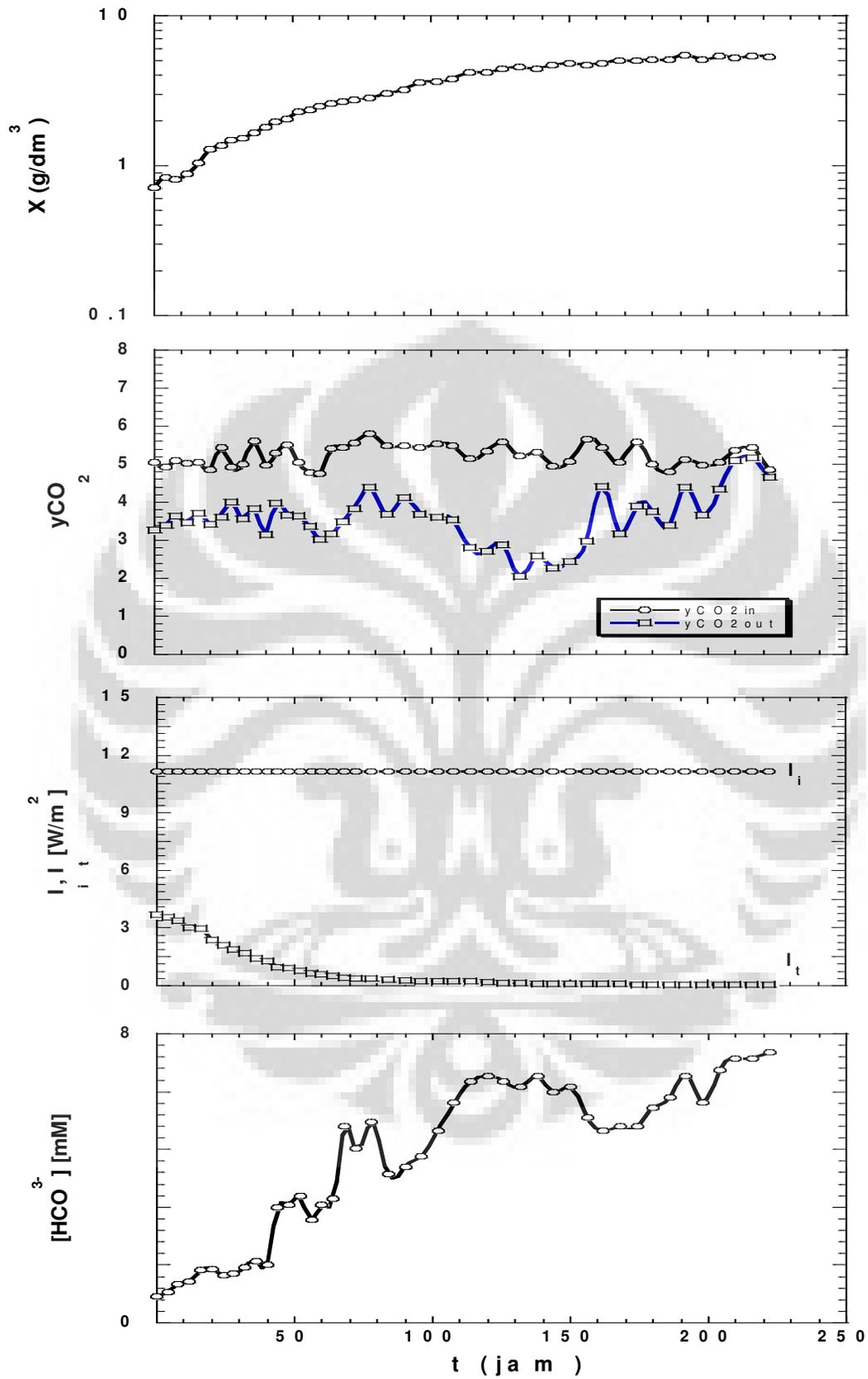
*culture* kemudian ditambahkan dengan medium *Benneck* sampai memiliki nilai absorbansi yang menunjukkan jumlah sel ( $X_{sel}$ ) sebanyak 0,71 g/L – 4,28 g/L. Kemudian dialirkan ke reaktor udara yang telah dicampur dengan CO<sub>2</sub> sebesar 5%. CO<sub>2</sub> inilah yang dibutuhkan pada proses fotosintesis. Jika jumlah CO<sub>2</sub> yang diberikan ini terlalu banyak maka akan berdampak buruk pada sel. Sel-sel akan mengalami *shear stress*, namun jika jumlah yang diberikan terlampaui sedikit maka kita akan sulit mendeteksinya dengan *Gas Chromatography*. Besar kecepatan superficial ini juga menentukan pertumbuhan sel dalam reaktor, jika terlalu besar maka sel-sel akan sulit untuk menangkap gas yang dilewatkan, namun jika terlalu lambat akan membuat medium jenuh akan CO<sub>2</sub>.

Setelah semua kondisi operasi ditetapkan, penelitian baru dapat dimulai. Data yang diambil mencakup OD<sub>sel</sub>, OD<sub>filtrat</sub>, pH, I<sub>back</sub>, y<sub>CO<sub>2</sub>in</sub> dan y<sub>CO<sub>2</sub>out</sub> untuk rentang waktu yang telah ditentukan. Data OD<sub>sel</sub> digunakan untuk melihat adanya peningkatan berat kering sel dalam masa kultivasi, data OD<sub>sel</sub> diambil setiap 4 jam sekali. Data OD<sub>filtrat</sub> digunakan untuk mengetahui berat kering sel yang terperangkap dalam filter yang bertujuan untuk mengurangi kepadatan dalam kultur, data OD<sub>filtrat</sub> diambil setiap 4 jam sekali, penentuan pengambilan filter ini didasarkan estimasi antara laju penyaringan dengan laju pertumbuhan sel dalam fotobioreaktor. Jika laju penyaringan ini lebih besar dari laju pertumbuhan sel maka akan ada pengurangan jumlah sel dalam fotobioreaktor secara periodik, hal ini berlawanan dengan yang diharapkan, yaitu pertumbuhan jumlah sel dari waktu ke waktu. Namun saat jumlah penyaringan jauh lebih kecil dari jumlah pertumbuhan maka akan dihasilkan pengaruh yang kurang signifikan terhadap efek shading dan perebutan nutrisi antar sel. pH digunakan untuk melakukan perhitungan terhadap konsentrasi substrat HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> yang terdapat dalam medium, sedangkan untuk mengetahui besarnya energi cahaya yang tersedia dan dikonversi untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg digunakan data I<sub>0</sub> dan I<sub>back</sub>, data y<sub>CO<sub>2</sub>in</sub> dan y<sub>CO<sub>2</sub>out</sub> digunakan untuk mengetahui seberapa besar CO<sub>2</sub> yang terfiksasi oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.

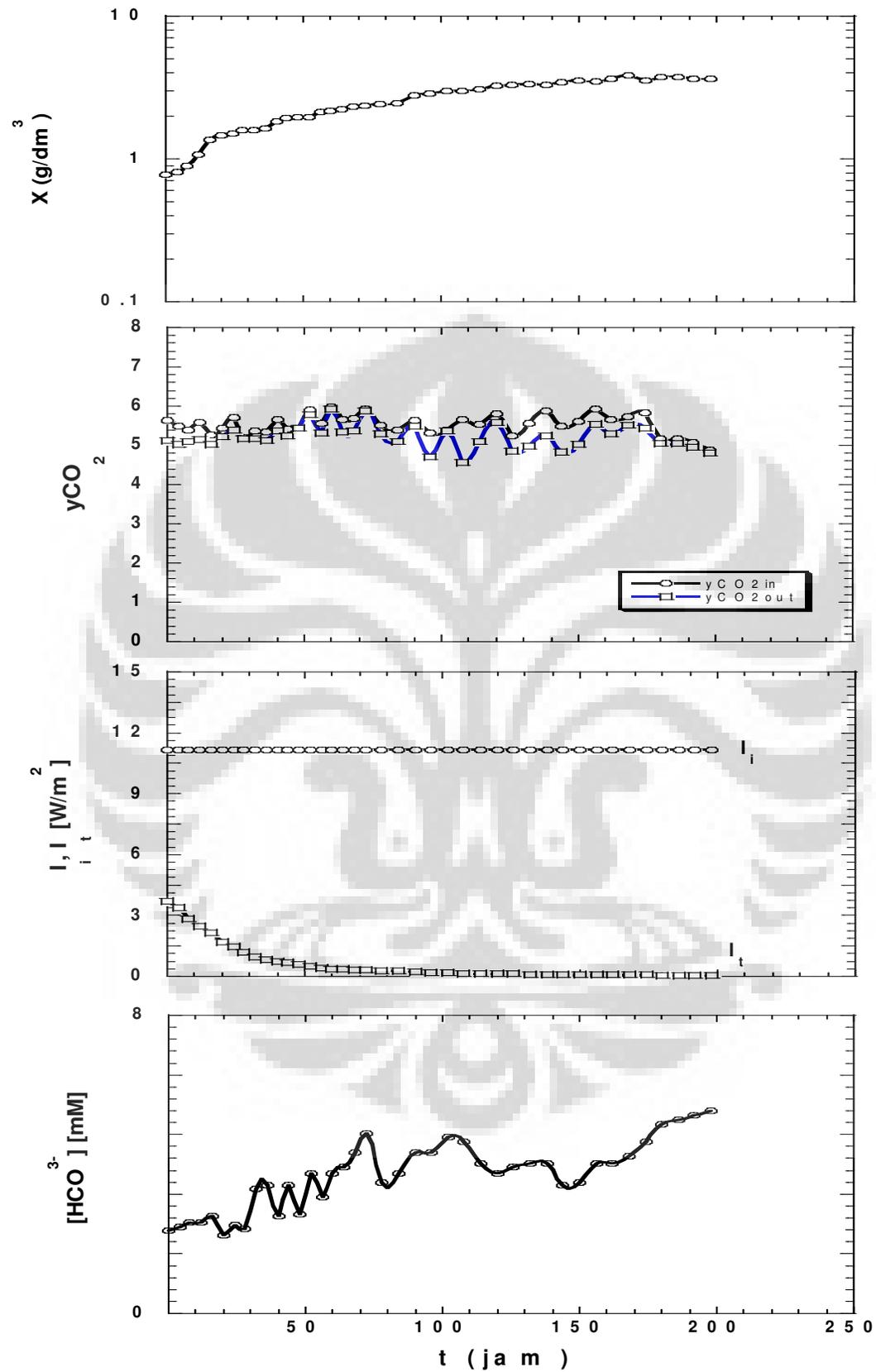
#### 4.2. Data Penelitian

Data hasil pengamatan yang didapat dari penelitian ini disajikan dalam dua bentuk yaitu data dalam bentuk angka dan data dalam bentuk grafik. Adapun data dalam bentuk angka akan disajikan dalam lampiran pada bagian akhir skripsi ini.

Berikut adalah data grafik yang didapat dari pengamatan terhadap reaktor dengan perlakuan filtrasi dan tanpa perlakuan filtrasi :



Gambar 4.1 Data Pengamatan Pada Perlakuan Kontinyu-Filtrasi

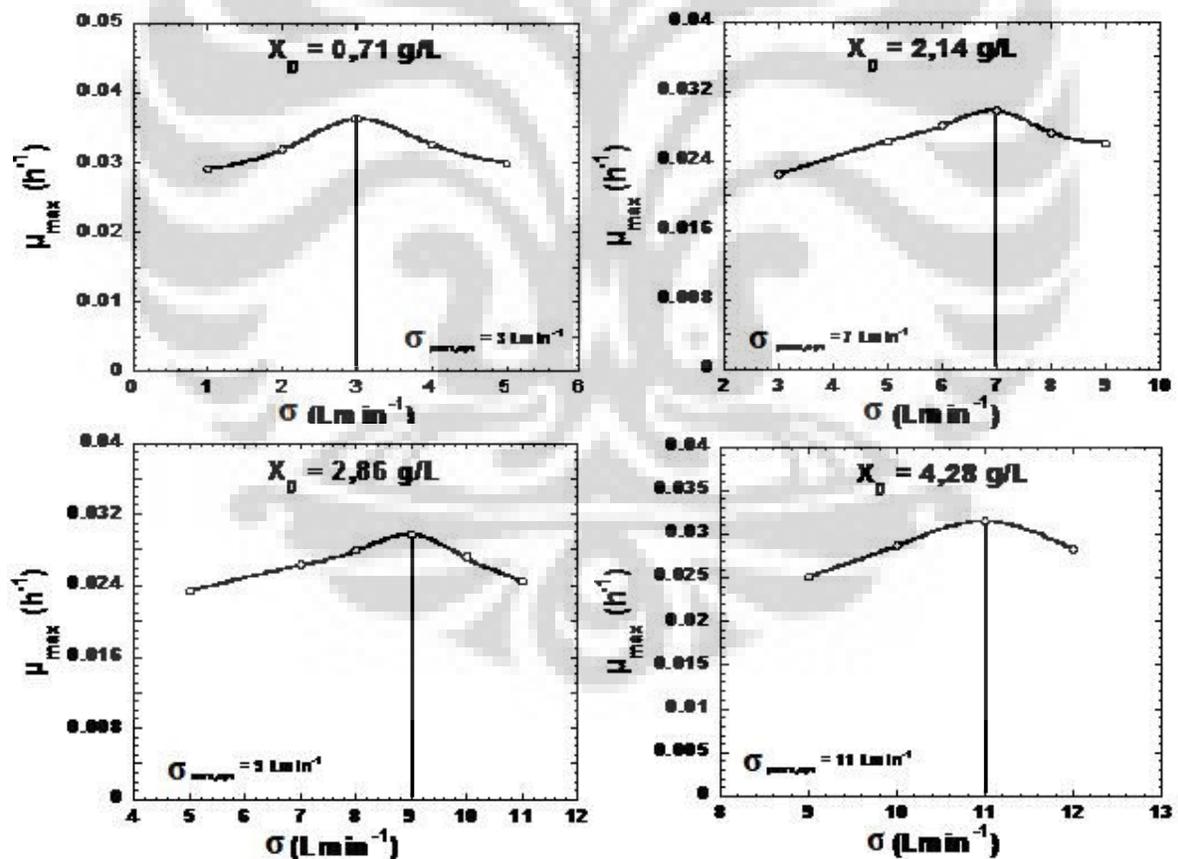


Gambar 4.2. Data Pengamatan Pada Perlakuan Kontinyu

### 4.3. Penentuan Kecepatan Aliran Hisap yang Memberikan Laju Pertumbuhan Spesifik Paling Maksimum ( $\sigma_{\mu_{max,opt}}$ ) pada kerapatan tertentu

Pada tahap pertama penelitian ini dilakukan kultivasi terhadap 4 variasi kerapatan sel ( $X_0$ ) *Chlorella vulgaris* Buitenzorg, yaitu  $\pm 0,71$  g/L;  $\pm 2,14$  g/L;  $2,86$  g/L;  $4,28$  g/L pada skala intensitas cahaya 5000 lx sampai 16000 lx dengan pengaturan kecepatan aliran hisap untuk memperoleh laju pertumbuhan spesifik paling maksimum pada inokulum tersebut.  $\sigma_{\mu_{max,opt}}$  akan didapatkan ketika laju pertumbuhan maksimum ( $\mu_{max}$ ) *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada kerapatan ( $X_0$ ) tertentu dalam fotobioreaktor kolom gelembung mencapai nilai optimum.

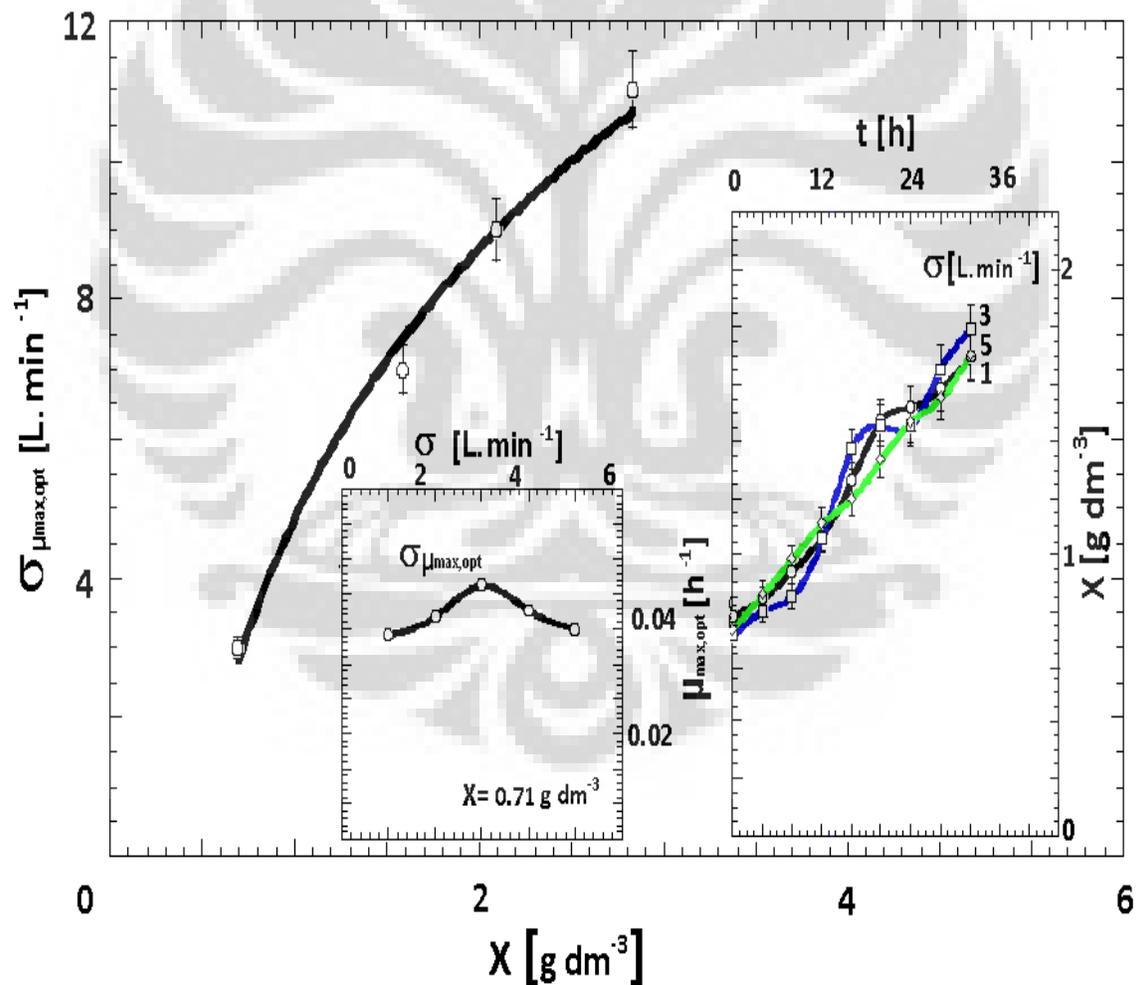
Setelah titik kecepatan aliran hisap paling maksimum ( $\sigma_{\mu_{max,opt}}$ ) tercapai, bila kecepatan aliran hisap terus dinaikan maka akan terjadi penurunan laju pertumbuhan sel, hal ini terlihat pada gambar 4.3, grafik berikut menunjukkan hubungan kecepatan aliran hisap ( $\sigma$ ) dengan laju pertumbuhan maksimum ( $\mu_{max}$ ) *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada  $X_0$  tertentu.



