



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH N<sub>2</sub>O TERHADAP PERTUMBUHAN MIKROALGA  
*Chlorella vulgaris* BUITENZORG**

**SKRIPSI**

**DWI RACHMAT ADITIA  
0405060245**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JULI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH N<sub>2</sub>O TERHADAP PERTUMBUHAN MIKROALGA  
*Chlorella vulgaris* BUITENZORG**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**DWI RACHMAT ADITIA  
0405060245**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
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 : Dwi Rachmat Aditia

NPM : 0405060245

Tanda Tangan :

Tanggal : 2 Juli 2010

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Dwi Rachmat Aditia

NPM : 0405060245

Program Studi : Teknik Kimia

Judul Skripsi : Pengaruh  $N_2O$  Terhadap Pertumbuhan Mikroalga *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. Prof. Dr. Ir. Anondho Wijanarko, M.Eng. (.....)

2. Ir. Dianursanti, M.T. (.....)

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

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah swt, karena atas berkat dan kasih karunia-Nya maka dapat diselesaikan penulisan makalah skripsi ini tepat pada waktunya. Makalah dengan judul “Pengaruh N<sub>2</sub>O Terhadap Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella Vulgaris* Buitenzorg” ini dibuat sebagai syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan mata kuliah skripsi di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Dalam penyusunan makalah ini penulis mendapat bantuan dan perhatian dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Anondho Wijanarko, M.Eng
2. Ir. Dianursanti, M.T

Penulis menyadari bahwa makalah skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu saran dan kritik yang membangun dari pembaca senantiasa diharapkan demi perbaikan penulisan di masa mendatang.

Depok, Juli 2010

Dwi Rachmat Aditia

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

---

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

Nama : Dwi Rachmat Aditia  
NPM : 0405060245  
Program Studi : S1  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Fakultas Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

**Pengaruh N<sub>2</sub>O Terhadap Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 2 Juli 2010

Yang Menyatakan

Dwi Rachmat Aditia

Dwi Rachmat Aditia  
0405060245  
Departemen Teknik Kimia

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

## PENGARUH N<sub>2</sub>O TERHADAP PERTUMBUHAN MIKROALGA *Chlorella vulgaris* BUITENZORG

### ABSTRAK

Mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg merupakan salah satu jenis mikroalga hijau yang umumnya digunakan sebagai penghasil biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai suplemen makanan dan kesehatan, ternyata juga bermanfaat untuk mereduksi pemanasan global yang disebabkan oleh banyaknya aktifitas manusia dalam penggunaan bahan bakar fosil yang semakin meningkat, yaitu dengan melakukan fiksasi CO<sub>2</sub> melalui proses fotosintesis. Namun, pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan gas NO<sub>x</sub> atau N<sub>2</sub>O yang bersifat racun bagi pertumbuhan mikroalga. Pada penelitian ini *Chlorella vulgaris* Buitenzorg akan diuji ketahanannya terhadap N<sub>2</sub>O, ditinjau dari jumlah berat kering sel, laju pertumbuhan spesifik, dan pH kultur. Selain itu juga akan dilakukan metode untuk meningkatkan pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg terhadap gas N<sub>2</sub>O. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg memiliki ketahanan yang cukup baik terhadap N<sub>2</sub>O untuk X<sub>awal</sub> sebesar 0,4 g/l. Metode efektif yang dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan terhadap N<sub>2</sub>O adalah dengan meningkatkan konsentrasi sel awal dan melakukan kontrol pH kultur, dimana dengan adanya kontrol pH, pertumbuhan untuk X<sub>awal</sub> sebesar 0,1 g/l akan sama dengan pertumbuhan untuk X<sub>awal</sub> sebesar 0,4 g/l tanpa kontrol pH.

Kata Kunci: *Chlorella vulgaris* Buitenzorg, Ketahanan, N<sub>2</sub>O, kontrol pH

Dwi Rachmat Aditia  
0405060245  
Chemical Engineering Department

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

**EFFECT OF N<sub>2</sub>O TO THE GROWTH OF *Chlorella vulgaris* BUITENZORG  
MICROALGAE**

**ABSTRACT**

*Chlorella vulgaris* Buitenzorg is a kind of green coloured microalgae that is widely used as biomass producer that can be used as food supplement and health. This microalgae is also can be used to reduce global warming , as a result of fossil fuel combustion, that can be done by CO<sub>2</sub> fixation. Consequently, the combustion of fossil fuel can produce NO<sub>x</sub> or N<sub>2</sub>O that are toxic in the growth of microalgae. In this research, *Chlorella vulgaris* Buitenzorg's strength will be tested for the resistance to N<sub>2</sub>O. There is also a method that can be used effectively to resist the N<sub>2</sub>O's effect. The result of this research shows that *Chlorella vulgaris* Buitenzorg has good resistance against N<sub>2</sub>O for the value of X are 0,4 g/l. The effective method to increase the growth of microalgae with the N<sub>2</sub>O inhibition is using high concentration and by controlling the pH value, which for control pH can increase the growth of X= 0,1 g/l to be likely same as X for X is 0,4 g/l.