Gambar 4.3 Laju Pertumbuhan Maksimum ( $\mu_{max}$ ) pada Berbagai Kecepatan Aliran Hisap ( $\sigma$ ) pada Variasi Kerapatan Sel ( $X_0$ )

Kurva-kurva pada gambar 4.3 diperoleh dari plot nilai  $\mu_{\max}$  tiap variasi kecepatan aliran hisap ( $\sigma$ ) pada inokulum tertentu. Dari gambar terlihat bahwa semakin banyak jumlah inokulum, maka semakin besar pula kecepatan aliran hisap yang diperlukan untuk mendapatkan laju pertumbuhan paling maksimumnya. Ini membuktikan bahwa fotobioreaktor adalah suatu sistem yang homogen pada setiap titik dimana jumlah sel mikroalga tersebar secara merata, sehingga semakin tinggi inokulum diperlukan kecepatan aliran hisap yang lebih besar agar seluruh permukaan sel mendapatkan intensitas cahaya yang cukup.

Karena setiap kerapatan memiliki kecepatan aliran hisap untuk laju pertumbuhan paling maksimum ( $\sigma_{\mu_{\max, \text{opt}}}$ ) tertentu, maka dapat dibuat plot antara berat kering sel/biomassa ( $X$ ) dan  $\sigma_{\mu_{\max, \text{opt}}}$ , dapat dilihat sebagai berikut.



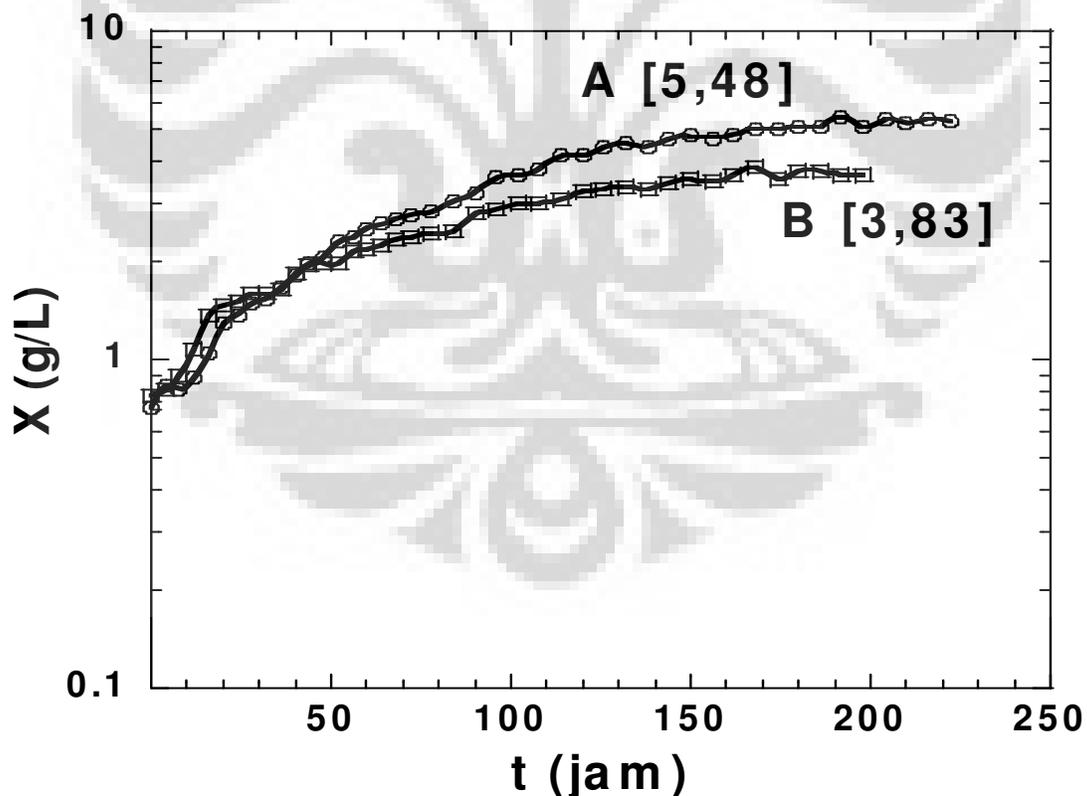
Gambar 4.4 Nilai  $\sigma_{\mu_{\max, \text{opt}}}$  pada Berbagai Berat Kering Sel ( $X$ )

Kurva ini akan menjadi acuan pada tahap pengaturan kecepatan hisap dimana kecepatan hisap akan menggunakan  $\sigma_{\mu_{max,opt}}$  dan akan selalu ditingkatkan sesuai dengan perkembangan produksi biomassa ( $X$ ) selama masa kultivasi

#### 4.4 Pengaruh Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Terhadap Produksi Biomassa ( $X$ ) *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Pada penelitian ini, digunakan kerapatan awal dengan berat kering ( $X$ )  $0,71 \text{ g/dm}^3$ ,  $\sigma_{\mu_{max,opt}}$  yang digunakan pada awal kulturisasi adalah  $3 \text{ L.min}^{-1}$  sesuai hasil penelitian tahap pertama. Untuk selanjutnya  $\sigma_{\mu_{max,opt}}$  akan ditingkatkan sesuai dengan kepadatan jumlah sel/biomassa pada kultur, peningkatan  $\sigma_{\mu_{max,opt}}$  ini berdasarkan grafik hasil penelitian tahap pertama (gambar 4.4) dengan pencahayaan kontinyu. Sebagai data pembanding dilakukan metode pencahayaan yang sama namun tanpa perlakuan filtrasi dengan jumlah berat kering yang hampir sama.

Grafik hubungan antara berat kering/biomassa ( $X$ ) terhadap waktu ( $t$ ) yang didapat dari penelitian ini sebagai berikut :



Gambar 4.5 Pengaruh Pengaturan Kecepatan Hisap dalam Perlakuan Filtrasi terhadap Produksi Biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

A : Filtrasi ; B : Tanpa Filtrasi

Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa pertumbuhan sel dengan perlakuan filtrasi pada awal masa kultivasi tidak jauh berbeda dengan pertumbuhan sel tanpa filtrasi. Namun, pertumbuhan pada reaktor dengan filtrasi meningkat cepat dalam waktu yang lebih singkat sehingga pada sekitar jam ke-60 dan seterusnya pertumbuhan sel pada reaktor tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor tanpa filtrasi. Secara keseluruhan, reaktor dengan sistem filtrasi menghasilkan pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan dengan reaktor tanpa sistem filtrasi. Hasil perhitungan berat kering sel ( $X_f$ ) adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.1 Perolehan Berat kering Sel Akhir**

Jenis Reaktor	$X_f$ (g/dm <sup>3</sup> )
Filtrasi	5.48
Tanpa Filtrasi	3.83

Dari tabel 4.1 terlihat bahwa produksi biomassa akhir yang dihasilkan pada reaktor dengan sistem kontinu-filtrasi lebih banyak dibandingkan dengan reaktor tanpa filtrasi (kontinyu). Hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa pengaturan kecepatan hisap dalam perlakuan filtrasi mampu memberikan peningkatan terhadap biomassa yang dihasilkan sekitar 1,43 kali lipat dibandingkan dengan reaktor tanpa filtrasi atau mengalami peningkatan sebesar 43 %. Hal ini karena dengan adanya pengaturan kecepatan hisap dalam perlakuan filtrasi dapat mengurangi efek *self shading* (terjadinya peningkatan kerapatan sel koloni *Chlorella vulgaris* Buitenzorg yang mengakibatkan penerimaan cahaya oleh sel pada seluruh bagian reaktor tidak merata). Data dan perhitungan mengenai grafik diatas dapat dilihat pada lampiran.

Kemudian dari beberapa variabel penelitian yang diambil seperti pH, Ib dan  $y_{CO_2}$ , dapat dibahas beberapa parameter penelitian lain seperti  $q_{CO_2}$ , CTR, CUR,  $[HCO_3^-]$ ,  $E_x$  dan  $\eta_{bp}$ .

#### **4.4.1 Pengaruh Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Terhadap Laju Pertumbuhan ( $\mu$ ) *Chlorella vulgaris* Buitenzorg**

Laju pertumbuhan produksi biomassa pada media kultur seharusnya berada dalam fase logaritmik dimana laju pertumbuhan berada pada titik maksimal lalu seiring bertambahnya waktu akan terus menurun hingga memasuki fasa stasioner. Fenomena ini juga dapat dipahami dari persamaan yang digunakan untuk menentukan laju pertumbuhan ( $\mu$ ), yaitu :

$$\mu = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} \quad (4.1)$$

dimana :

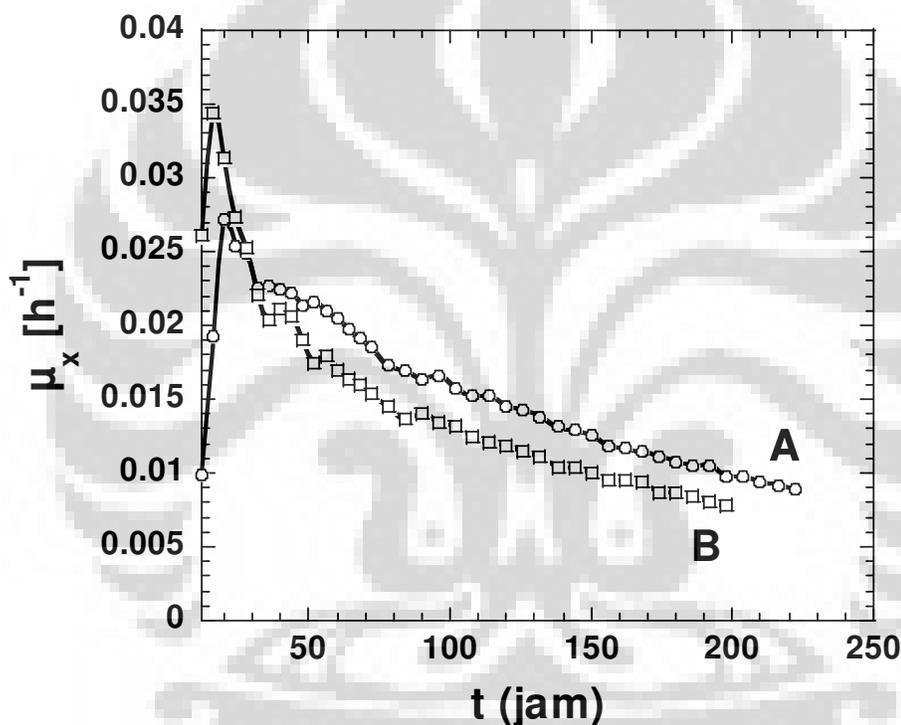
$\mu$  = laju pertumbuhan spesifik ( $h^{-1}$ )

$N$  = jumlah sel ( $sel/cm^3$ )

$X$  = berat kering sel/biomassa ( $g/dm^3$ )

$t$  = waktu (h)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa nilai  $\mu$  berbanding terbalik dengan berat kering yang dihasilkan pada rentang tertentu sehingga semakin banyak biomassa yang dihasilkan maka  $\mu$  akan semakin kecil. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



**Gambar 4.6 Perbandingan  $\mu$  Vs Waktu pada Reaktor dengan Perlakuan Filtrasi dan Tanpa Perlakuan Filtrasi**  
**A : Filtrasi ; B : Tanpa Filtrasi**

Dari gambar 4.6 terlihat bahwa terdapat perbedaan laju pertumbuhan maksimum pada awal kultivasi dimana laju pertumbuhan maksimum pada reaktor tanpa filtrasi lebih tinggi dibandingkan pada reaktor dengan filtrasi. Hal ini karena pada awal kultivasi, sel pada reaktor dengan filtrasi tersaring oleh filter padahal sel pada medium belum padat. Pada jam-jam berikutnya, dapat dilihat bahwa laju pertumbuhan pada reaktor dengan filtrasi lebih baik dibandingkan pada reaktor tanpa filtrasi karena dengan kepadatan yang selalu dikurangi

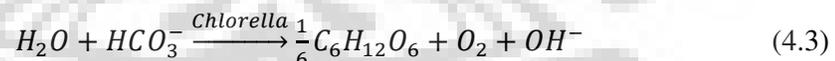
dengan adanya filter, tingkat kompetisi antar sel untuk memperebutkan nutrisi dan sumber pencahayaan jauh lebih rendah sehingga sel-sel mampu melakukan metabolisme secara maksimal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan reaktor dengan filtrasi untuk kultivasi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg memberikan laju pertumbuhan maksimum yang lebih rendah dibandingkan reaktor tanpa filtrasi pada masa awal kultivasi namun secara keseluruhan laju pertumbuhannya lebih baik.

#### 4.4.2 Pengaruh Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Terhadap $[HCO_3^-]$ dalam Medium

Perhitungan terhadap  $[HCO_3^-]$  bertujuan untuk mengetahui jumlah  $[HCO_3^-]$  yang tersedia dan dapat dikonsumsi oleh sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg untuk metabolismenya. Ion ini terbentuk karena adanya reaksi antara  $CO_2$  yang terlarut dalam larutan medium dengan air.  $[HCO_3^-]$  dihitung dari perubahan pH kultur yang terjadi sebagai akibat adanya aktivitas pertumbuhan sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Dari hasil penelitian yang pernah dilakukan, menunjukkan bahwa peningkatan jumlah sel dalam kultur cenderung meningkatkan jumlah pH kultur. Pada saat gas  $CO_2$  mengalir ke dalam kultur, proses yang terjadi adalah pembentukan senyawa bikarbonat seperti pada reaksi berikut :



Senyawa bikarbonat inilah yang kemudian diserap oleh sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Proses metabolisme yang terjadi dalam sel selanjutnya adalah reaksi antara senyawa bikarbonat dengan air yang terdapat dalam sel membentuk senyawa organik seperti glukosa dan ion  $OH^-$ , seperti yang tergambar pada reaksi berikut ini :



Dengan menggunakan pendekatan hukum Henry, dapat dicari besarnya  $[HCO_3^-]$  yang terbentuk dalam kultur yaitu:

$$[HCO_3^-] = \left( \frac{K_{CO_2,0}}{H_{CO_2,0}} \right) \times \left( \frac{y_{CO_2} P_T}{10^{-pH}} \right) \times \left( \frac{\text{EXP} \left[ A_K \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_K \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) + C_K \left( \frac{T}{T_0} - 1 \right) \right]}{\text{EXP} \left[ A_H \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_H \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) + C_H \left( \frac{T}{T_0} - 1 \right) \right]} \right) \quad (4.4)$$

Dengan nilai :

$$P_T \text{ (ambient pressure)} = 1.0 \text{ atm} = 101.25 \text{ kPa}$$

$$y_{CO_2} = 0.05$$

$$K_{CO_2,0} = 4.38 * 10^{-7}$$

$$H_{CO_2,0} = 2900 \text{ (kPa.kg/mol)}$$

$$T \text{ (ambient temperature)} = 29^\circ\text{C} = 302 \text{ }^\circ\text{K}$$

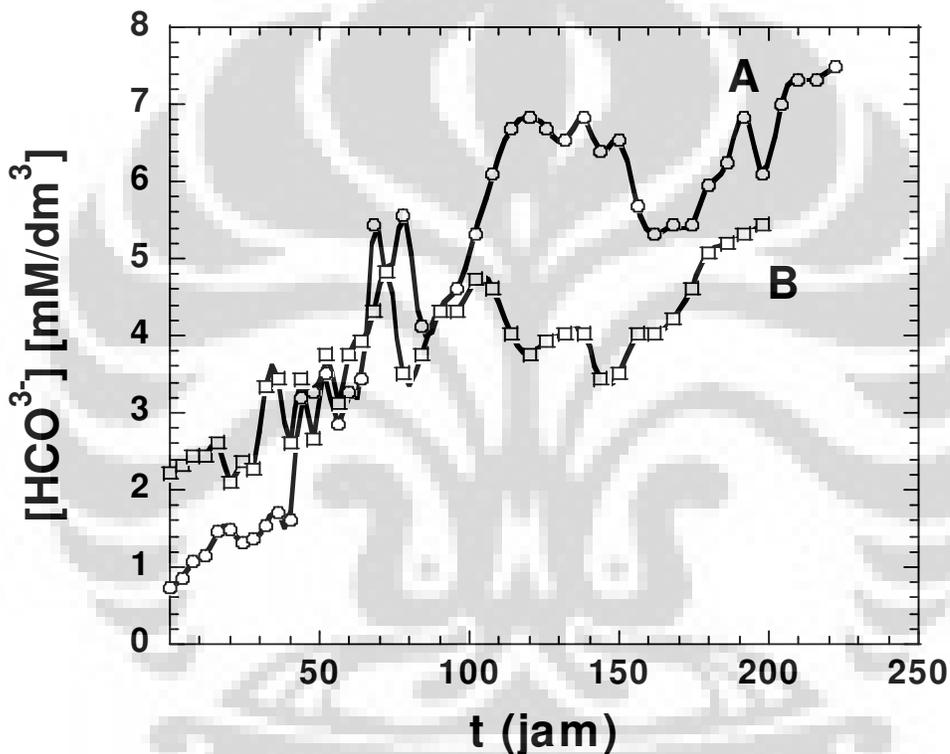
$$T_o = 298.15 \text{ }^\circ\text{K}$$

dan konstanta pada persamaan *Handerson-Hasellbach* ini:

$$A_K = 40.557 \quad B_K = -36.782 \quad C_K = 0$$

$$A_H = 22.771 \quad B_H = -11.452 \quad C_H = -3.117$$

Grafik hubungan antara  $[\text{HCO}_3^-]$  terhadap waktu yang didapat dari penelitian ini sebagai berikut :



**Gambar 4.7 Pengaruh Pengaturan Kecepatan Hisap dalam Perlakuan Filtrasi terhadap  $[\text{HCO}_3^-]$  Pada Kultur**

**A : Filtrasi ; B : Tanpa Filtrasi**

Karena besarnya konsentrasi spesi ion  $[\text{HCO}_3^-]$  sebanding dengan besarnya nilai pH, maka nilai  $[\text{HCO}_3^-]$  akan semakin besar dengan naiknya nilai pH dalam medium kultur.

Dari gambar 4.7 terlihat bahwa  $[\text{HCO}_3^-]$  pada reaktor dengan filter menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan  $[\text{HCO}_3^-]$  pada reaktor tanpa filter, hal ini dapat disimpulkan bahwa pada pengaturan kecepatan hisap dalam perlakuan filtrasi dengan pencahayaan tetap dengan kerapatan sel  $0,71 \text{ g/dm}^3$  mengalami peningkatan dibandingkan

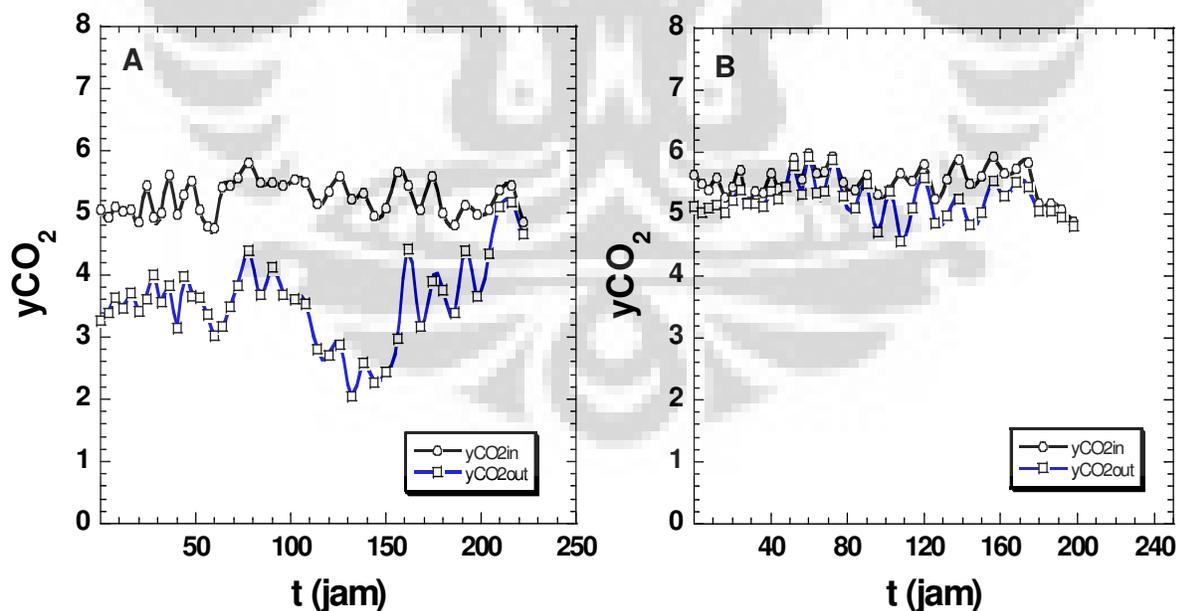
dengan reaktor tanpa filter dengan pencahayaan dan kerapatan biomassa yang sama. Ini sejalan dengan fakta bahwa pada pengaturan kecepatan hisap dalam perlakuan filtrasi aktivitas sel yang terjadi lebih baik dibandingkan dengan reaktor tanpa filter. Data dan hasil perhitungan  $[\text{HCO}_3^-]$  dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.4.3 Pengaruh Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Terhadap Fiksasi $\text{CO}_2$ oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Untuk dapat melihat pengaruh dari pengaturan kecepatan hisap dalam perlakuan filtrasi terhadap fiksasi  $\text{CO}_2$  oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg secara lebih detail maka pembahasan akan dilakukan terhadap beberapa variabel yang mempengaruhi fiksasi  $\text{CO}_2$  oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg, antara lain :

##### 4.4.3.1 Pengaruh Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Terhadap $y_{\text{CO}_2}$ oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Fiksasi  $\text{CO}_2$  di dalam bioreaktor tembus cahaya pertama-tama ditunjukkan oleh adanya perbedaan konsentrasi inlet dan outlet  $\text{CO}_2$ , adanya perbedaan konsentrasi  $\text{CO}_2$  yang masuk dan keluar reaktor dalam penelitian ini telah membuktikan adanya proses transfer gas  $\text{CO}_2$  dari udara ke medium kultivasi. Grafik hubungan antara Konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  ( $y_{\text{CO}_2}$ ) terhadap waktu (t) yang didapat dari penelitian ini sebagai berikut :



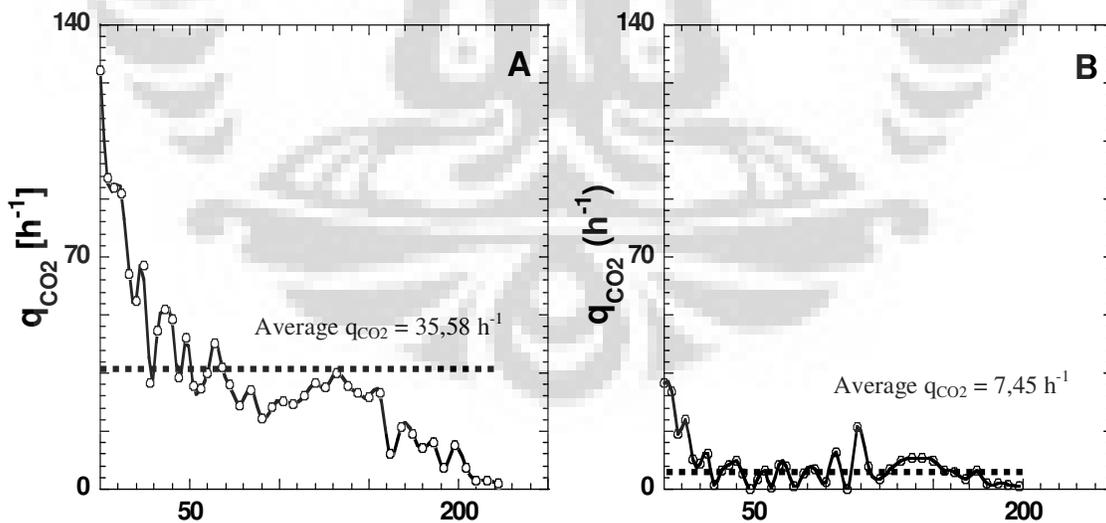
Gambar 4.8 Konsentrasi Gas  $\text{CO}_2$  ( $y_{\text{CO}_2}$ ) yang Masuk dan Keluar Reaktor

A : Filtrasi ; B : Tanpa Filtrasi

Dari gambar 4.8 terlihat banyaknya fraksi jumlah  $\text{CO}_2$  yang terfiksasi dibandingkan dengan jumlah  $\text{CO}_2$  yang masuk ke dalam reaktor. Secara grafik terlihat adanya fluktuasi nilai  $y_{\text{CO}_2}$  selama masa kultivasi. Hal ini disebabkan karena tidak stabilnya air flow yang digunakan untuk memompakan udara dan  $\text{CO}_2$ . Meskipun flowmeter juga digunakan untuk mengatur laju alir sehingga udara yang masuk ke dalam reaktor mempunyai laju alir yang tetap tetapi ternyata setiap saat alat ini perlu penyesuaian agar nilainya konstan yang disebabkan oleh fluktuatifnya cara kerja air flow. Gambaran secara umum pada gambar 4.8 terlihat bahwa sistem reaktor kontinyu-filtrasi memiliki Kemampuan fiksasi  $\text{CO}_2$  yang lebih baik dibandingkan dengan sistem reaktor tanpa filtrasi dengan pencahayaan dan jumlah inokulum yang sama.

#### 4.4.3.2 Pengaruh Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Terhadap Laju Fiksasi Karbondioksida oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

$q_{\text{CO}_2}$  adalah laju gas  $\text{CO}_2$  yang ditransfer dalam suatu volume medium karena adanya aktivitas kehidupan biologi dalam satu satuan waktu tertentu. Nilai  $q_{\text{CO}_2}$  didapatkan dari pengolahan data CTR di mana nilai  $q_{\text{CO}_2}$  dapat didefinisikan sebagai CTR per satuan biomassa (Wijanarko et al, 2004). Kurva kecenderungan  $q_{\text{CO}_2}$  terhadap waktu diperlihatkan pada gambar 4.9 dibawah ini :



**Gambar 4.9 Pengaruh Pengaturan Kecepatan Hisap dalam Perlakuan Filtrasi terhadap Laju Fiksasi Karbondioksida ( $q_{\text{CO}_2}$ )**  
**A : Filtrasi ; B : Tanpa Filtrasi**

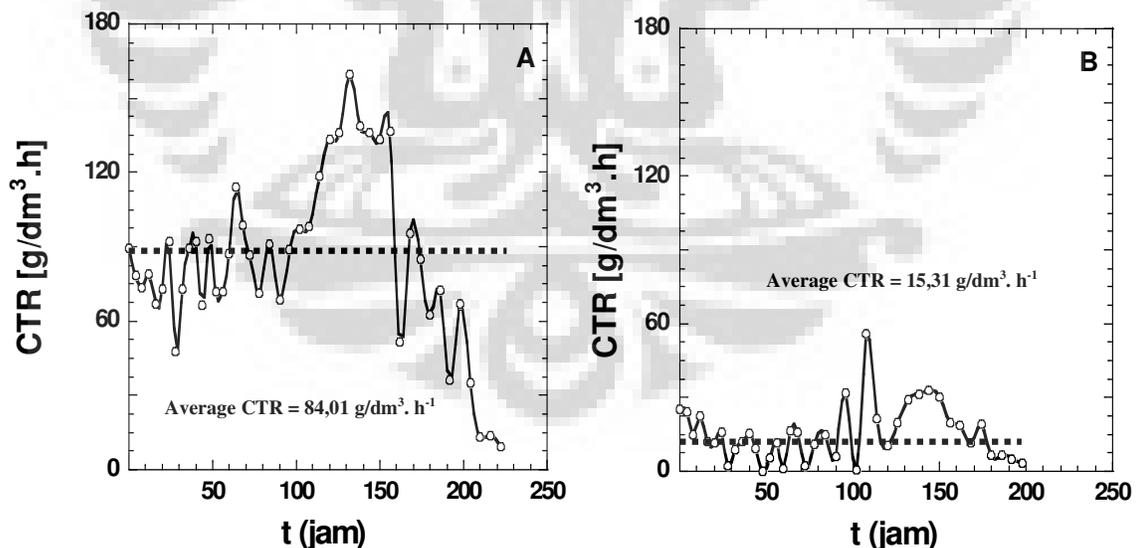
Dari gambar 4.9 terlihat bahwa perlakuan filtrasi mempengaruhi laju fiksasi  $\text{CO}_2$  *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Semakin banyak pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg, di dalam fotobioreaktor maka  $q_{\text{CO}_2}$  akan semakin kecil. Penurunan ini akibat dari ketidakseimbangan antara peningkatan jumlah sel selama masa kultivasi dengan besarnya konsentrasi  $\text{CO}_2$  yang difiksasi. Karena hal inilah fiksasi  $\text{CO}_2$  semakin kecil. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa nilai rata-rata  $q_{\text{CO}_2}$  yang digunakan untuk aktivitas biologi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada pengaturan kecepatan hisap dalam perlakuan filtrasi lebih besar dibandingkan dengan reaktor tanpa filtrasi. Data dan hasil perhitungan mengenai  $q_{\text{CO}_2}$  dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.4.3.3 Pengaruh Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Terhadap CTR dan CUR

CTR (*Carbon Transfer Rate*) merupakan banyaknya gas  $\text{CO}_2$  yang ditransferkan dalam suatu volume medium kultur yang dibutuhkan oleh metabolisme sel selama satu satuan waktu tertentu (Wijanarko et al, 1997). Nilai CTR didapatkan dari selisih konsentrasi  $\text{CO}_2$  masukan dan keluaran ( $\Delta y_{\text{CO}_2}$ ) dikalikan dengan koefisien transfer spesifik dari  $\text{CO}_2$  ( $\alpha_{\text{CO}_2}$ ). Nilai CTR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\text{CTR} = \Delta y_{\text{CO}_2} \cdot \alpha_{\text{CO}_2} \quad (4.5)$$

Kurva kecenderungan CTR sebagai fungsi waktu dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

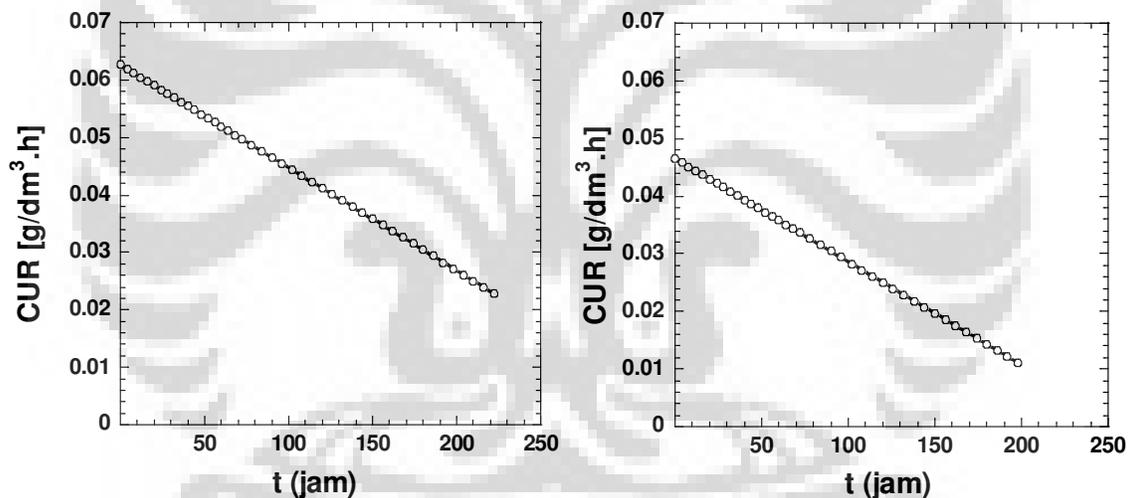


**Gambar 4.10 Pengaruh Pengaturan Kecepatan Hisap dalam Perlakuan Filtrasi terhadap CTR**

**A : Filtrasi ; B : Tanpa Filtrasi**

Dari gambar 4.10 dapat dilihat bahwa Pada awal pertumbuhan nilai CTR cukup tinggi karena terjadi transfer atau konsumsi gas CO<sub>2</sub> ke dalam medium oleh mikroalga untuk keperluan metabolisme sel. Nilai CTR berbanding lurus dengan  $\Delta y_{CO_2}$ , sehingga seiring dengan pertambahan waktu nilai CTR cenderung turun akibat tidak seimbanginya peningkatan jumlah sel dengan besarnya fiksasi konsentrasi CO<sub>2</sub>. Medium lama-kelamaan akan jenuh dengan CO<sub>2</sub> terlarut karena sel dapat memproduksi sumber karbonnya sendiri. Gas CO<sub>2</sub> yang dialirkan tidak lagi terserap oleh mikroalga dan sebagian besar lewat begitu saja menuju outlet. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa nilai CTR rata-rata pada perlakuan filtrasi lebih besar dibandingkan dengan perlakuan tanpa filtrasi, hal ini menunjukkan bahwa kemampuan fiksasi CO<sub>2</sub> pada perlakuan filtrasi lebih baik dibandingkan dengan tanpa perlakuan filtrasi.

CUR (Carbon Uptake Rate) merupakan laju penggabungan CO<sub>2</sub> menjadi suatu biomaterial yang ditentukan berdasarkan laju pertumbuhan (Ohtaguchi et al, 1997). Kurva kecenderungan CUR sebagai fungsi waktu dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



**Gambar 4.11 Pengaruh Pengaturan Kecepatan Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Terhadap Model CUR (Carbon Uptake Rate)**  
**A : Filtrasi ; B : Tanpa Filtrasi**

Nilai CUR didapatkan dengan mengalikan suatu faktor yang didapat dari pengujian *elemental analysis* dengan nilai  $dX/dt$ , seperti terlihat pada gambar 4.11. Nilai CUR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

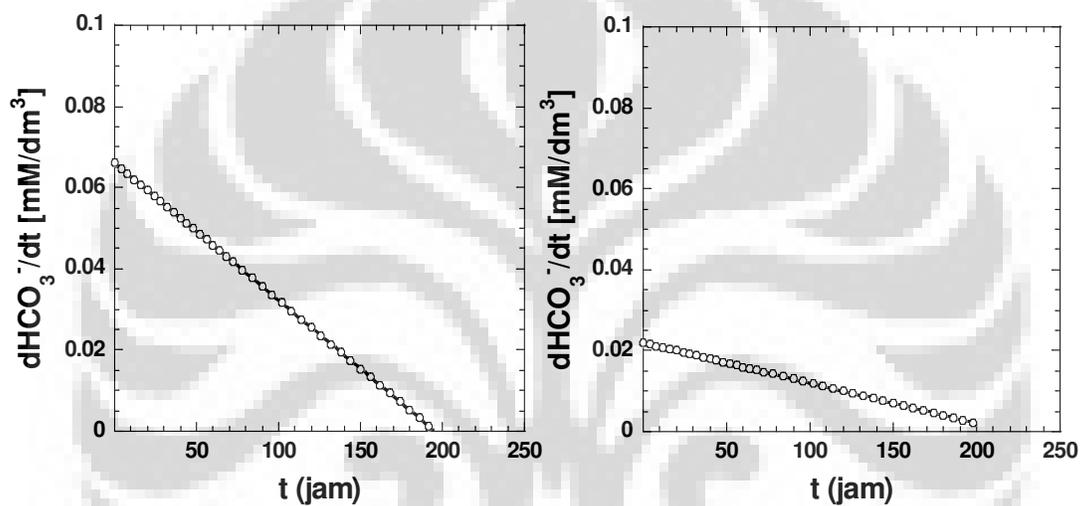
$$CUR = \frac{44}{\beta} \cdot \frac{dX}{dt} \quad (4.6)$$

Dimana  $\beta$  merupakan berat dari formula sel. Rumus formula sel dari *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dapat diketahui dengan elemental analysis sebagai CH<sub>3,3</sub>N<sub>0,203</sub>O<sub>0,322</sub>P<sub>0,041</sub>

dalam medium Benneck sedangkan nilai  $dX/dt$  didapatkan dengan memplot data waktu kultivasi dan  $X$ .

Dari gambar 4.11 terlihat bahwa nilai CUR pada perlakuan filtrasi menunjukkan hasil yang lebih besar dibandingkan dengan nilai CUR pada perlakuan tanpa filtrasi hal ini menunjukkan bahwa laju *uptake*  $CO_2$  dari sel yang digunakan untuk pertumbuhan pada perlakuan filtrasi lebih baik dibandingkan dengan tanpa perlakuan filtrasi.