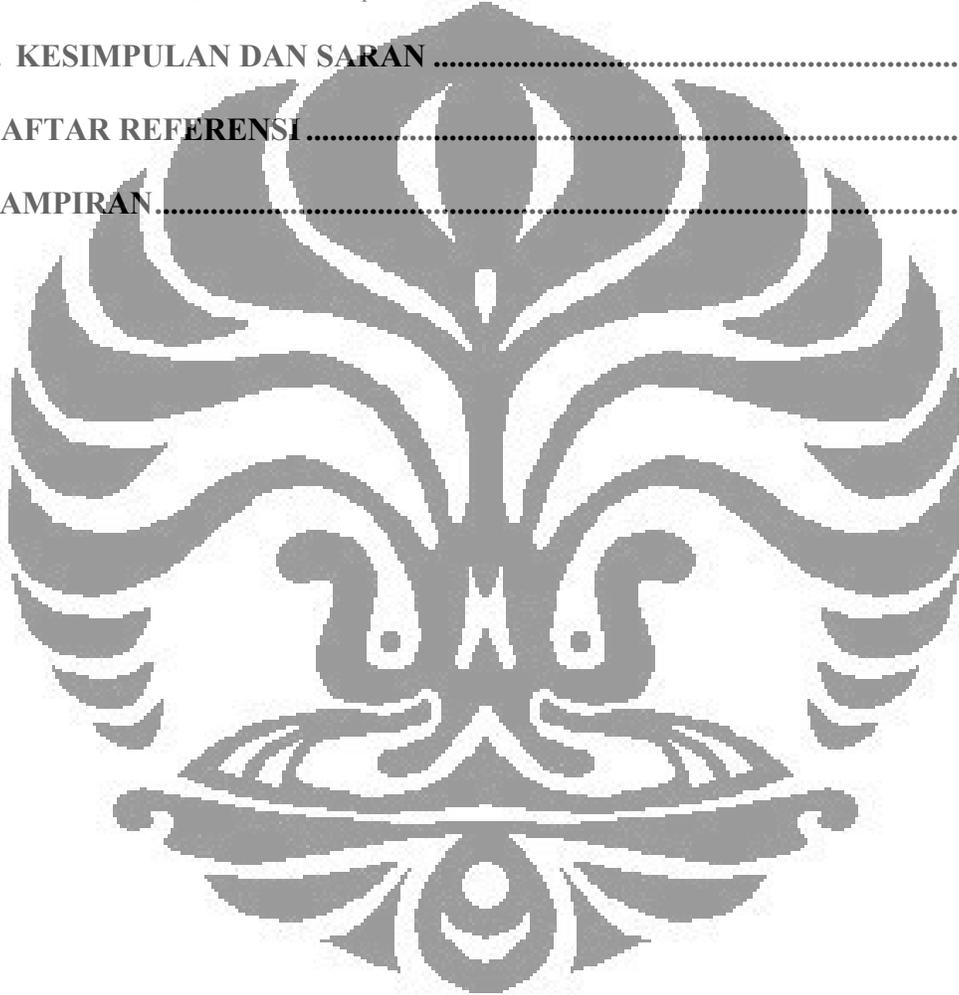
Keywords: *Chlorella vulgaris* Buitenzorg, Resistance, N<sub>2</sub>O, pH control

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR SIMBOL.....	xvi
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penulisan .....	3
1.3.1 Tujuan Umum .....	3
1.3.2 Tujuan Khusus.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Sistematika Penulisan.....	5
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1. Pemanasan Global .....	6
2.2. Gas NO <sub>x</sub> (N <sub>2</sub> O).....	7
2.3. Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i> .....	9
2.3.1 Taksonomi <i>Chlorella vulgaris</i> .....	10
2.3.2 Morfologi <i>Chlorella vulgaris</i> .....	10
2.3.2.1 Inti Sel .....	11
2.3.2.2 Kloroplast .....	12
2.3.2.3 Mitokondria .....	12
2.3.2.4 Dinding Sel.....	12
2.3.2.5 Vakuola.....	12
2.3.3 Fase Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i> .....	13
2.3.3.1 Fase Lag .....	13
2.3.3.2 Fase Eksponensial (Logaritmik).....	13
2.3.3.3 Fase Stasioner.....	14
2.3.3.4 Fase Kematian ( <i>death phase</i> ).....	14
2.3.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i> .....	14
2.3.4.1 Jenis Medium .....	14
2.3.4.2 Pencahayaan.....	15
2.3.4.2.1 Alterasi .....	15

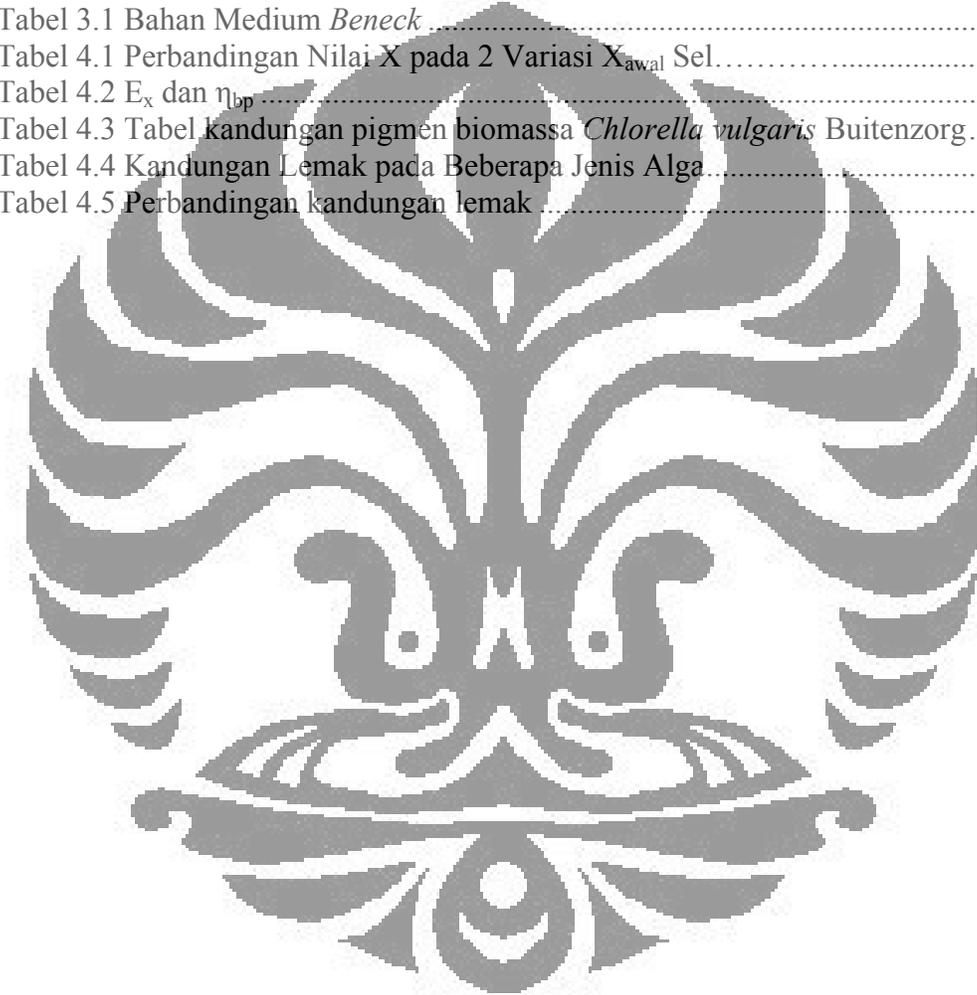
2.3.4.2.2	Pencahayaan Kontinu .....	16
2.3.4.2.3	Terang Gelap .....	16
2.3.4.3	Konsentrasi CO <sub>2</sub> .....	16
2.3.4.4	pH.....	17
2.3.4.5	Temperatur .....	17
2.3.4.6	Flowrate.....	17
2.4	Fotosintesis.....	17
2.5	Fotosintesis Pada <i>Chlorella vulgaris</i> .....	20
2.6	Fotobioreaktor Kolom Gelembung .....	21
2.6.1	Jenis Fotobioreaktor Kolom Gelembung .....	23
2.6.2	Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Organisme Dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung .....	26
2.6.2.1	Jenis Alga.....	26
2.6.2.2	Tipe Sumber Cahaya.....	26
2.6.2.3	Intensitas Cahaya .....	27
2.6.2.4	Cahaya .....	29
<b>3.</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>30</b>
3.1.	Diagram Alir Penelitian .....	30
3.2.	Alat dan Bahan Penelitian .....	31
3.2.1	Alat Penelitian.....	31
3.2.2	Bahan Penelitian .....	33
3.3	Variabel Penelitian .....	33
3.4	Prosedur Penelitian.....	33
3.4.1	Sterilisasi Peralatan .....	34
3.4.2	Pembuatan Rangkaian Alat .....	35
3.4.3	Pembuatan Medium Benceck.....	36
3.4.4	Pembiakan Kultur Murni.....	36
3.4.5	Pembuatan Kurva Kalibrasi OD vs $N_{sel}$ dan OD vs $X_{sel}$ .....	37
3.4.5.1	Kurva Kalibrasi OD vs $N_{sel}$ .....	37
3.4.5.2	Kurva Kalibrasi OD vs $X_{sel}$ .....	37
3.4.6	Penentuan Jumlah Inokulum <i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg.....	37
3.4.6.1	Prosedur Penggunaan Mikroskop .....	38
3.4.6.2	Prosedur Penggunaan Spektrofotometer.....	38
3.4.7	Variasi konsentrasi sel awal ( $X_{sel}$ ) Inokulum .....	39
3.4.8	Pengambilan Data .....	40
3.5	Metode Perhitungan Hasil Observasi Data .....	40
3.5.1	Pengolahan Data OD <sub>600</sub> .....	40
3.5.2	Pengolahan Data pH.....	41
<b>4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
4.1.	Pembahasan Umum.....	43
4.2.	Pengaruh N <sub>2</sub> O Terhadap Pertumbuhan <i>Chorella vulgaris</i> Buitenzorg.....	45
4.2.1.	Pengaruh N <sub>2</sub> O Terhadap <i>Chorella vulgaris</i> Buitenzorg .....	