$dHCO_3^-/dt$  merupakan laju  $CO_2$  yang terakumulasi di dalam medium kultur yang digunakan untuk pertumbuhan, nilai  $dHCO_3^-/dt$  didapatkan dengan memplot data waktu kultivasi dan  $[HCO_3^-]$ , seperti terlihat pada gambar dibawah ini:

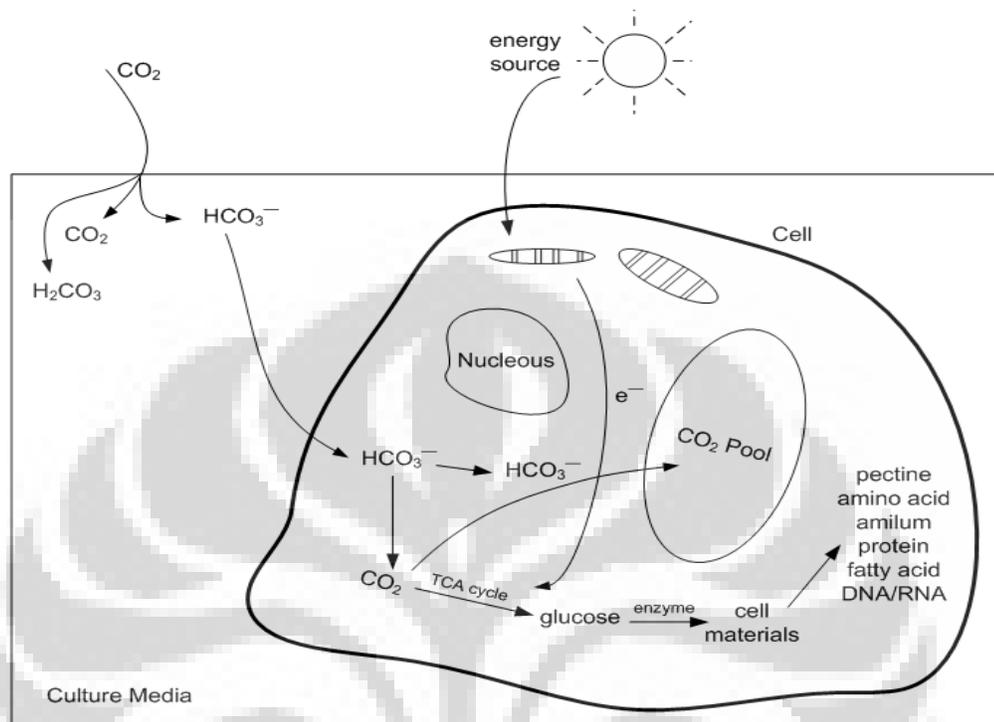


**Gambar 4.12 Pengaruh Pengaturan Kecepatan Hisap dalam Perlakuan Filtrasi terhadap Nilai Model  $dHCO_3^-/dt$**   
**A : Kontinyu-Filtrasi ; B : Kontinyu**

Dari gambar 4.10 terlihat bahwa nilai  $dHCO_3^-/dt$  pada perlakuan filtrasi menunjukkan hasil yang lebih besar dibandingkan dengan nilai  $dHCO_3^-/dt$  pada perlakuan tanpa filtrasi hal ini menunjukkan bahwa laju  $CO_2$  yang terakumulasi dalam medium kultur yang digunakan untuk pertumbuhan pada perlakuan filtrasi lebih baik dibandingkan dengan tanpa perlakuan filtrasi.

Dari gambar 4.9, 4.10, 4.11 dan 4.12 dapat disimpulkan bahwa kemampuan fiksasi  $CO_2$  pada perlakuan filtrasi menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan tanpa perlakuan filtrasi, tingginya nilai CTR maupun  $q_{CO_2}$  pada perlakuan filtrasi dengan pengaturan kecepatan hisap ini terjadi akibat mekanisme akumulasi  $CO_2$  (CCM,

*Carbondioxide Concentrating Mechanism*) intra sel mikro alga eukariotik *Chlorella vulgaris* Buitenzorg terjadi seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.11 dibawah ini.



**Gambar 4.13 Mekanisme Akumulasi CO<sub>2</sub> intra sel (Kaplan et al, 1980)**

Sel eukariotik memiliki vakuola yang dapat berfungsi juga sebagai organel pengakumulasi CO<sub>2</sub> intra sel (*CO<sub>2</sub> pool*) sehingga selama selang pertumbuhannya CO<sub>2</sub> yang diabsorpsi sel relatif lebih besar dibandingkan pada mikro alga prokariotik. Hal ini terjadi karena CO<sub>2</sub> itu selain dipergunakan untuk produksi biomassa dalam siklus TCA berikut reaksi enzimatis lainnya, juga diakumulasikan dalam vakuola sebagai cadangan intra sel yang dipergunakan kembali dalam produksi biomassa pada saat transfer CO<sub>2</sub> dari fase gas dalam gelembung udara pengaerasi ke kultur media terhenti (pH kultur media tetap) akibat terjadinya penjenuhan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> dalam kultur media. Mekanisme ini mendorong absorpsi HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ekstraselular oleh sel seiring dengan peningkatan laju pertumbuhan pada perlakuan pengaturan kecepatan hisap. Peristiwa peningkatan laju absorpsi sel terhadap HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ekstraselular dalam kultur media ini secara bersamaan diikuti dengan peningkatan laju transfer CO<sub>2</sub> dari fase gas dalam gelembung udara pengaerasi ke kultur media (CTR) sebagai konsekuensi kesetimbangan CO<sub>2</sub> – HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> dalam kultur media (Wijanarko A et, al 2004).

#### 4.3.4 Pengaruh Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap dalam Perlakuan Filtrasi Terhadap Besarnya Energi Cahaya Untuk Produksi Biomassa ( $E_x$ )

Proses pertumbuhan mikroalga sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang merupakan sumber energi dalam proses fotosintesis. Besarnya energi yang diperlukan untuk proses metabolisme sel sangat tergantung dari besarnya intensitas cahaya yang digunakan serta kondisi fotobioreaktor yang digunakan. Semakin besar intensitas cahaya yang digunakan maka proses metabolisme akan berlangsung lebih optimal dan semakin baik kondisi fotobioreaktor maka semakin tinggi pula konversi energi cahaya untuk pembentukan biomassa. Tetapi nilai efisiensi kebutuhan energi cahaya pada pembentukan biomassa bergantung pada seberapa besar energi cahaya yang tersedia, besar energi cahaya yang terpakai, dan hasil biomassa yang diproduksi.

Besarnya efisiensi penyerapan cahaya ( $\alpha$ ) oleh permukaan kaca pada reaktor dengan filtrasi sebesar 0,758 dan reaktor tanpa filtrasi 0,757. Efisiensi tersebut digunakan untuk mengetahui besarnya intensitas cahaya yang diterima oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg bagian depan fotobioreaktor.

Dari data  $I_0$  dan  $I_b$  yang diambil dalam penelitian maka dapat dihitung nilai intensitas cahaya yang diberikan ( $I_i$ ) dan intensitas cahaya yang ditransmisikan ( $I_t$ ) pada pencahayaan periodik siklus harian, yang kemudian digunakan untuk menghitung energi yang digunakan untuk produksi biomassa ( $E_x$ ). Tabel berikut adalah besarnya energi cahaya yang digunakan untuk produksi biomassa dari kedua jenis reaktor yang digunakan :

**Tabel 4.2 Nilai  $E_x$  dan  $\eta_{bp}$  yang Diperoleh pada Penelitian**

Jenis Reaktor	$E_x$ (kJ/kg)	$\eta_{bp}$ (%)
Filtrasi	1089,1	2,82
Tanpa Filtrasi	1327,9	1,71

Dari tabel tersebut, dapat dilihat bahwa efisiensi energi cahaya yang terjadi pada reaktor dengan filtrasi lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor tanpa filtrasi. Hal ini disebabkan karena efek self-shading yang lebih kecil pada reaktor dengan filtrasi sehingga distribusi cahaya lebih optimal. Hal ini diindikasikan dengan lebih besarnya cahaya yang ditransmisikan oleh sel pada reaktor dengan filtrasi dibanding reaktor tanpa filtrasi pada rentang waktu yang sama. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa reaktor dengan filtrasi memberikan efisiensi konversi energi cahaya yang lebih baik daripada reaktor tanpa filtrasi.

Setelah dilakukan uji lebih mendalam mengenai sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg selain mempunyai kemampuan memfiksasi karbondioksida ternyata mempunyai manfaat sebagai makanan tambahan hal itu dibuktikan dengan terdapatnya kandungan klorofil dan  $\beta$ -karoten dalam sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg, kandungan klorofil di dalam *Chlorella vulgaris* Buitenzorg mempunyai kandungan klorofil yang lebih tinggi dibandingkan dengan tumbuhan hijau lainnya, Klorofil yang fungsinya dalam tanaman sebagai pembentuk bahan makanan, akan bermanfaat jika dikonsumsi untuk membuang racun (detoksifikasi), merangsang pembentukan haemoglobin, sebagai antioksidan, mempercepat penyembuhan luka, mengurangi aroma tubuh yang tidak sedap serta membantu memperbaiki pencernaan. Kandungan beta-karoten dalam sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg lebih tinggi dibandingkan dengan wortel, pepaya atau tomat. Beta-karoten dikenal sebagai antioksidan, penangkal radikal bebas dan pencegah kanker, merangsang sistem kekebalan tubuh serta sumber vit A. Hasil uji *pre-culture* dan *culture* dari *Chlorella vulgaris* Buitenzorg untuk klorofil dan  $\beta$ -karoten disajikan dalam tabel berikut ini.

**Tabel 4.3. Tabel kandungan pigmen dalam biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg**

Jenis	Analisa	$\beta$ karoten (ppm)	Klorofil (ppm)	Keterangan
<i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg	<i>Pre-culture</i>	11,54	23,1	Nilai rerata pigmen
	<i>Culture</i>	9,42	21,8	
			33,0-112,0	7,0-27,0

\*([www.gtamart.com](http://www.gtamart.com))

Selain sebagai makanan tambahan sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pun berpotensi sebagai sumber alternatif yang dapat diperbaharui (biodiesel), Semua jenis alga memiliki komposisi kimia sel yang terdiri dari protein, karbohidrat, lemak (*fatty acids*) dan *nucleic acids*. Prosentase keempat komponen tersebut bervariasi tergantung jenis alga. Ada jenis alga yang memiliki komponen *fatty acids* lebih dari 40%. Dari komponen *fatty acids* inilah yang akan diekstraksi dan diubah menjadi biodiesel. Dapat dilihat pada Tabel 4.3, kandungan lemak pada beberapa jenis alga:

**Tabel 4.4. Kandungan Lemak pada Beberapa Jenis Alga Ditunjukkan dalam Zat Kering (%)**

Species	Kandungan Lemak (%)
<i>Scenedesmus obliquus</i>	12-14
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1,9
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	16-40
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	21
<i>Chlorella vulgaris</i>	14-22
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	2
<i>Spirogyra sp.</i>	11-21
<i>Dunaliella bioculata</i>	8
<i>Dunaliella salina</i>	6
<i>Euglena gracilis</i>	14-20
<i>Prymnesium parvum</i>	22-38
<i>Tetraselmis maculate</i>	3
<i>Porphyridium cruentum</i>	9-14
<i>Spirulina platensis</i>	4-9
<i>Spirulina maxima</i>	6-7
<i>Synechococcus sp.</i>	11
<i>Anabaena cylindrical</i>	4-7

Sumber : Becker, (1994)

Dari hasil pengujian dengan menggunakan metode Bligh & Dyer didapatkan kandungan lemak berada pada kisaran 14-22%, dengan kandungan lemak pada *culture* sebesar 18,24% dan kandungan lemak pada *pre-culture* sebesar 18,81%. Dari hasil uji tersebut terlihat bahwa pengujian pada *culture* dan *pre-culture* tidak memberikan pengaruh secara signifikan pada kandungan lipid, klorofil dan  $\beta$ -karoten dari *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.

## BAB V

### KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini dengan mengkultivasi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada Fotobioreaktor Kolom Gelembung dalam medium Benneck, temperature 29°C, tekanan operasi 1 atm, sumber pencahayaan lampu Phillip Halogen 20W/12V/50Hz, dan konsentrasi CO<sub>2</sub> 5 % adalah :

1. Semakin tinggi jumlah sel/biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg maka kecepatan aliran hisap yang dibutuhkan untuk mencapai laju pertumbuhan paling maksimumnya. Untuk kerapatan ( $X_0$ ) *Chlorella vulgaris* Buitenzorg sebesar  $\pm 0,71$  g/L  $\sigma_{\mu_{max,opt}}$ -nya adalah sebesar 3 Liter/menit, kemudian  $\sigma_{\mu_{max,opt}}$  untuk  $X_0 \pm 2,14$  g/L adalah 7 Liter/menit, kemudian  $\sigma_{\mu_{max,opt}}$  untuk  $X_0 \pm 2,86$  g/L adalah 9 Liter/menit dan  $\sigma_{\mu_{max,opt}}$  untuk  $X_0 \pm 4,28$  g/L adalah 11 Liter/menit.
2. Perlakuan filtrasi dengan pengaturan kecepatan aliran hisap pada kultivasi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg berhasil meningkatkan produksi biomassa sebesar 1,43 kali lipat atau mengalami peningkatan sebesar 43% dibandingkan dengan biomassa yang dihasilkan pada kultivasi tanpa filtrasi dengan kerapatan dan jenis pencahayaan yang sama.
3. Perlakuan filtrasi dengan pengaturan kecepatan aliran hisap pada kultivasi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg ini juga menghasilkan fiksasi CO<sub>2</sub> yang lebih baik dibandingkan dengan perlakuan tanpa filtrasi dengan kerapatan dan jenis pencahayaan yang sama.
4. Aktivitas sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada perlakuan filtrasi pengaturan kecepatan aliran hisap menunjukkan hasil sangat tinggi dibandingkan dengan perlakuan tanpa filtrasi dengan kerapatan dan jenis pencahayaan yang sama.
5. Efisiensi energy cahaya yang terjadi pada reaktor dengan filtrasi menunjukkan hasil lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor tanpa filtrasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. <http://www.kabarindonesia.com>. (Oktober 2008).
- Anonim. <http://www.republika.co.id.htm>. (Januari 2007).
- Anonim. <http://www.chem.mtu.edu/-drshonna/cm4710/lectures/chapter2.pdf>
- Anonim. <http://en.wikipedia.org/wiki/Chlorella> (Mei 2007)
- Anonim. <http://www.tuberoze.com>. (April 2008)
- Anonim. <http://www.chlorella-world.com/yaeyama.html>. (April 2008).
- Anonim. <http://www.nhm.ac.uk>
- Anonim. [http://www.gtamart.com/mart/products/chlorella\\_vulgaris/](http://www.gtamart.com/mart/products/chlorella_vulgaris/)
- Anonim. <http://www.chlorellafactor.com>
- Anonim. <http://www.life.ui.ac.edu/govindjee/paper/gov.html>
- Anonim <http://www.biology.arizona.edu>
- Anonim. <http://www.inhavision.inha.ac.kr/leeeg/lumostat.pdf>
- Pulz, O. 2001. *Photobioreactor : Production System for Phototropic Mikroorganism*.
- Andika, Sang Made Kresna. 2005. *Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella vulgaris Buitenzorg Dengan Alterasi Pencahayaan Pada Fotobioreaktor Kolom Gelembung*. Departemen Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Syarif, Ahmed. 2004. Skripsi : “*Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella vulgaris Buitenzorg dengan Perlakuan Aliran Sirkulasi Medium Kultur Pada Pencahayaan Alterasi*”. Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.

- Nuzulliany, Rachma. 2006. Skripsi : “*Perlakuan Filtrasi Aliran Sirkulasi Medium Kultur Untuk Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella sp. Dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung Skala Menengah*”. Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- Suriawiria, Unus. 2005. *Chlorella Untuk Kesehatan dan Kebugaran*. Jakarta : Papas Sinar Sinanti.
- Wirosaputro, Sukiman. 2002. *Chlorella Untuk Kesehatan Global*. Gadjah Mada University Press.
- Ohtaguchi K and A. Wijanarko, “*Elevation of the efficiency of cyanobacterial carbon dioxide removal by monoethanolamine solution*”, *Technology*, 8 (2002) pp. 267-286
- Wijanarko A., K. Asami and K. Ohtaguchi, “*The Kinetics of Growth and The CO<sub>2</sub> Concentrating Mechanism of the Filamentous Cyanobacterium Anabaena cylindrica in a Bubble Column*”, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 37 (2004) pp. 1019-1025
- Wijanarko A., Dianursanti, Heidi, R. W. Soemantojo and K. Ohtaguchi, “*Effect of Light illumination alteration on Chlorella vulgaris Buitenzorg’s CO<sub>2</sub> fixation in bubble column photobioreactor*”, *International Journal for Algae*, 8 (2006) 1, pp. 53-60
- Wijanarko A., Dianursanti, M. Gozan, S. M. K. Andika, P. Widiastuti, H. Hermansyah, A. B. Witarto, K. Asami, R. W. Soemantojo, K. Ohtaguchi, S. K. Song, “*Enhancement of carbon dioxide fixation by alteration of illumination during Chlorella vulgaris Buitenzorg’s growth*”, *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 11 (2006) pp. 484-488
- Wijanarko A, Dianursanti, A. Y. Sendjaya, H. Hermansyah, A. B. Witarto, B. T. Sofyan, K. Asami, K. Ohtaguchi, R. W. Soemantojo, S. K. Song, “*Enhanced Chlorella vulgaris Buitenzorg Growth by Photon Flux Density Alteration in Serial Photobioreactors*”, *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 13 (2008) pp. 476-482
- Kaplan, A., M. R. Badger, and J. A. Bery, *Photosynthesis and the intracellular inorganic carbon pool in the bluegreen alga Anabaena variabilis: Response to external CO<sub>2</sub> concentration*. *Planta* 149 (1980) pp. 219-226
- Falkowsky P. G. and T. G. Owens, “*Light-Shade Adaptation*”, *Plant Physiol.* 66 (1980) pp. 592-595
- Wijanarko and Dianursanti, “*Simulated flue gas fixation for large-scale biomass production of Chlorella vulgaris Buitenzorg*”, *International Journal for Algae*, 11 (2009) 4, 351-358

**LAMPIRAN A**  
**DATA HASIL PENELITIAN**

**A. Pencarian  $\sigma_{\mu_{max,opt}}$**

**$X_0 = 0,71 \text{ g/L}$**

**$\sigma = 1 \text{ L/m}$**

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.011537	0.012583	0.018721	0.026091
$\mu_N$	0	0.011537	0.012583	0.018721	0.026091
OD	0.24	0.251	0.264667	0.298667	0.360667
$I_t$ (lux)	3.815759	3.244693	2.946181	2.64767	2.232349
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	1099080	1150989	1215482	1375928	1668506
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.784006	0.821034	0.867039	0.98149	1.190194
pH	6.66	6.7	6.71	6.72	6.73
Filtrat					
OD		0.733	1.008333	1.493333	1.255
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		3425547	4724845	7013560	5888865
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.027302	0.075867	0.08494	0.071725