dengan $X_{awal} = 0,4 \text{ g/l}$ .....	46
4.2.2. Pengaruh $N_2O$ Terhadap <i>Chorella vulgaris</i> Buitenzorg Pada Berbagai Variasi Konsentrasi Awal.....	48
4.3. Pengaruh Gas $N_2O$ Terhadap <i>Chorella vulgaris</i> Buitenzorg Disertai Pengontrolan pH .....	51
4.4.1 Pengaruh Pengontrolan pH pada Ketahanan <i>Chlorella</i> <i>vulgaris</i> Buitenzorg Terhadap $N_2O$ untuk $X_{awal}$ : 0,1 g/l.....	52
4.4. Perhitungan $qCO_2$ dan CTR.....	57
4.5. Perhitungan $E_x$ dan $\eta_{bp}$ .....	60
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>61</b>
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>62</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>63</b>



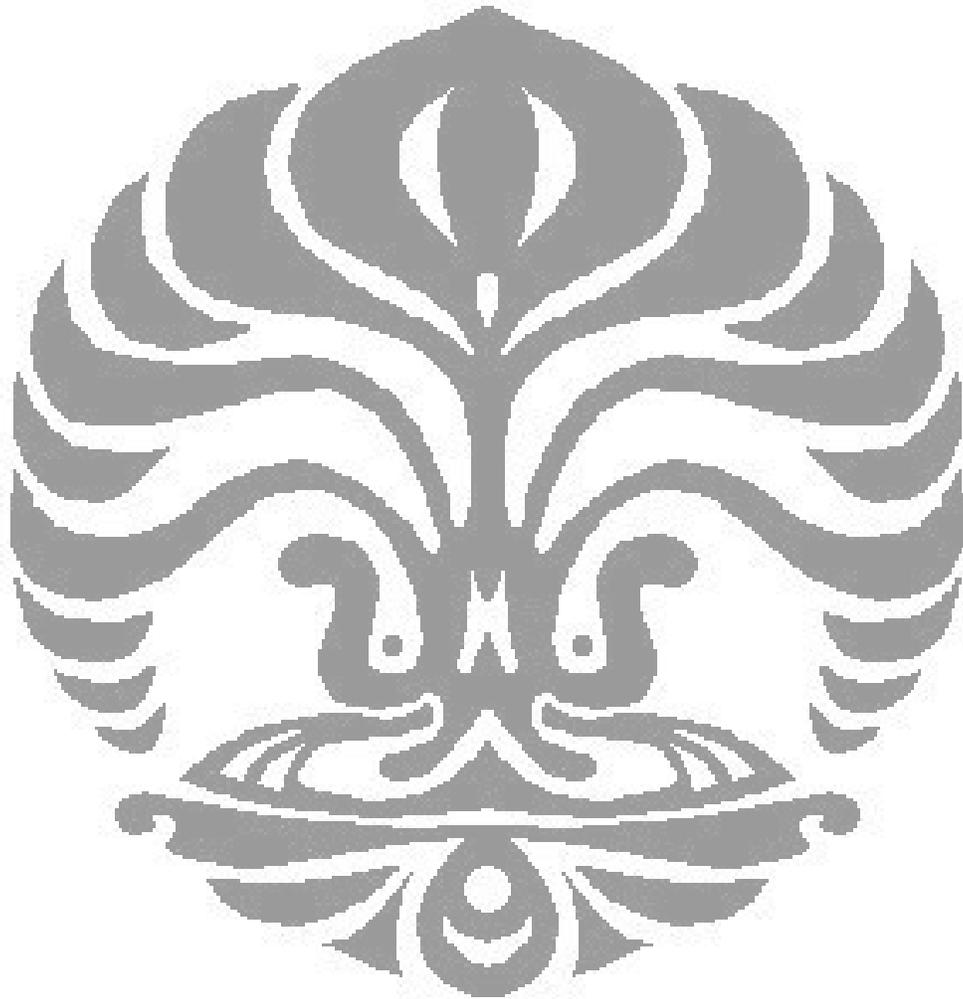
## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Global Warming Potensial</i> Untuk Beberapa GRK Terhadap CO <sub>2</sub> Dalam Waktu 100 Tahun (GWP Tahun 1990) .....	8
Tabel 2.2 Perbandingan Komposisi Nutrisi Medium Pembiakan <i>Chlorella vulgaris</i> .( Wirosaputro, 2002.) .....	15
Tabel 2.2 Karakteristik Beberapa Jenis Fotobioreaktor.( link.springer.de, 2008) .	19
Tabel.2.3 Penelitian-penelitian yang sudah dilakukan.....	29
Tabel 3.1 Bahan Medium <i>Beneck</i> .....	36
Tabel 4.1 Perbandingan Nilai X pada 2 Variasi X <sub>awal</sub> Sel.....	54
Tabel 4.2 E <sub>x</sub> dan $\eta_{bp}$ .....	62
Tabel 4.3 Tabel kandungan pigmen biomassa <i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg.....	64
Tabel 4.4 Kandungan Lemak pada Beberapa Jenis Alga.....	65
Tabel 4.5 Perbandingan kandungan lemak .....	66



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur molekul N <sub>2</sub> O (www.wikipedia.org) .....	7
Gambar 2.2 Koloni <i>Chlorella vulgaris</i> ( nies.go.jp/biology/mcc/images/PCD5008/0384L.jpg, 2008.) .....	10
Gambar 2.3 Struktur Sel <i>Chlorella vulgaris</i> .( merops.sanger.ac.uk, 2008.).....	11
Gambar 2.4 Kurva Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i> .(sp.uconn.edu, 2008) .....	13
Gambar 2.5 Fotobioreaktor Kolom Gelembung .....	22
Gambar 2.6 Fotobioreaktor Terbuka untuk Pemiakan <i>Chlorella vulgaris</i> . chlorella-world.com,2008) .....	23
Gambar 2.7 Spektra Absorpsi dari Berbagai Pigmen.( Kommareddy, 2004.).....	27
Gambar 2.8 Pengaruh dari Intensitas Cahaya Terhadap Laju Pertumbuhan Sel. ( Kommareddy, 2004.) .....	28
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 3.2 Rangkaian alat penelitian.....	35
Gambar 4.1 Perbandingan pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris Buitenzorg</i> dengan X awal: 0,4 g/l.....	46
Gambar 4.2 Perbandingan $\mu$ <i>Chlorella vulgaris Buitenzorg</i> dengan inhibisi N <sub>2</sub> O dan tanpa inhibisi N <sub>2</sub> O dengan X <sub>awal</sub> : 0,4 g/l .....	47
Gambar 4.3 Perbandingan $\mu$ <i>Chlorella vulgaris Buitenzorg</i> Pada 2 Variasi Sel Awal.....	49
Gambar 4.4 Perbandingan pH <i>Chlorella vulgaris Buitenzorg</i> Pada 2 Variasi Sel Awal .....	51
Gambar 4.5 Perbandingan [HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] <i>Chlorella vulgaris Buitenzorg</i> Pada 2 Variasi Sel Awal.....	51
Gambar 4.6 Perbandingan Nilai X <i>Chlorella vulgaris Buitenzorg</i> Pada 2 Variasi Sel Awal.....	53
Gambar 4.7 Perbandingan pH <i>Chlorella vulgaris Buitenzorg</i> Pada Pengontrolan pH Kultur Untuk X <sub>awal</sub> : 0,1 g/l .....	56
Gambar 4.8 Perbandingan nilai [HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] <i>Chlorella vulgaris Buitenzorg</i> Pada Pengontrolan pH Kultur X <sub>awal</sub> : 0,1 g/l.....	57
Gambar 4.9 Perbandingan X terhadap waktu pada pengontrolan pH kultur Untuk X <sub>awal</sub> : 0,1 g/l.....	59
Gambar 4.10 Perbandingan $\mu$ terhadap waktu pada pengontrolan pH kultur Untuk X <sub>awal</sub> : 0,1 g/l.....	60
Gambar 4.11 Perbandingan Nilai CTR dengan inhibisi N <sub>2</sub> O dan tanpa N <sub>2</sub> O.....	61
Gambar 4.12 Perbandingan Nilai qCO <sub>2</sub> dengan inhibisi N <sub>2</sub> O dan tanpa N <sub>2</sub> O.....	62