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.029111	0.0257	0.023752	0.022959
$\mu_N$	0.029111	0.0257	0.023752	0.022959
OD	0.424	0.438667	0.46	0.492667
$I_t$ (lux)	2.063625	1.90788	1.609368	1.401707
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	1967376	2036588	2137260	2291414
X (g/dm <sup>3</sup> )	1.403387	1.452758	1.52457	1.634533
pH	6.74	6.69	6.31	6.85
Filtrat				
OD	1.316667	1.243333	1.093333	1.276667
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	6179870	5833810	5125960	5991110
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.070654	0.067081	0.059283	0.062225

$$X_0 = 0,71 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 2 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.012791	0.019089	0.021862	0.027228
$\mu_N$	0	0.012791	0.019089	0.021862	0.027228
OD	0.229333	0.241	0.266	0.296	0.350667
$I_t$ (lux)	4.86704	4.399804	3.69895	3.634056	3.478311
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	1048744	1103799	1221774	1363344	1621316
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.7481	0.787372	0.871527	0.972513	1.156532
pH	6.12	6.28	6.35	6.41	6.52
Filtrat					
OD		0.804	0.865	1.402	1.223333
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		3760596	4048455	6582558	5739430
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.045009	0.035064	0.066889	0.064294

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.031854	0.028859	0.02722	0.025686
$\mu_N$	0.031854	0.028859	0.02722	0.025686
OD	0.427333	0.451333	0.483333	0.512667
$I_t$ (lux)	3.011075	2.621712	2.245328	2.037667
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	1983106	2096362	2247370	2385794
X (g/dm <sup>3</sup> )	1.414607	1.495396	1.603115	1.701857
pH	6.5	6.67	6.72	6.85
Filtrat				
OD	1.146667	1.413333	1.44	1.286
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	5377640	6636040	6761880	6035154
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.060638	0.08356	0.085763	0.071016

$$X_0 = 0,71 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 3 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.008844	0.01158	0.024471	0.036247
$\mu_N$	0	0.008844	0.01158	0.024471	0.036247
OD	0.22	0.227667	0.240667	0.292667	0.387333
$I_t$ (lux)	3.815759	3.244693	2.946181	2.64767	2.232349
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	1004700	1040879	1102226	1347614	1794346
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.716682	0.74249	0.78625	0.961293	1.279959
pH	6.57	6.61	6.69	6.71	6.77
Filtrat					
OD		0.893	0.99	1.302	1.323333
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		4180587	4638330	6110658	6211330
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.06011	0.069086	0.099235	0.094054

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.032223	0.027867	0.0283	0.027232
$\mu_N$	0.032223	0.027867	0.0283	0.027232
OD	0.412667	0.422667	0.477333	0.516
$I_t$ (lux)	2.063625	1.90788	1.609368	1.401707
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	1913894	1961084	2219056	2401524
X (g/dm <sup>3</sup> )	1.365237	1.398899	1.582917	1.713077
pH	6.72	6.71	6.79	6.82
Filtrat				
OD	1.38	0.923333	1.292	1.33
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	6478740	4323730	6063468	6242790
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.089758	0.054935	0.071454	0.08197

$$X_0 = 0,71 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 4 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.010006	0.025965	0.032703	0.031781
$\mu_N$	0	0.010006	0.025965	0.032703	0.031781
OD	0.219333	0.228	0.268333	0.321333	0.36
$I_t$ (lux)	4.218101	3.815759	3.257672	2.803415	2.452988
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	1001554	1042452	1232785	1482892	1665360
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.714438	0.743612	0.879382	1.05779	1.18795
pH	6.58	6.59	6.63	6.67	6.68
Filtrat					
OD		0.828	1.141667	1.216667	1.256667
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		3873852	5354045	5707970	5896730
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.041705	0.059286	0.056669	0.066094

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.030367	0.028858	0.028361	0.025991
$\mu_N$	0.030367	0.028858	0.028361	0.025991
OD	0.396667	0.431333	0.476667	0.494667
$I_b$ (lx)	2.336179	2.024689	1.765113	1.596389
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	1838390	2001982	2215910	2300852
X (g/dm <sup>3</sup> )	1.311377	1.428072	1.580673	1.641265
pH	6.7	6.71	6.68	6.74
Filtrat				
OD	1.06	1.336667	1.133333	1.282
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	4968660	6274250	5314720	6016278
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.062188	0.079095	0.067486	0.078463

$$X_0 = 0,71 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 5 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.008933	0.028358	0.029923	0.027644
$\mu_N$	0	0.008933	0.028358	0.029923	0.027644
OD	0.227	0.245	0.283	0.325333	0.349333
$I_t$ (lux)	4.451719	3.724908	3.270651	2.868309	2.491924
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	1037733	1122675	1301997	1486038	1615024
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.740245	0.800837	0.928753	1.060034	1.152044
pH	6.32	6.59	6.65	6.69	6.39
Filtrat					
OD		0.886667	0.953333	0.775	0.659
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		4150700	4465300	3623745	3076341
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.062185	0.057472	0.05139	0.047779

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.026227	0.026786	0.02538	0.025053
$\mu_N$	0.026227	0.026786	0.02538	0.025053
OD	0.378667	0.425333	0.454667	0.497333
$I_b$ (lx)	2.336179	2.206391	2.076604	1.985752
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	1753448	1973668	2112092	2313436
X (g/dm <sup>3</sup> )	1.250786	1.407875	1.506617	1.650241
pH	6.7	6.82	6.95	7.01
Filtrat				
OD	1.253333	0.853333	0.806	1.026667
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	5881000	3993400	3770034	4811360
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.084788	0.059021	0.044435	0.055879

$$X_0 = 2,14 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 3 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.007144	0.013895	0.016395	0.020134
$\mu_N$	0	0.007144	0.013895	0.016395	0.020134
OD	0.628	0.646	0.701	0.763	0.864
$I_t$ (lux)	1.972773	1.778092	1.674262	1.414686	1.310856
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	2930052	3014994	3274539	3567117	4043736
X (g/dm <sup>3</sup> )	2.090092	2.150683	2.335824	2.544529	2.884515
pH	6.45	6.47	6.4	6.46	6.5
Filtrat					
OD		2.258667	2.541	1.932	2.469
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		10625168	11957499	9083628	11617731
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.124521	0.143839	0.116578	0.141501

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.022455	0.020501	0.019356	0.017286
$\mu_N$	0.022455	0.020501	0.019356	0.017286
OD	0.98	1.022667	1.074667	1.086667
$I_t$ (lux)	1.27192	1.038302	0.830641	0.700854
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	4591140	4792484	5037872	5094500
X (g/dm <sup>3</sup> )	3.274994	3.418619	3.593661	3.634055
pH	6.5	6.56	6.54	6.59
Filtrat				
OD	1.857333	2.130667	2.042667	2.288
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	8731276	10021136	9605864	10763592
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.113501	0.108771	0.116818	0.131699

$$X_0 = 2,14 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 5 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.009596	0.020357	0.02626	0.024458
$\mu_N$	0	0.009596	0.020357	0.02626	0.024458
OD	0.646	0.671	0.759	0.882667	0.952
$I_t$ (lux)	1.914369	1.745645	1.609368	1.401707	1.258941
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	3014994	3132969	3548241	4131824	4459008
X (g/dm <sup>3</sup> )	2.150683	2.234838	2.531064	2.947351	3.18074
pH	6.53	6.55	6.55	6.6	6.58
Filtrat					
OD		2.205	1.941333	2.12	1.999667
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		10371915	9127672	9970800	9402947
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.111568	0.107542	0.130305	0.121432

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.020683	0.01931	0.018734	0.017936
$\mu_N$	0.020683	0.01931	0.018734	0.017936
OD	0.973333	1.022667	1.086667	1.141333
$I_t$ (lux)	1.077238	0.830641	0.661917	0.428299
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	4559680	4792484	5094500	5352472
X (g/dm <sup>3</sup> )	3.252553	3.418619	3.634055	3.818074
pH	6.61	6.62	6.67	6.7
Filtrat				
OD	2.056	1.725333	1.693333	1.853333
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	9668784	8108368	7957360	8712400
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.116169	0.108105	0.106831	0.10682

$$X_0 = 2,14 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 6 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.009685	0.021036	0.028055	0.025662
$\mu_N$	0	0.009685	0.021036	0.028055	0.025662
OD	0.64	0.665	0.756	0.893333	0.961333
$I_t$ (lux)	1.830007	1.570431	1.401707	1.16809	1.090217
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	2986680	3104655	3534084	4182160	4503052
X (g/dm <sup>3</sup> )	2.130486	2.214641	2.520965	2.983257	3.212158
pH	6.48	6.53	6.53	6.49	6.51
Filtrat					
OD		1.962667	1.909333	2.12	2.285333
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		9228344	8976664	9970800	10751008
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.108151	0.105822	0.130415	0.141582

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.023315	0.021155	0.019203	0.018378
$\mu_N$	0.023315	0.021155	0.019203	0.018378
OD	1.016	1.058667	1.090667	1.146667
$I_t$ (lux)	0.856599	0.700854	0.519151	0.389363
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	4761024	4962368	5113376	5377640
X (g/dm <sup>3</sup> )	3.396177	3.539802	3.64752	3.836027
pH	6.57	6.6	6.7	6.72
Filtrat				
OD	2.056	1.805333	1.850667	1.957333
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	9668784	8485888	8699816	9203176
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.116269	0.09216	0.116765	0.112804

$$X_0 = 2,14 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 7 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.010018	0.02455	0.029766	0.026919
$\mu_N$	0	0.010018	0.02455	0.029766	0.026919
OD	0.643	0.669	0.781	0.916	0.985333
$I_t$ (lux)	1.868943	1.557453	1.27192	1.194047	1.090217
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	3000837	3123531	3652059	4289124	4616308
X (g/dm <sup>3</sup> )	2.140585	2.228106	2.60512	3.059557	3.292947
pH	6.66	6.7	6.72	6.72	6.69
Filtrat					
OD		2.262	2.016	1.976	2.072
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		10640898	9480024	9291264	9744288
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.12725	0.123229	0.110275	0.104441

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.024254	0.021431	0.019645	0.018449
$\mu_N$	0.024254	0.021431	0.019645	0.018449
OD	1.04	1.070667	1.109333	1.154667
$I_t$ (lux)	0.921493	0.765748	0.661917	0.428299
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	4874280	5018996	5201464	5415392
X (g/dm <sup>3</sup> )	3.476966	3.580196	3.710356	3.862957
pH	6.74	6.78	6.82	6.9
Filtrat				
OD	2.2	1.770667	1.792	2.194667
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	10348320	8322296	8422968	10323152
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.13706	0.100654	0.092007	0.139362

$$X_0 = 2,14 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 8 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.010625	0.021004	0.027239	0.02475
$\mu_N$	0	0.010625	0.021004	0.027239	0.02475
OD	0.652	0.68	0.77	0.901333	0.965333
$I_t$ (lux)	1.739156	1.505538	1.181068	1.064259	1.012344
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	3043308	3175440	3600150	4219912	4521928
X (g/dm <sup>3</sup> )	2.17088	2.265134	2.568092	3.010186	3.225623
pH	6.36	6.38	6.37	6.41	6.47
Filtrat					
OD		2.096	1.864	1.976	1.904
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		9857544	8762736	9291264	8951496
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.091845	0.113777	0.11015	0.106786

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.023228	0.020793	0.018926	0.017349
$\mu_N$	0.023228	0.020793	0.018926	0.017349
OD	1.033333	1.069333	1.102667	1.130667
$I_t$ (lux)	0.830641	0.648939	0.428299	0.356916
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	4842820	5012704	5170004	5302136
X (g/dm <sup>3</sup> )	3.454525	3.575708	3.687915	3.782168
pH	6.47	6.53	6.55	6.6
Filtrat				
OD	2.12	1.770667	1.792	2.170667
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	9970800	8322296	8422968	10209896
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.131984	0.110925	0.092007	0.124997

$$X_0 = 2,14 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 9 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.011013	0.026019	0.023555	0.019965
$\mu_N$	0	0.011013	0.026019	0.023555	0.019965
OD	0.651	0.68	0.8	0.861333	0.893333
$I_t$ (lux)	1.635325	1.440644	1.207026	0.960429	0.908514
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	3038589	3175440	3741720	4031152	4182160
X (g/dm <sup>3</sup> )	2.167514	2.265134	2.669078	2.875538	2.983257
pH	6.7	6.71	6.71	6.77	6.8
Filtrat					
OD		1.418667	1.530667	2.066667	1.829333
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		6661208	7189736	9719120	8599144
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.086079	0.084828	0.115385	0.113276

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.017745	0.016273	0.015611	0.015089
$\mu_N$	0.017745	0.016273	0.015611	0.015089
OD	0.925333	0.958667	1.004	1.050667
$I_t$ (lux)	0.726811	0.584045	0.441278	0.366001
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	4333168	4490468	4704396	4924616
X (g/dm <sup>3</sup> )	3.090975	3.203182	3.355783	3.512872
pH	6.81	6.76	6.85	6.92
Filtrat				
OD	2.010667	1.897	2.149333	1.642667
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	9454856	8918463	10109224	7718264
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.125406	0.119111	0.135958	0.104532

$$X_0 = 2,86 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 5 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.010115	0.017565	0.019708	0.023421
$\mu_N$	0	0.010115	0.017565	0.019708	0.023421
OD	0.846667	0.881333	0.973333	1.070667	1.228333
$I_t$ (lux)	1.557453	1.336814	1.116174	0.882557	0.700854
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	3961940	4125532	4559680	5018996	5763025
X (g/dm <sup>3</sup> )	2.826167	2.942862	3.252553	3.580196	4.110934
pH	6.54	6.6	6.61	6.69	6.82
Filtrat					
OD		2.13	1.904	2.436	2.290667
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		10017990	8951496	11462004	10776176
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.122231	0.116424	0.152869	0.142116

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.021135	0.019829	0.018758	0.017388
$\mu_N$	0.021135	0.019829	0.018758	0.017388
OD	1.288333	1.358333	1.426667	1.471667
$I_t$ (lux)	0.519151	0.399746	0.337448	0.259575
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	6046165	6376495	6698960	6911315
X (g/dm <sup>3</sup> )	4.312906	4.54854	4.778563	4.930042
pH	6.75	6.85	6.87	6.93
Filtrat				
OD	1.998	1.959	2.154667	2.046
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	9395082	9211041	10134392	9621594
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.115482	0.113972	0.136415	0.108591

$$X_0 = 2,86 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 7 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.011423	0.024189	0.026289	0.024007
$\mu_N$	0	0.011423	0.024189	0.026289	0.024007
OD	0.862667	0.902667	1.045333	1.18	1.263333
$I_t$ (lux)	1.544474	1.37575	1.103196	0.869578	0.726811
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	4037444	4226204	4899448	5534940	5928190
X (g/dm <sup>3</sup> )	2.880027	3.014675	3.494919	3.948234	4.228751
pH	6.48	6.54	6.57	6.59	6.64
Filtrat					
OD		2.028	2.265	2.346	2.298667
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		9536652	10655055	11037294	10813928
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.114077	0.115354	0.133633	0.14241

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.020965	0.019502	0.018334	0.017813
$\mu_N$	0.020965	0.019502	0.018334	0.017813
OD	1.308333	1.373333	1.436667	1.52
$I_t$ (lux)	0.519151	0.412725	0.321874	0.280341
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	6140545	6447280	6746150	7139400
X (g/dm <sup>3</sup> )	4.38023	4.599033	4.812225	5.092742
pH	6.7	6.68	6.73	6.76
Filtrat				
OD	2.133	1.998	2.442	2.025
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	10032147	9395082	11490318	9522495
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.135527	0.127838	0.143085	0.131394

$$X_0 = 2,86 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 8 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.01081	0.023489	0.027925	0.023872
$\mu_N$	0	0.01081	0.023489	0.027925	0.023872
OD	0.852	0.889333	1.026667	1.188333	1.245
$I_t$ (lux)	1.544474	1.336814	1.116174	0.960429	0.778726
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	3987108	4163284	4811360	5574265	5841675
X (g/dm <sup>3</sup> )	2.84412	2.969792	3.432083	3.976286	4.167037
pH	6.75	6.78	6.83	6.92	6.98
Filtrat					
OD		2.136	2.328	2.37	2.341333
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		10046304	10952352	11150550	11015272
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.108095	0.118506	0.148505	0.145062

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.021784	0.02048	0.01932	0.018778
$\mu_N$	0.021784	0.02048	0.01932	0.018778
OD	1.313333	1.388333	1.458333	1.548
$I_t$ (lux)	0.674896	0.519151	0.362108	0.29981
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	6164140	6518065	6848395	7271532
X (g/dm <sup>3</sup> )	4.397061	4.649526	4.88516	5.186996
pH	6.89	6.97	7.01	7.1
Filtrat				
OD	2.172	2.133	2.55	2.091
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	10216188	10032147	11999970	9833949
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.125394	0.123953	0.164279	0.135612

$$X_0 = 2,86 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 9 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.010163	0.024714	0.029786	0.028004
$\mu_N$	0	0.010163	0.024714	0.029786	0.028004
OD	0.842667	0.877333	1.025333	1.201667	1.315
$I_t$ (lux)	1.570431	1.336814	1.103196	0.869578	0.713832
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	3943064	4106656	4805068	5637185	6172005
X (g/dm <sup>3</sup> )	2.812703	2.929397	3.427595	4.021168	4.402671
pH	6.48	6.54	6.57	6.59	6.64
Filtrat					
OD		2.217	2.238	2.475	2.565
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		10428543	10527642	11646045	12070755
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.124745	0.113975	0.169396	0.16209

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.023848	0.022424	0.01988	0.019528
$\mu_N$	0.023848	0.022424	0.01988	0.019528
OD	1.353333	1.438333	1.465	1.568
$I_t$ (lux)	0.506172	0.454257	0.369895	0.334852
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	6352900	6754015	6879855	7365912
X (g/dm <sup>3</sup> )	4.531709	4.817836	4.907601	5.25432
pH	6.6	6.7	6.72	6.78
Filtrat				
OD	2.091	2.046	2.46	2.268
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	9833949	9621594	11575260	10669212
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.120841	0.107054	0.173072	0.133833

$$X_0 = 2,86 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 10 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.011398	0.02718	0.026159	0.025653
$\mu_N$	0	0.011398	0.02718	0.026159	0.025653
OD	0.836	0.874667	1.037333	1.141667	1.256667
$I_t$ (lux)	1.492559	1.323835	1.181068	0.960429	0.804684
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	3911604	4094072	4861696	5354045	5896730
X (g/dm <sup>3</sup> )	2.790261	2.920421	3.467989	3.819196	4.206309
pH	6.5	6.52	6.62	6.64	6.66
Filtrat					
OD		2.148	2.043	2.264	2.448
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		10102932	9607437	10650336	11518632
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.12085	0.104012	0.11341	0.154412