## DAFTAR SIMBOL

$\alpha_{\text{kaca}}$	= Efisiensi penyerapan cahaya oleh permukaan kaca bioreaktor
$A$	= Luas permukaan plat iluminasi ( $\text{m}^2$ )
$A_H, B_H, C_H$	= Konstanta $H_{\text{CO}_2}$ pada Persamaan Henry [-]
$A_K, B_K, C_K$	= Konstanta $K_{\text{CO}_2}$ pada Persamaan Henry [-]
$C_{\text{O}_2}^*$	= Konsentrasi oksigen terlarut dalam keadaan jenuh
$C_{\text{O}_2}$	= Konsentrasi oksigen terlarut pada $t$
$\varepsilon$	= Gas hold up
$f$	= Laju alir flow meter yang telah dikalibrasi
$I$	= Intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh kultur medium dalam bioreaktor (lux)
$I_b$	= Intensitas cahaya yang keluar dari bioreaktor (lux)
$I_i$	= Intensitas cahaya yang diterima oleh kultur medium dalam bioreaktor (lux)
$I_o$	= Intensitas cahaya yang diterima oleh kultur medium dalam bioreaktor (lux)
$N_{\text{sel}}$	= Kerapatan sel (sel/L)
$P$	= Tekanan operasional (atm)
$s$	= Jarak yang ditempuh cahaya dalam kultur medium (m)
$T$	= Temperatur Operasional (K)
$t$	= Waktu
$U_G$	= Kecepatan superficial gas (m/h)
$\mu$	= Laju pertumbuhan sel ( $\text{jam}^{-1}$ )
$V_G$	= Volume gas di dalam reaktor ( $\text{m}^3$ )
$V_L$	= Volume liquid di dalam reaktor ( $\text{m}^3$ )
$X$	= Berat kering sel (g/l)

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dampak pencemaran udara merupakan masalah serius yang sedang kita hadapi. Hal ini disebabkan karena semakin meningkatnya aktivitas kegiatan ekonomi manusia, di antaranya dengan semakin pesatnya perkembangan proses industrialisasi dan sistem transportasi. Sebagai konsekuensi logis, maka semakin meningkat pula emisi yang dikeluarkan dari kegiatan proses industri maupun transportasi tersebut. Keberadaan emisi gas buang di udara ini tentu akan berpengaruh terhadap proses-proses fisik dan kimia yang terjadi di udara.

Dari pembakaran yang terjadi pada industri dan sistem transportasi dihasilkan emisi gas buang yang merupakan salah satu sumber polutan. Emisi gas buang yang dihasilkan berupa karbonmonoksida (CO), karbondioksida (CO<sub>2</sub>), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), hidrokarbon (HC) bahan bakar yang tidak terbakar, oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>) dan partikel-partikel lain.

Hasil pembakaran ini, khususnya CO<sub>2</sub>, merupakan penyebab utama dari pemanasan global, dimana CO<sub>2</sub> mempunyai kontribusi paling besar bagi kenaikan suhu bumi, yaitu sebesar 85% dari total persentase gas rumah kaca. Berdasarkan pengamatan para ahli lingkungan di Amerika Serikat, permukaan bumi telah mengalami peningkatan suhu secara signifikan dalam satu abad terakhir (Jurnal Informasi Nuklir Indonesia, Vol.1,2001). Peningkatan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> pada atmosfer yang disebabkan karena pembakaran bahan bakar fosil telah menjadi masalah lingkungan yang serius. Beberapa teknologi telah dikembangkan untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub>. Pemerintah di beberapa negara telah mencoba mencari cara untuk mengurangi emisi gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan. Usaha tersebut kemudian dilanjutkan dengan usaha pemanfaatan gas CO<sub>2</sub> tersebut, di antaranya melalui proses fiksasi CO<sub>2</sub>.

Salah satu cara yang sedang dikembangkan saat ini yaitu fiksasi CO<sub>2</sub> menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Jenis mikroalga ini merupakan

mikroalga hijau bersel tunggal mengandung gizi, vitamin, asam amino, serta asam lemak yang cukup tinggi. Nilai gizi dari *Chlorella vulgaris* Buitenzorg tinggi karena kandungan klorofil, dinding sel, betakaroten, protein diatas 58% dan CGF (*Chlorella Growth Factor*) (Surawira,2005). *Chlorella vulgaris* Buitenzorg merupakan mikroasel yang koloninya berwarna hijau. Warna hijau ini disebabkan karena mikroasel ini banyak mengandung klorofil (28,9 g/kg berat biomassa) atau sebanyak 3% (Surawiria, 2005). Dalam fotosintesis, *Chlorella sp.* membutuhkan CO<sub>2</sub> dengan bantuan cahaya matahari, klorofil mampu mengubah air dan zat asam arang menjadi oksigen serta bahan makanan yang sangat dibutuhkan oleh manusia. Pertumbuhan optimum dapat dicapai apabila faktor-faktor pendukung pertumbuhan salah satunya gas CO<sub>2</sub>, yang disuplai ke mikroalga *Chlorella sp.* tersebut sesuai dengan kebutuhan.

Permasalahan utama dalam fiksasi CO<sub>2</sub> dari gas hasil pembakaran menggunakan mikroalga adalah efek inhibisi oleh nitrogen oksida yang terkandung di dalam gas, dimana senyawa beracun tersebut dapat menghambat pertumbuhan mikroalga. Untuk mengaplikasikan fiksasi CO<sub>2</sub> dengan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada skala besar perlu diketahui faktor ketahanan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg terhadap NO<sub>x</sub> yang terkandung di dalam udara. Hal ini diperlukan untuk merancang sistem yang akan digunakan dalam fiksasi CO<sub>2</sub> dengan mikroalga agar dapat mencapai hasil yang optimal.

Berbagai penelitian mengenai ketahanan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg terhadap gas-gas hasil pembakaran telah banyak dilakukan, seperti pada penelitian yang menyimpulkan bahwa level CO<sub>2</sub> ditemukan dalam gas hasil pembakaran dapat menjadi penghambat pada pertumbuhan alga (Silva dan Pirt, 1984). Selain itu, diteliti pula mengenai toleransi CO<sub>2</sub> yang tinggi memperlihatkan tingkat pertumbuhan yang tinggi pada 15% konsentrasi CO<sub>2</sub> (Hanagata et al, 1992; Kodama et al, 1993; Sung et al, 1998a).

Penelitian yang membahas mengenai ketahanan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg terhadap NO<sub>x</sub> juga dilakukan, seperti penelitian mengenai toleransi dari sebuah mikroalga pada NO<sub>x</sub> yang bergantung pada konsentrasi sel yang didapatkan setelah inokulasi dari pembiakan (Hauck et al, 1996; Kurano et al, 1995; Yoshihara et al, 1996). Selain itu, terdapat pula penelitian mengenai *Chlorella* HA-1 yang tidak dihambat

dengan 50 ppm NO tetapi bentuk ini tidak dapat tumbuh pada 50 ppm SO<sub>2</sub> (Yanagi et al 1995). Dan ada pula penelitian mengenai sebuah mikroalga laut, bentuk NOA-113, yang benar-benar dihambat jika gas hasil pembakaran yang ditiru mengandung 300 ppm NO disediakan pada konsentrasi sel lebih rendah daripada 1,0 g/l, dimana alga itu dapat tumbuh dengan baik ketika gas model itu disediakan pada konsentrasi sel 1,5 g/l (Yoshihara et al, 1996). Penelitian kali ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari salah satu senyawa oksida nitrogen, yaitu N<sub>2</sub>O, terhadap pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.