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.024372	0.022073	0.020002	0.019376
$\mu_N$	0.024372	0.022073	0.020002	0.019376
OD	1.356667	1.415	1.458333	1.548
$I_t$ (lux)	0.726811	0.584045	0.441278	0.332257
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	6368630	6643905	6848395	7271532
X (g/dm <sup>3</sup> )	4.542929	4.739291	4.88516	5.186996
pH	6.7	6.68	6.76	6.8
Filtrat				
OD	1.902	2.112	2.330667	2.184
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	8942058	9933048	10964936	10272816
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.131782	0.135158	0.150284	0.128861

$$X_0 = 2,86 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 11 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.011135	0.024523	0.02269	0.021784
$\mu_N$	0	0.011135	0.024523	0.02269	0.021784
OD	0.856	0.894667	1.04	1.121667	1.21
$I_t$ (lux)	1.609368	1.37575	1.245962	1.155111	1.064259
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	4005984	4188452	4874280	5259665	5676510
X (g/dm <sup>3</sup> )	2.857585	2.987745	3.476966	3.751872	4.04922
pH	6.56	6.59	6.55	6.68	6.75
Filtrat					
OD		2.169	2.262	2.106667	2.499
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		10202031	10640898	9907880	11759301
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.146607	0.141118	0.108147	0.157998

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.021292	0.019929	0.01811	0.017975
$\mu_N$	0.021292	0.019929	0.01811	0.017975
OD	1.306667	1.376667	1.416667	1.516
$I_t$ (lux)	0.830641	0.648939	0.53213	0.366001
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	6132680	6463010	6651770	7120524
X (g/dm <sup>3</sup> )	4.374619	4.610253	4.744901	5.079277
pH	6.71	6.78	6.85	6.9
Filtrat				
OD	1.826667	1.968	2.328	2.176
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	8586560	9253512	10952352	10235064
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.105574	0.114531	0.122747	0.141226

$$X_0 = 4,28 \text{ g/L}$$

$$V = 9 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.010103	0.019256	0.025173	0.023414
$\mu_N$	0	0.010103	0.019256	0.025173	0.023414
OD	1.268	1.32	1.478	1.712667	1.841
$I_t$ (lux)	0.883854	0.716428	0.578853	0.485406	0.441278
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	5950212	6195600	6941202	8048594	8654199
X (g/dm <sup>3</sup> )	4.24446	4.419502	4.951362	5.741297	6.173292
pH	6.38	6.44	6.47	6.49	6.54
Filtrat					
OD		2.094	2.46	2.283	2.556
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		9848106	11575260	10739997	12028284
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.117802	0.125317	0.156217	0.16152

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.021394	0.019503	0.019283	0.018082
$\mu_N$	0.021394	0.019503	0.019283	0.018082
OD	1.941333	2.020667	2.170667	2.256
$I_t$ (lux)	0.332257	0.282937	0.233618	0.206362
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	9127672	9502046	10209896	10612584
X (g/dm <sup>3</sup> )	6.511034	6.778086	7.283016	7.570265
pH	6.5	6.6	6.62	6.68
Filtrat				
OD	2.223333	2.046	2.283	2.323333
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	10458430	9621594	10739997	10930330
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.128515	0.107054	0.160583	0.137109

$$X_0 = 4,28 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 10 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.021168	0.025687	0.028708	0.026935
$\mu_N$	0	0.021168	0.025687	0.028708	0.026935
OD	1.252	1.362	1.536	1.764	1.922667
$I_t$ (lux)	0.882557	0.84362	0.755365	0.656726	0.517853
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	5874708	6393798	7214904	8290836	9039584
X (g/dm <sup>3</sup> )	4.1906	4.560882	5.146601	5.914095	6.448199
pH	6.35	6.36	6.6	6.6	6.64
Filtrat					
OD		2.202	2.373333	2.373	2.547
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		10357758	11166280	11164707	11985813
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.123899	0.120889	0.162395	0.160949

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.02381	0.021672	0.020307	0.019177
$\mu_N$	0.02381	0.021672	0.020307	0.019177
OD	2.011333	2.101333	2.205333	2.306667
$I_t$ (lux)	0.44647	0.328363	0.241405	0.183001
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	9458002	9882712	10373488	10851680
X (g/dm <sup>3</sup> )	6.746668	7.049626	7.399711	7.740819
pH	6.54	6.7	6.73	6.74
Filtrat				
OD	2.35	2.323333	2.322	2.43
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	11056170	10930330	10924038	11433690
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.13586	0.121616	0.163335	0.143423

$$X_0 = 4,28 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 11 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.024948	0.031503	0.028345	0.025804
$\mu_N$	0	0.024948	0.031503	0.028345	0.025804
OD	1.284	1.418	1.65	1.801333	1.936667
$I_t$ (lux)	0.856599	0.765748	0.63596	0.467236	0.367299
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	6025716	6658062	7752870	8467012	9105650
X (g/dm <sup>3</sup> )	4.298319	4.74939	5.530348	6.039766	6.495325
pH	6.3	6.35	6.36	6.36	6.42
Filtrat					
OD		2.533333	2.56	2.623333	2.74
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		11921320	12047160	12346030	12896580
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.142602	0.130425	0.179578	0.17318

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.022366	0.021559	0.019401	0.018565
$\mu_N$	0.022366	0.021559	0.019401	0.018565
OD	2.004333	2.149333	2.205333	2.32
$I_t$ (lux)	0.323171	0.289427	0.249192	0.20766
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	9424969	10109224	10373488	10914600
X (g/dm <sup>3</sup> )	6.723105	7.211204	7.399711	7.785702
pH	6.39	6.54	6.57	6.61
Filtrat				
OD	2.463333	2.52	2.643333	2.466667
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	11590990	11858400	12440410	11606720
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.142432	0.131942	0.186007	0.145593

$$X_0 = 4,28 \text{ g/L}$$

$$\sigma = 12 \text{ L/m}$$

Waktu (jam)	0	4	8	12	16
Reaktor					
$\mu_x$	0	0.028285	0.026049	0.027778	0.024589
$\mu_N$	0	0.028285	0.026049	0.027778	0.024589
OD	1.276	1.428	1.57	1.778	1.887667
$I_t$ (lux)	0.921493	0.856599	0.772237	0.719024	0.634662
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	5987964	6705252	7375350	8356902	8874419
X (g/dm <sup>3</sup> )	4.271389	4.783052	5.261052	5.961222	6.330382
pH	6.42	6.53	6.54	6.58	6.59
Filtrat					
OD		2.683333	2.56	2.606667	2.74
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )		12629170	12047160	12267380	12896580
X (g/dm <sup>3</sup> )		0.151069	0.130425	0.178434	0.17318

Waktu (jam)	20	24	28	32
Reaktor				
$\mu_x$	0.021915	0.020235	0.019625	0.017884
$\mu_N$	0.021915	0.020235	0.019625	0.017884
OD	1.974	2.069333	2.205333	2.256
$I_t$ (lux)	0.545108	0.449066	0.371193	0.277746
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	9281826	9731704	10373488	10612584
X (g/dm <sup>3</sup> )	6.620997	6.941908	7.399711	7.570265
pH	6.6	6.7	6.64	6.78
Filtrat				
OD	2.456667	2.306667	2.613333	2.36
Nsel (sel/cm <sup>3</sup> )	11559530	10851680	12298840	11103360
X (g/dm <sup>3</sup> )	0.142046	0.120741	0.183891	0.139279

## B. Kontinyu – Filtrasi

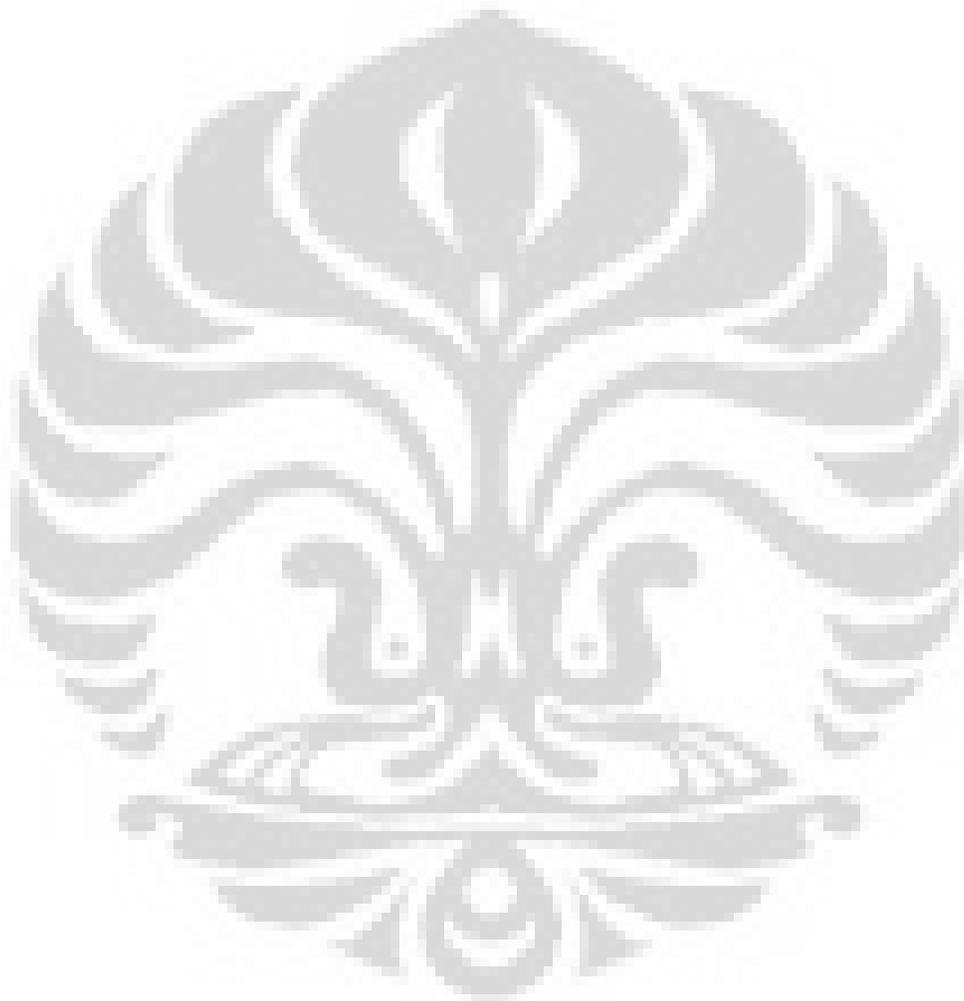
t	OD sebenarnya	Xsel	Xfiltrat	Xsel-filtrat (g/liter)	$\mu_x$ (h <sup>-1</sup> )	pH	li (W/m <sup>2</sup> )	It (W/m <sup>2</sup> )	Yco2 in	Yco2 out
0	0.218	0.71		0.71	0.00000	6.01	11.17	3.72	5.05	3.28
4	0.221	0.72	0.11	0.83	0.00392	6.08	11.17	3.58	4.92	3.38
8	0.227	0.74	0.07	0.81	0.00522	6.18	11.17	3.37	5.09	3.64
12	0.245	0.80	0.08	0.88	0.00992	6.20	11.17	3.04	5.03	3.47
16	0.294	0.97	0.07	1.04	0.01931	6.31	11.17	2.99	5.05	3.72
20	0.371	1.22	0.06	1.28	0.02723	6.32	11.17	2.38	4.85	3.41
24	0.395	1.30	0.06	1.37	0.02535	6.27	11.17	2.09	5.43	3.61
28	0.430	1.42	0.06	1.48	0.02485	6.28	11.17	1.86	4.93	3.99
32	0.441	1.46	0.07	1.53	0.02257	6.33	11.17	1.69	5.00	3.55
36	0.484	1.61	0.05	1.66	0.02266	6.38	11.17	1.43	5.60	3.83
40	0.525	1.74	0.06	1.80	0.02248	6.35	11.17	1.27	4.98	3.15
44	0.568	1.89	0.07	1.96	0.02223	6.65	11.17	0.97	5.29	3.98
48	0.594	1.98	0.07	2.05	0.02132	6.66	11.17	0.90	5.52	3.67
52	0.657	2.19	0.11	2.29	0.02164	6.69	11.17	0.79	5.06	3.64
56	0.688	2.29	0.08	2.37	0.02093	6.60	11.17	0.65	4.78	3.36
60	0.727	2.42	0.08	2.50	0.02046	6.66	11.17	0.58	4.75	3.02
64	0.753	2.51	0.07	2.59	0.01974	6.68	11.17	0.51	5.41	3.16
68	0.780	2.60	0.08	2.68	0.01910	6.88	11.17	0.43	5.45	3.50
72	0.807	2.69	0.07	2.76	0.01852	6.83	11.17	0.39	5.55	3.83
78	0.821	2.74	0.08	2.82	0.01731	6.89	11.17	0.38	5.81	4.40
84	0.882	2.95	0.09	3.04	0.01694	6.76	11.17	0.32	5.48	3.68
90	0.929	3.10	0.11	3.21	0.01639	6.78	11.17	0.29	5.49	4.13
96	1.043	3.49	0.11	3.59	0.01658	6.81	11.17	0.25	5.44	3.69
102	1.057	3.54	0.12	3.66	0.01574	6.87	11.17	0.23	5.54	3.62
108	1.097	3.67	0.15	3.81	0.01520	6.93	11.17	0.22	5.48	3.53
114	1.202	4.02	0.17	4.19	0.01521	6.97	11.17	0.21	5.14	2.80
120	1.215	4.07	0.10	4.17	0.01454	6.98	11.17	0.17	5.34	2.70
126	1.280	4.28	0.17	4.45	0.01427	6.97	11.17	0.15	5.58	2.89
132	1.315	4.40	0.13	4.54	0.01382	6.96	11.17	0.12	5.21	2.06
138	1.297	4.34	0.11	4.45	0.01312	6.98	11.17	0.11	5.33	2.59
144	1.355	4.54	0.18	4.72	0.01288	6.95	11.17	0.10	4.95	2.26
150	1.393	4.67	0.12	4.79	0.01255	6.96	11.17	0.09	5.08	2.44
156	1.355	4.54	0.19	4.72	0.01189	6.90	11.17	0.09	5.67	2.98
162	1.403	4.70	0.14	4.84	0.01167	6.87	11.17	0.08	5.44	4.42
168	1.445	4.84	0.21	5.05	0.01143	6.88	11.17	0.08	5.05	3.16
174	1.468	4.92	0.14	5.05	0.01112	6.88	11.17	0.07	5.59	3.90
180	1.475	4.94	0.18	5.12	0.01078	6.92	11.17	0.07	4.99	3.76
186	1.496	5.01	0.11	5.13	0.01051	6.94	11.17	0.07	4.81	3.38
192	1.596	5.35	0.13	5.48	0.01052	6.98	11.17	0.07	5.12	4.40
198	1.476	4.94	0.15	5.10	0.009802	6.93	11.17	0.07	4.98	3.66
204	1.538	5.15	0.24	5.40	0.009717	6.99	11.17	0.07	5.05	4.35

210	1.53	5.13	0.16	5.28	0.009414	7.01	11.17	0.07	5.36	5.10
216	1.546	5.18	0.21	5.39	0.009201	7.01	11.17	0.06	5.45	5.18
222	1.548	5.19	0.14	5.32	0.008958	7.02	11.17	0.06	4.86	4.67

### C. Kontinyu

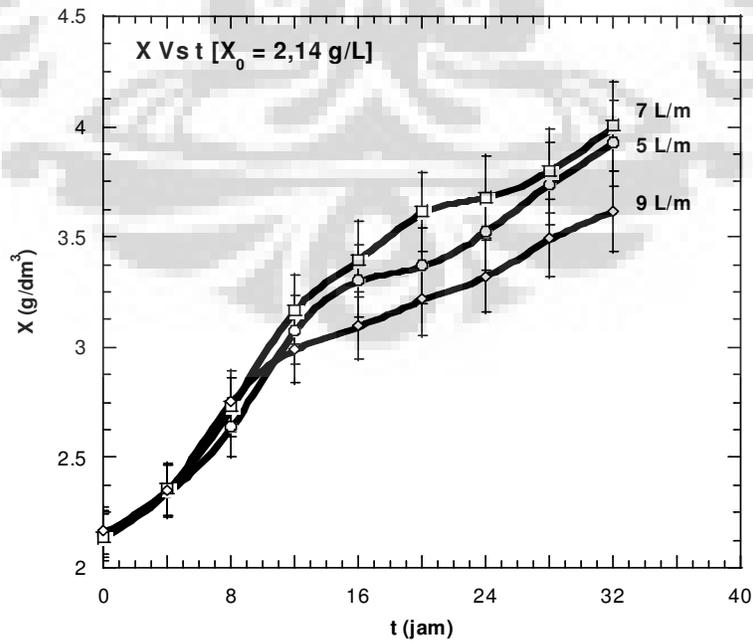
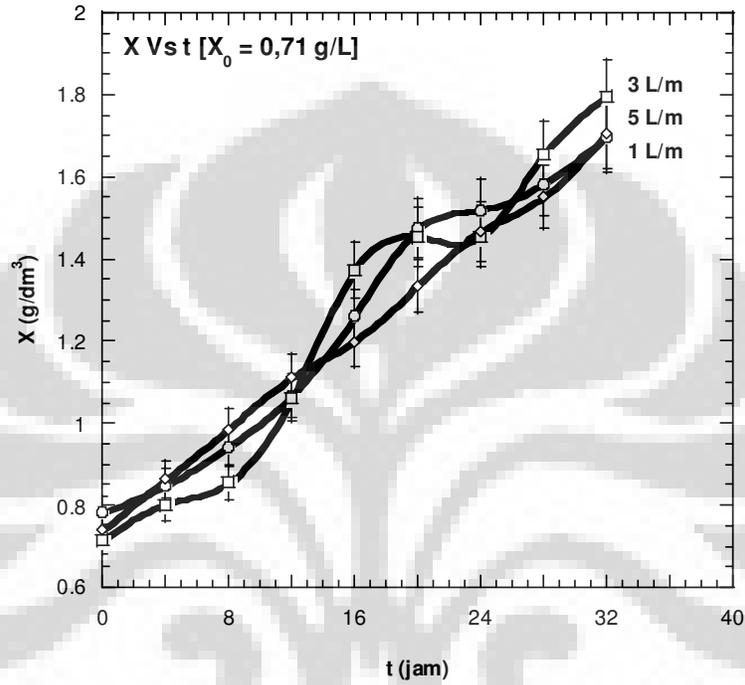
t	OD sebenarnya	Xsel (g/liter)	$\mu_x$ (h <sup>-1</sup> )	pH	li (W/m <sup>2</sup> )	lt (W/m <sup>2</sup> )	Yco2 in	Yco2 out
0	0.240	0.78	0.00000	6.49	11.17	3.70	5.63	5.13
4	0.247	0.81	0.00811	6.51	11.17	3.37	5.50	5.03
8	0.272	0.89	0.01611	6.53	11.17	2.86	5.40	5.11
12	0.325	1.07	0.02613	6.53	11.17	2.47	5.59	5.15
16	0.410	1.36	0.03434	6.56	11.17	2.15	5.27	5.03
20	0.443	1.47	0.03137	6.47	11.17	1.69	5.44	5.21
24	0.455	1.51	0.02728	6.52	11.17	1.48	5.71	5.40
28	0.479	1.59	0.02525	6.5	11.17	1.21	5.20	5.16
32	0.479	1.59	0.02213	6.67	11.17	0.95	5.36	5.18
36	0.491	1.63	0.02037	6.68	11.17	0.84	5.35	5.12
40	0.549	1.82	0.02113	6.56	11.17	0.74	5.66	5.36
44	0.584	1.94	0.02065	6.68	11.17	0.67	5.42	5.24
48	0.589	1.96	0.01909	6.57	11.17	0.58	5.44	5.43
52	0.585	1.95	0.01750	6.72	11.17	0.51	5.90	5.79
56	0.640	2.13	0.01788	6.64	11.17	0.43	5.55	5.32
60	0.651	2.17	0.01697	6.72	11.17	0.36	5.97	5.94
64	0.669	2.23	0.01634	6.74	11.17	0.35	5.67	5.34
68	0.697	2.32	0.01599	6.78	11.17	0.31	5.69	5.37
72	0.708	2.36	0.01532	6.83	11.17	0.31	5.92	5.88
78	0.728	2.43	0.01450	6.69	11.17	0.27	5.52	5.30
84	0.739	2.46	0.01365	6.72	11.17	0.26	5.39	5.11
90	0.833	2.78	0.01409	6.78	11.17	0.23	5.63	5.50
96	0.853	2.85	0.01345	6.78	11.17	0.20	5.33	4.70
102	0.896	2.99	0.01315	6.82	11.17	0.17	5.38	5.37
108	0.900	3.01	0.01246	6.81	11.17	0.15	5.67	4.57
114	0.924	3.09	0.01203	6.75	11.17	0.14	5.53	5.11
120	0.971	3.24	0.01185	6.72	11.17	0.13	5.80	5.59
126	0.993	3.32	0.01147	6.74	11.17	0.13	5.25	4.86
132	1.007	3.36	0.01105	6.75	11.17	0.11	5.56	4.98
138	0.985	3.29	0.01041	6.75	11.17	0.11	5.87	5.25
144	1.036	3.46	0.01033	6.68	11.17	0.10	5.48	4.83
150	1.056	3.53	0.01004	6.69	11.17	0.10	5.62	5.02
156	1.037	3.47	0.00954	6.75	11.17	0.09	5.92	5.54
162	1.091	3.65	0.00950	6.75	11.17	0.09	5.66	5.29
168	1.144	3.83	0.00945	6.77	11.17	0.08	5.74	5.51
174	1.060	3.54	0.00868	6.81	11.17	0.08	5.83	5.45
180	1.116	3.73	0.00868	6.85	11.17	0.07	5.18	5.05

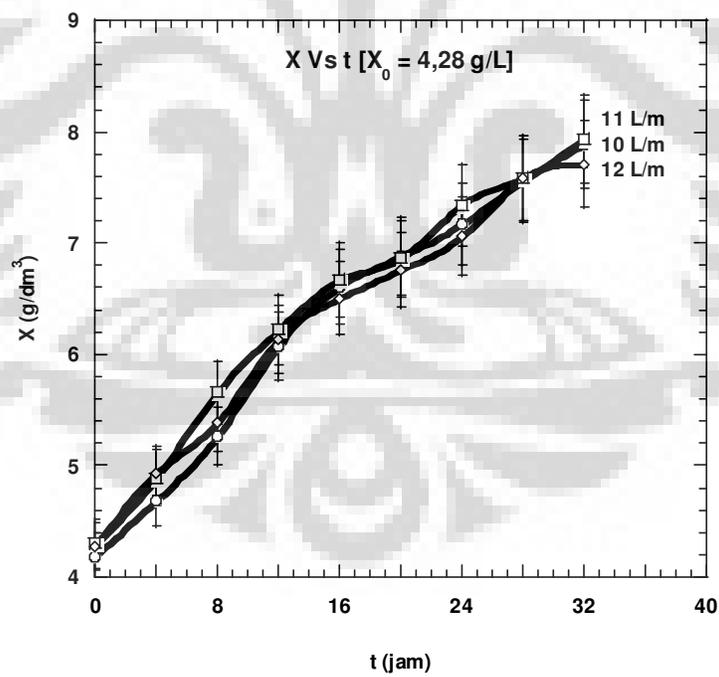
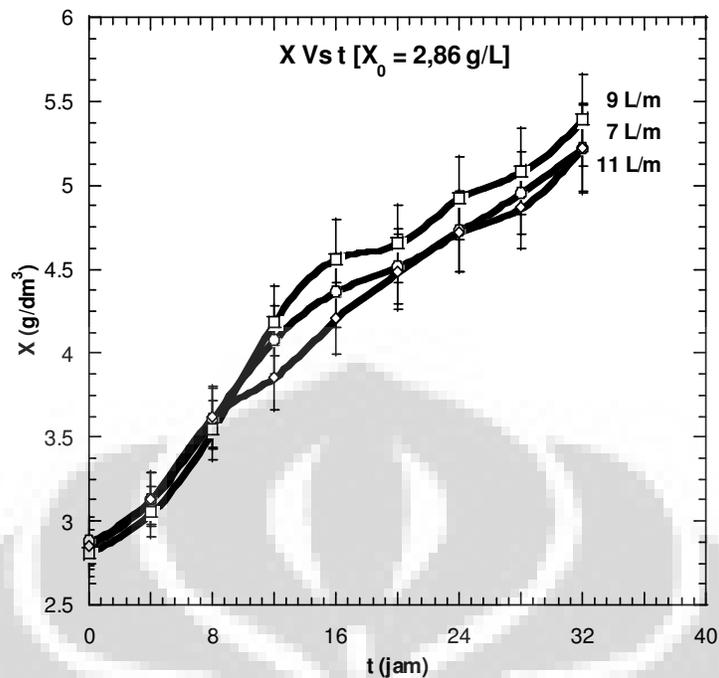
186	1.120	3.75	0.00842	6.86	11.17	0.07	5.18	5.05
192	1.091	3.65	0.00801	6.87	11.17	0.07	5.07	4.96
198	1.091	3.65	0.00777	6.88	11.17	0.06	4.88	4.81



**LAMPIRAN B**  
**PLOT NILAI V Vs X**

Plot Hasil Penelitian (pencarian  $\sigma_{\mu\max, \text{opt}}$ )





## LAMPIRAN C

### PENGOLAHAN DATA OD<sub>600</sub>

#### B.1 Pengolahan Data X dan N Sel Reaktor

Pada penelitian sebelumnya telah didapatkan kurva kalibrasi antara X Vs OD untuk menentukan berat kering sel pada volume tertentu atau kurva kalibrasi N Vs OD untuk menentukan jumlah sel pada volume tertentu.

##### ❖ Penentuan Berat Kering Sel (X)

Dari kurva kalibrasi X Vs OD didapatkan persamaan garis lurus yang menempatkan OD di sumbu x dan X di sumbu y. Persamaan tersebut adalah :

$$y = 0.0033662x - 2.3882 \times 10^{-5}$$

Dengan memasukan nilai OD ke X maka akan kita dapatkan berat kering sel.

Misal besar OD pada detik ke 0 sebesar 0,218. Maka :

$$y = (0.0033662 \times 0.218) - 2.3882 \times 10^{-5}$$

$$y = 0.71 \text{ gram/liter}$$

$$X = 0.71 \text{ gram/liter}$$

##### ❖ Penentuan Jumlah Sel (sel/ml)

Dari kurva kalibrasi N Vs OD didapatkan persamaan garis lurus yang menempatkan OD di sumbu x dan N di sumbu y. Persamaan tersebut adalah :

$$y = 4.719 \times 10^6 x - 33480$$

Dengan memasukan nilai OD ke x maka kita akan mendapatkan berat kering sel.

Misal besar OD pada detik ke 0 sebesar 0.218. Maka :

$$y = 4.719 \times 10^6 \times 0.24 - 33480$$

$$y = 995262 \text{ sel/ml}$$

## B.2 Pengolahan Data X dan Nsel Filtrat

Dengan cara yang sama kita dapat menentukan berat kering sel yang ada di filtrat. Hanya saja pada filtrat kita harus memperhitungkan faktor pengenceran. Pengenceran perlu dilakukan karena alat pembaca OD (spektrofotometer) hanya akurat untuk rentang pembacaan 0.2-0.4. Maka itu filtrat harus diencerkan sehingga pembacaan pada spektro berada pada rentang tersebut. Maka persamaan di atas menjadi

$$y = (0.0033662x - 2.3882 \times 10^{-5}) \times a$$

Dimana x adalah OD setelah pengenceran (berada pada rentang 0.2-0.4) dan a adalah faktor/jumlah pengenceran. Misal pada 4 jam pertama, OD dari filtrat menunjukkan nilai over, setelah dilakukan pengenceran sebanyak 8 kali maka nilai OD didapatkan sebesar 0.232. Maka besar X dapat dihitung :

$$y = (0.0033662 \times 0.279 - 2.3882 \times 10^{-5}) \times 8$$

$$y = 6,215 \text{ g/liter}$$

$$X = 6,215 \text{ g/liter}$$

Untuk melihat berat kering per liter volume reaktor, dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$6,215 \text{ gr/L filtrat} \times \text{volume filtrat} = 6,215 \text{ gr/L} \times 0,32 \text{ L} = 1,9888$$

$$\text{Maka berat kering filtrat pada volume reaktor} = 1,9888 \text{ gr/17,88 L} = 0,111227 \text{ gr/L}$$

**LAMPIRAN D**  
**CONTOH dan HASIL PERHITUNGAN**  
**CTR, CUR,  $q_{CO_2}$  dan  $[HCO_3^-]$**

**D.1 Contoh Pengolahan Data**

**D.1.1 Contoh Pengolahan Data  $[HCO_3^-]$**

Seperti telah dijelaskan pada bab 3 bahwa nilai pH dapat digunakan untuk menghitung  $[HCO_3^-]$ . Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

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

Dimana :

- $P_T$  = tekanan operasi (atm)
- $y_{CO_2}$  = konsentrasi gas  $CO_2$  yang diumpankan (5%)
- $K_{CO_2}$  =  $4,38 \times 10^{-7}$
- $H_{CO_2}$  = 2900 KPa/mol
- $T$  = temperatur operasi
- $T_0$  = temperatur standar
- $A_k = 40,557$                        $B_k = -36,782$                        $C_k = 0$
- $A_h = 22,771$                        $B_h = -11,452$                        $C_h = -3,117$

Konsentrasi bikarbonat  $[HCO_3^-]$  pada jam ke-0 didapatkan dengan memasukan nilai pH pada pengaturan kecepatan hisap jam ke-0 yaitu 6,01 ke dalam persamaan di atas dengan nilai variabel-variabel lain yang telah disebutkan diatas, sehingga akan didapatkan nilai  $[HCO_3^-]$  pada jam ke-0 adalah 0,73 mM

### D.1.2 Contoh Pengolahan Data CTR (Carbondioxide Transfer Rate)

Contoh perhitungan konsentrasi bikarbonat CTR pada penelitian ini :

Rumus yang digunakan :

$$CTR = \Delta y_{CO_2} \times \alpha_{CO_2} \quad (\text{g/dm}^3 \cdot \text{h})$$

Dalam penelitian ini :

$$\alpha_{CO_2} = \frac{U_g \cdot A \cdot M_{CO_2} \cdot P}{V_{med} \cdot R \cdot T}$$

$$\alpha_{CO_2} = \frac{151,5 \text{ dm/h} \cdot 3,384 \text{ dm}^2 \cdot 44 \text{ g/mol} \cdot 1 \text{ atm}}{18 \text{ dm}^3 \cdot 0,082 \text{ L atm/mol}^\circ\text{K} \cdot 302^\circ\text{K}}$$

$$\alpha_{CO_2} = 50,61 \text{ g/dm}^3 \cdot \text{h}$$

CTR pada pengaturan kecepatan hisap jam ke-0 didapatkan dengan memasukan nilai  $\Delta y_{CO_2}$  pada pengaturan kecepatan hisap jam ke-0 yaitu 1,77 ke dalam persamaan di atas, sebagai berikut :

$$CTR_{t=0} = 1,77 \times 50,61 = 89,58 \text{ g/dm}^3 \cdot \text{h}$$

### D.1.3 Contoh Pengolahan Data $q_{CO_2}$

Contoh perhitungan konsentrasi bikarbonat  $q_{CO_2}$  pada penelitian ini :

Rumus yang digunakan :

$$q_{CO_2} = \frac{\Delta y_{CO_2} \cdot \alpha_{CO_2}}{X} \quad (\text{h}^{-1})$$

$q_{CO_2}$  pada pengaturan kecepatan hisap jam ke-0 didapatkan dengan memasukan nilai  $\Delta y_{CO_2}$  dan X pada pengaturan kecepatan hisap jam ke-0 yaitu 1,77 dan 0,71  $\text{g/dm}^3 \cdot \text{h}$  ke dalam persamaan di atas, sebagai berikut :

$$q_{CO_2} = \frac{1,77 \cdot 50,61 \text{ g/dm}^3 \cdot \text{h}}{0,71 \text{ g/dm}^3 \cdot \text{h}} = 126,18 \text{ h}^{-1}$$

### D.1.4 Contoh Pengolahan Data CUR (Carbon Uptake Rate)

Contoh perhitungan CUR pada penelitian ini :

$$CUR = \alpha \cdot \frac{dX}{dt} \quad (\text{g/dm}^3 \cdot \text{h}) \quad \text{Dimana : } \alpha = \frac{44}{\beta}$$

Maka :

$$CUR = \frac{44}{\beta} \cdot \frac{dX}{dt}$$

dimana  $\beta$  merupakan berat formula sel, untuk mendapatkan nilai  $\beta$ , *Chlorella vulgaris* harus dikeringkan terlebih dahulu, pada penelitian kali ini *Chlorella* dikeringkan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) di Cibinong, Bogor. Setelah dikeringkan barulah kita dapat melakukan Elemental Analysis untuk mengetahui elemen dasar dari *Chlorella*, Elemental Analysis dilakukan di dua tempat yaitu di Lemigas dan di Departemen Metalurgi Universitas Indonesia, Pengukuran dilakukan di dua tempat karena pengukuran Elemental Analysis yang dilakukan di Lemigas hanya bisa untuk mengukur elemen seperti C, H, dan N saja sedangkan pengukuran Elemental Analysis di Departemen Metalurgi Universitas Indonesia tidak bisa mengukur elemen H. Berikut ini merupakan perhitungan untuk mendapatkan Rumus Formula Sel (RMF) dari *Chlorella vulgaris* Buitenzorg :

Komposisi %berat :

$$C = 22\%$$

$$H = 6,05\%$$

$$N = 5,2\%$$

$$O = \frac{48,54}{26,71} \times 5,2\% = 9,45\%$$

$$P = \frac{12,10}{26,71} \times 5,2\% = 2,36\%$$

Maka :

Komposisi sel kering  $CH_xN_yO_zP_A$

Basis : 1 mol karbon

$$C = \frac{22}{45,06} \times 100\% = 48,82\%$$

$$C = \frac{48,82}{12} \times \frac{12}{48,82} = 1 \text{ mol}$$

$$H = \frac{6,05}{45,06} \times 100\% = 13,43\%$$

$$H = \frac{13,43}{1} \times \frac{12}{48,82} = 3,3 \text{ mol}$$

$$N = \frac{5,2}{45,06} \times 100\% = 11,54\%$$

$$N = \frac{11,54}{12} \times \frac{12}{48,82} = 0,203 \text{ mol}$$

$$O = \frac{9,45}{45,06} \times 100\% = 20,97\%$$

$$O = \frac{20,97}{12} \times \frac{12}{48,82} = 0,322 \text{ mol}$$

$$P = \frac{2,36}{45,06} \times 100\% = 5,24\%$$

$$P = \frac{5,24}{12} \times \frac{12}{48,82} = 0,041 \text{ mol}$$

Dari perhitungan didapatkan :

$$C = 1 \text{ mol}$$

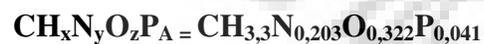
$$H = 3,3 \text{ mol}$$

$$N = 0,203 \text{ mol}$$

$$O = 0,322 \text{ mol}$$

$$P = 0,041 \text{ mol}$$

Dari hasil perhitungan maka Rumus Formula sel dapat diketahui, Rumus Formula sel untuk *Chlorella vulgaris* Buitenzorg yaitu :



Setelah mendapatkan rumus formula sel maka  $\beta$  dapat diketahui,

$$\beta = \text{RMF} = 1 (12) + 3,3 (1) + 0,203 (14) + 0,322 (16) + 0,041 (31) = 24,565$$

$$\beta = 24,565$$

dengan memasukan nilai  $\beta$  ke dalam persamaan awal, maka nilai CUR dapat diketahui,

$$CUR = \frac{44}{24,565} \cdot \frac{dX}{dt}$$

$$CUR = 1,79 \cdot \frac{dX}{dt}$$

## D.2 Hasil Perhitungan

### D.2.1 Kontinyu - Filtrasi

t	pH	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] (mM)	d[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]/dt	yCO <sub>2</sub> in	yCO <sub>2</sub> out	ΔyCO <sub>2</sub>	CTR (g/dm <sup>3</sup> .h)	qCO <sub>2</sub> (h <sup>-1</sup> )	CUR (g/dm <sup>3</sup> .h)
0	6.01	0.73	0.082	5.05	3.28	1.77	89.58	126.18	0.063
4	6.08	0.86	0.079	4.92	3.38	1.55	78.30	94.06	0.062
8	6.18	1.08	0.076	5.09	3.64	1.46	73.64	90.78	0.061
12	6.20	1.14	0.073	5.03	3.47	1.56	78.79	89.09	0.061
16	6.31	1.46	0.071	5.05	3.72	1.33	67.25	64.80	0.060
20	6.32	1.50	0.068	4.85	3.41	1.44	72.87	56.75	0.059
24	6.27	1.33	0.066	5.43	3.61	1.83	92.41	67.47	0.058
28	6.28	1.36	0.063	4.93	3.99	0.94	47.57	32.05	0.058
32	6.33	1.53	0.061	5.00	3.55	1.44	73.08	47.75	0.057
36	6.38	1.72	0.059	5.60	3.83	1.77	89.65	54.15	0.056
40	6.35	1.60	0.056	4.98	3.15	1.82	92.32	51.28	0.055
44	6.65	3.20	0.054	5.29	3.98	1.31	66.41	33.92	0.055
48	6.66	3.27	0.052	5.52	3.67	1.85	93.57	45.74	0.054
52	6.69	3.51	0.050	5.06	3.64	1.42	71.86	31.31	0.053
56	6.60	2.85	0.048	4.78	3.36	1.42	72.02	30.34	0.053
60	6.66	3.27	0.045	4.75	3.02	1.73	87.54	34.95	0.052
64	6.68	3.43	0.043	5.41	3.16	2.25	114.07	44.13	0.051
68	6.88	5.43	0.042	5.45	3.50	1.95	98.67	36.76	0.050
72	6.83	4.84	0.040	5.55	3.83	1.72	86.90	31.48	0.050
78	6.89	5.56	0.037	5.81	4.40	1.41	71.16	25.26	0.049
84	6.76	4.12	0.034	5.48	3.68	1.80	91.04	29.97	0.048
90	6.78	4.32	0.032	5.49	4.13	1.35	68.55	21.32	0.047
96	6.81	4.62	0.030	5.44	3.69	1.76	88.96	24.76	0.045
102	6.87	5.31	0.027	5.54	3.62	1.92	97.30	26.60	0.044
108	6.93	6.10	0.025	5.48	3.53	1.94	98.39	25.80	0.043
114	6.97	6.68	0.023	5.14	2.80	2.34	118.55	28.30	0.042
120	6.98	6.84	0.021	5.34	2.70	2.64	133.49	32.01	0.041
126	6.97	6.68	0.020	5.58	2.89	2.69	136.12	30.57	0.040
132	6.96	6.53	0.018	5.21	2.06	3.15	159.60	35.17	0.039
138	6.98	6.84	0.016	5.33	2.59	2.75	139.05	31.24	0.038
144	6.95	6.38	0.015	4.95	2.26	2.69	136.02	28.84	0.037
150	6.96	6.53	0.014	5.08	2.44	2.64	133.57	27.91	0.036
156	6.90	5.69	0.013	5.67	2.98	2.70	136.50	28.89	0.035
162	6.87	5.31	0.012	5.44	4.42	1.02	51.51	10.63	0.034
168	6.88	5.43	0.011	5.05	3.16	1.88	95.26	18.87	0.033

174	6.88	5.43	0.010	5.59	3.90	1.68	85.13	16.84	0.032
180	6.92	5.96	0.009	4.99	3.76	1.24	62.52	12.20	0.030
186	6.94	6.24	0.009	4.81	3.38	1.43	72.22	14.09	0.029
192	6.98	6.84	0.008	5.12	4.40	0.71	36.07	6.58	0.028
198	6.93	6.10	0.008	4.98	3.66	1.32	66.85	13.11	0.027
204	6.99	7.00	0.008	5.05	4.35	0.70	35.25	6.53	0.026
210	7.01	7.33	0.008	5.36	5.10	0.27	13.44	2.54	0.025
216	7.01	7.33	0.008	5.45	5.18	0.27	13.87	2.58	0.024
222	7.02	7.50	0.008	4.86	4.67	0.19	9.45	1.78	0.023

## D.2.2 Kontinyu

t	pH	[HCO <sup>3-</sup> ] (mM)	d[HCO <sub>3</sub> ]/dt	yCO <sub>2</sub> in	yCO <sub>2</sub> out	ΔyCO <sub>2</sub>	CTR (g/dm <sup>3</sup> .h)	qCO <sub>2</sub> (h <sup>-1</sup> )	CUR (g/dm <sup>3</sup> .h)
0	6.49	2.21	0.059	5.63	5.13	0.50	25.14	32.12	0.047
4	6.51	2.32	0.055	5.50	5.03	0.47	23.93	29.60	0.046
8	6.53	2.43	0.051	5.40	5.11	0.29	14.71	16.52	0.045
12	6.53	2.43	0.047	5.59	5.15	0.44	22.26	20.78	0.044
16	6.56	2.60	0.043	5.27	5.03	0.24	12.02	8.86	0.044
20	6.47	2.11	0.040	5.44	5.21	0.23	11.56	7.89	0.043
24	6.52	2.37	0.036	5.71	5.40	0.31	15.89	10.55	0.042
28	6.5	2.27	0.033	5.20	5.16	0.05	2.39	1.50	0.042
32	6.67	3.35	0.030	5.36	5.18	0.18	9.03	5.68	0.041
36	6.68	3.43	0.027	5.35	5.12	0.23	11.83	7.26	0.040
40	6.56	2.60	0.024	5.66	5.36	0.30	15.25	8.37	0.039
44	6.68	3.43	0.022	5.42	5.24	0.18	9.31	4.80	0.039
48	6.57	2.66	0.019	5.44	5.43	0.002	0.10	0.05	0.038
52	6.72	3.76	0.017	5.90	5.79	0.11	5.55	2.85	0.037
56	6.64	3.13	0.015	5.55	5.32	0.23	11.49	5.39	0.037
60	6.72	3.76	0.013	5.97	5.94	0.03	1.31	0.60	0.036
64	6.74	3.94	0.011	5.67	5.34	0.32	16.26	7.30	0.035
68	6.78	4.32	0.010	5.69	5.37	0.32	16.13	6.95	0.034
72	6.83	4.84	0.008	5.92	5.88	0.04	2.12	0.90	0.034
78	6.69	3.51	0.006	5.52	5.30	0.22	11.15	4.60	0.033
84	6.72	3.76	0.005	5.39	5.11	0.29	14.60	5.93	0.032
90	6.78	4.32	0.003	5.63	5.50	0.12	6.26	2.25	0.030
96	6.78	4.32	0.003	5.33	4.70	0.63	32.10	11.27	0.029
102	6.82	4.73	0.002	5.38	5.37	0.01	0.46	0.15	0.028
108	6.81	4.62	0.002	5.67	4.57	1.11	55.94	18.61	0.027
114	6.75	4.03	0.002	5.53	5.11	0.42	21.38	6.93	0.026

120	6.72	3.76	0.003	5.80	5.59	0.21	10.41	3.21	0.025
126	6.74	3.94	0.004	5.25	4.86	0.39	19.55	5.89	0.024
132	6.75	4.03	0.005	5.56	4.98	0.58	29.17	8.67	0.023
138	6.75	4.03	0.007	5.87	5.25	0.62	31.36	9.52	0.022
144	6.68	3.43	0.009	5.48	4.83	0.65	32.86	9.49	0.021
150	6.69	3.51	0.011	5.62	5.02	0.60	30.46	8.63	0.020
156	6.75	4.03	0.014	5.92	5.54	0.39	19.54	5.63	0.019
162	6.75	4.03	0.017	5.66	5.29	0.37	18.82	5.16	0.018
168	6.77	4.22	0.020	5.74	5.51	0.23	11.55	3.02	0.016
174	6.81	4.62	0.024	5.83	5.45	0.38	19.04	5.37	0.015
180	6.85	5.07	0.028	5.18	5.05	0.13	6.62	1.77	0.014
186	6.86	5.19	0.033	5.18	5.05	0.13	6.45	1.72	0.013
192	6.87	5.31	0.038	5.07	4.96	0.10	5.20	1.42	0.012
198	6.88	5.43	0.043	4.88	4.81	0.07	3.32	0.91	0.011



## LAMPIRAN E

### ELEMENTAL ANALYSIS SEL *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

#### H A S I L TEST RESULT

Nomor Seri : 605/P/13.3/LHU/2009  
Serial Number

Nomor Contoh/ : 2291/09.  
Sample Number

Halaman : 2/2.  
Page

Determination	Unit	Result	Method
		2291 ( Algae )	
Carbon	% wt	22.7815	CHNS Analyzer.
Hydrogen	% wt	6.7767	CHNS Analyzer.
Nitrogen	% wt	5.2845	CHNS Analyzer.
Sulfur	% wt	Trace	CHNS Analyzer.
Oxygen	% wt	**	CHNS Analyzer.

Catatan : \*\* Reaktor rusak.

Ketua Kelompok Analitik & Kimia Terapan

  
Dra. Yuffinawati Away, M.Si.  
NIP: 19550527 198203 2 002.

Personil Laboratorium LEMIGAS akan memberikan pelayanan yang terbaik untuk melaksanakan analisis. Kerahasiaan hasil ini terjamin. Laporan ini hanya berdasarkan sampel yang diuji dan tidak untuk diiklankan.  
LEMIGAS Laboratories personnel will exert its best effort to conduct the analysis. The result obtained are hold in strict confidence. This report relates only to the sample tested and may not be used for advertising purpose.

SEMQuant results. Listed at 11:44:59 on 05/01/10  
 Operator: jaya  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: 0006 Chlorela2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF ( 4 iterations).  
 Analysed all elements and normalised results.

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06  
 N K BN 22/03/06  
 O K AL2O3 17/11/09  
 Na K Orthoclase 22/03/06  
 Mg K MagOxide 22/03/06  
 P K GaP 22/03/06  
 K K Orthoclase 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	7.27	9.89
N K	ED	26.71	31.15
O K	ED	48.54	49.57
Na K	ED	1.45	1.03
Mg K	ED	1.28	0.86
P K	ED	12.10	6.38
K K	ED	2.65	1.11
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

## LAMPIRAN E

### PERHITUNGAN $E_x$ dan $\eta$

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

$$E_o = A \int_0^t (I_i - I_t) dt$$

sedangkan total energi cahaya yang terserap selama masa pertumbuhan adalah:

$$E_i = A \int_0^t I_t dt$$

dengan : A = luas permukaan plat iluminasi ( $m^2$ )

$I_t$  = intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh medium kultur medium ( $W/m^2$ )

$I_i$  = intensitas cahaya yang diterima oleh medium kultur medium ( $W/m^2$ )

t = waktu (jam)

dengan nilai konversi 1 lux =  $2,95 \cdot 10^{-3} W/m^2$

Dan untuk mencari nilai  $E_x$  (energi cahaya yang dimanfaatkan selama pertumbuhan) dan E (energi cahaya yang tersedia selama pertumbuhan) adalah sebagai berikut :

$$E_x = \frac{\int_0^t I_t dt}{\Delta X \cdot s}$$

$$E = \frac{\int_0^t (I_i - I_t) dt}{\Delta X \cdot s}$$

dengan :  $\Delta X$  = berat biomassa yang dihasilkan selama masa pertumbuhan ( $g/dm^3$ )

s = jarak yang ditempuh cahaya didalam medium kultur medium (m)

dengan demikian dapat dicari besarnya nilai efisiensi konversi energi cahaya untuk pembentukan biomassa ( $\eta_{bp}$ ) :

$$\eta_{bp} = \frac{E_x}{E} \times 100 \%$$

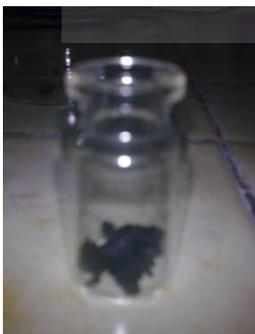
## LAMPIRAN G

### UJI LIPID, KLOOROFIL DAN $\beta$ -KAROTEN

#### Cara Kerja (Metode Bligh & Dyer)

1. Sampel dikeringkan di dalam oven pada suhu  $60^{\circ}\text{C}$
2. Sampel disuspensikan ke dalam pelarut metanol : kloroform : aquades (MeOH:CHCl<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>O) dengan perbandingan 2,5:1,25:1 (Campuran I).
3. Campuran I dishaker selama 2 jam dan didiamkan selama semalam
4. Campuran I kemudian dipindahkan ke dalam wadah gelas baru sedangkan sisa sampel kembali disuspensikan dengan campuran pelarut MeOH:CHCl<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>O dan dishaker selama 1 jam (campuran II)
5. Setelah selesai campuran II digabung dengan campuran I dan ditambahkan pelarut kloroform : aquades 1:1
6. Kemudian dishaker selama 2 jam sehingga terbentuk 2 lapisan
7. Lapisan Organik diambil menggunakan pipet Pasteur dan dicuci dengan larutan NaCl 5% sedangkan lapisan air dicuci dengan kloroform
8. Lapisan organik diambil dan digabung dengan yang sebelumnya kemudian ditambahkan sedikit kristal Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidrat
9. Kristal dipisahkan sedangkan pelarut kloroform diuapkan sehingga diperoleh ekstrak lipid
10. Ekstrak lipid ditentukan massanya secara gravimetri

#### Gambar Percobaan



### Hasil Perhitungan

#### ✓ Culture

Berat sampel = 0,4107

Berat botol kosong = 9,7834

Berat botol akhir = 9,8583

Maka,

$$\text{Lipid} = \frac{\text{Berat botol akhir} - \text{Berat botol kosong}}{\text{Berat Sampel}} \times 100\%$$

$$\text{Lipid} = \frac{9,8583 - 9,7834}{0,4107} \times 100\%$$

$$\text{Lipid} = 18,24 \%$$

#### ✓ Pre-Culture

Berat sampel = 0,4678

Berat botol kosong = 9,8150

Berat botol akhir = 9,9030

Maka,

$$\text{Lipid} = \frac{\text{Berat botol akhir} - \text{Berat botol kosong}}{\text{Berat Sampel}} \times 100\%$$

$$\text{Lipid} = \frac{9,9030 - 9,8150}{0,4678} \times 100\%$$

$$\text{Lipid} = 18,81 \%$$

(P. Manirakiza1, A. Covaci, and P. Schepens, “Comparative Study on Total Lipid Determination using Soxhlet, Roese-Gottlieb, Bligh & Dyer, and Modified Bligh & Dyer Extraction Methods”, Journal of Food Composition and Analysis (2001) 14, 93-100)

## Analisa Klorofil

### Cara Kerja :

1. Campurkan sampel dengan aseton dengan perbandingan 1:1 dalam tabung yang 10 ml
2. Tambahkan glass bead
3. Masukkan ke dalam sonikator  $\pm$  45 menit
4. Sentrifuge  $\pm$  30 menit
5. Lihat absorbansinya pada 645 nm & 663 nm
6. Larutan standarnya aseton

### Perhitungan

$$\text{Chlorophyll a} : 12,7 \times (A_{663}) - 2,69 \times (A_{645})$$

$$\text{Chlorophyll b} : 22,9 \times (A_{645}) - 4,64 \times (A_{663})$$

$$\text{Chlorophyll a+b} : 8,02 \times (A_{663}) + 20,2 \times (A_{645})$$

### Hasil Perhitungan

- Culture

$$\text{Biomassa} = 0,0082 \text{ gr}$$

$$A_{645} = 0,496$$

$$A_{663} = 0,983$$

$$\text{Chlorophyll a} : 12,7 \times (0,983) - 2,69 \times (0,496)$$

$$: 11,15 \text{ mg/L}$$

$$\text{Chlorophyll b} : 22,9 \times (0,496) - 4,64 \times (0,983)$$

$$: 6,8 \text{ mg/L}$$

$$\text{Chlorophyll a+b} : 8,02 \times (0,983) + 20,2 \times (0,496) 7,88+10,02$$

$$: 17,9 \text{ mg/L}$$

$$\text{Total Chlorophyll} = \frac{17,9}{8,2} = 2,18 \frac{\text{mg}}{\text{g}} = 21,8 \text{ ppm}$$

- Pre-Culture

$$\text{Biomassa} = 0,01869 \text{ gr}$$

$$A_{645} = 1,12$$

$$A_{663} = 2,572$$

$$\text{Chlorophyll a} : 12,7 \times (2,572) - 2,69 \times (1,12)$$

$$: 29,65 \text{ mg/L}$$

$$\text{Chlorophyll b} : 22,9 \times (1,12) - 4,64 \times (2,572)$$

$$: 13,71 \text{ mg/L}$$

$$\text{Chlorophyll a+b} : 8,02 \times (2,572) + 20,2 \times (1,12) = 20,63 + 22,624$$

$$: 43,25 \text{ mg/L}$$

$$\text{Total Chlorophyll} = \frac{43,25}{18,69} = 2,31 \frac{\text{mg}}{\text{g}} = 23,1 \text{ ppm}$$

( "*Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*". Edited by Amos Richmond, Blackweel Science, (2004) pp 40-54 )

## Analisa Pigmen Karotenoid

Cara Kerja :

1. Sebanyak 10 ml kultur disentrifuge dengan kecepatan 3500 rpm selama 15 menit kemudian supernatant dibuang
2. Endapan alga dikeringkan dalam oven dengan suhu 70°C
3. Sampel diekstraksi dengan 3 ml etanol, 6 tetes kalium hidroksida 60 % dan 3 ml larutan natrium klorida 0,9 %
4. Sonifikasi selama 15 menit kemudian di sentrifuge dengan kecepatan 3500 rpm selama 15 menit
5. Supernatan yang dihasilkan ditambah 4 ml dietil eter, kemudian dikocok
6. Diperoleh dua lapisan yaitu lapisan bawah berwarna hijau dan lapisan atas berwarna kuning.
7. Supernatan yang berwarna kuning diukur serapan pada panjang gelombang maksimum 450 nm terhadap blanko pereaksi

**Perhitungan :**

$$\text{Karotenoid (mg/L)} = 3,92 \times A_{450}$$

Keterangan : A = Hasil absorbansi

Hasil Analisa

A<sub>450</sub> Culture : 2,357

A<sub>450</sub> Pre-Culture : 2,945

- Culture

$$\text{Karotenoid (mg/L)} = 3,92 \times A_{450}$$

$$\text{Karotenoid} = 9,42 \text{ mg/L}$$

- Pre-Culture

$$\text{Karotenoid (mg/L)} = 3,92 \times A_{450}$$

**Karotenoid = 11,54 mg/L**

(Hanaa H. Abd El-Baky, F. K. El Baz and Gamal S El-Baroty, “*Enhancement of Antioxidant Production in Spirulina Plantesis Under Oxidate Stress*”, American-Eurasian Journal of Scientific Research 2 (2): 170-179, 2007)

(Semenenko, E.V. and A.A. Abdullaev, “*Parametric Control of  $\beta$ -Carotene Biosynthesis in Dunaliella Salina Cells Under Conditions of Intensive Cultivation*” Fiziolojiya Rasteni, 27: 31-41, 1980)