Hasil yang diperoleh diharapkan dapat dijadikan acuan dalam penelitian selanjutnya dalam mengoptimalkan proses fiksasi CO<sub>2</sub> dengan menguji ketahanan alga terhadap emisi industri dan transportasi yang terkandung di dalam udara, khususnya terhadap senyawa oksida nitrogen, yaitu N<sub>2</sub>O. Penelitian ini juga diharapkan dapat dijadikan salah satu alternatif dalam mengatasi permasalahan pemanasan global yang sedang kita hadapi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh gas N<sub>2</sub>O terhadap pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg?
2. Bagaimana menentukan metode untuk meningkatkan ketahanan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg terhadap gas N<sub>2</sub>O?

## 1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan penelitian ini terbagi atas tujuan umum dan tujuan khusus.

### 1.3.1 Tujuan Umum

Tujuan umum penelitian ini adalah untuk mendapatkan data yang nantinya akan diolah dan dianalisis menjadi suatu laporan skripsi, sebagai salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

### 1.3.2 Tujuan Khusus

Tujuan khusus penelitian ini adalah :

1. Mengkaji pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg terhadap gas N<sub>2</sub>O.
2. Menentukan metode untuk meningkatkan pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg terhadap gas N<sub>2</sub>O.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bioproses Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia.
2. Mikroalga yang digunakan adalah *Chlorella vulgaris* yang berasal dari koleksi kultur Sub Balai Penelitian Air Tawar Depok, Dinas Kelautan dan Perikanan.
3. Jenis medium kultur yang digunakan adalah medium Beneck.
4. Sistem reaktor yang digunakan adalah fotobioreaktor berbentuk aquarium dengan volume 18 dm<sup>3</sup> yang dialiri gas buang proses industri.
5. Gas yang digunakan sebagai *carbon source* bagi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg adalah gas CO<sub>2</sub>.
6. Gas yang digunakan sebagai polutan adalah N<sub>2</sub>O, dengan komposisi sesuai dengan hasil analisis gas buang proses industri.
7. Pencahayaan dilakukan dengan kontinyu, menggunakan lampu Phillip Halogen 20 W/12 V/50 HZ.
8. Perhitungan sel (N) dan berat kering (X) dilakukan dengan menggunakan metode spektroskopi cahaya tampak pada  $\lambda = 600 \text{ nm}$  (OD<sub>600</sub>).
9. Suhu operasional yang digunakan adalah suhu ruang sekitar 29<sup>0</sup>C dan tekanan 1 atm.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang dilakukan dalam penulisan skripsi ini adalah:

**BAB 1**   Pendahuluan

Berisi latar belakang, rumusan masalah penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah yang digunakan, dan sistematika penulisan.

**BAB 2**   Tinjauan Pustaka

Berisi teori dasar penelitian yang digunakan untuk menjelaskan masalah.

**BAB 3**   Metode Penelitian

Berisi tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini.

**BAB 4**   Hasil dan Pembahasan

Berisi analisis dan pembahasan dari hasil penelitian berupa data yang diperoleh.

**BAB 5**   Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dan saran dari analisis dan pembahasan hasil penelitian.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai beberapa topik yang mendasari penelitian yang akan dilakukan. Beberapa informasi yang akan dibahas adalah tentang pemanasan global, mikroalga *Chlorella vulgaris*, proses fotosintesis secara umum ataupun oleh mikroalga, biofiksasi secara umum, pencahayaan kontinyu dan fotobioreaktor.

#### 2.1 Pemanasan Global

Pemanasan Global merupakan fenomena meningkatnya temperatur rata-rata atmosfer, laut dan daratan Bumi. Pemanasan Global disebabkan diantaranya oleh “Greenhouse Effect” atau yang kita kenal dengan Efek rumah kaca. Efek rumah kaca disebabkan karena naiknya konsentrasi gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan gas-gas lainnya di atmosfer. Kenaikan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> ini disebabkan oleh kenaikan pembakaran bahan bakar minyak (BBM), batu bara dan bahan bakar organik lainnya yang melampaui kemampuan tumbuhan-tumbuhan dan laut untuk mengabsorbsinya.

Ancaman besar dari pemanasan global ini sudah terlihat dalam beberapa dekade terakhir ini. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* menunjukkan suhu permukaan global akan meningkat 1.1 hingga 6.4 °C (2.0 hingga 11.5 °F) antara tahun 1990 dan 2100. Perbedaan angka perkiraan itu dikarenakan oleh penggunaan skenario-skenario berbeda mengenai emisi gas-gas rumah kaca di masa mendatang, serta model-model sensitivitas iklim yang berbeda. Walaupun sebagian besar penelitian terfokus pada periode hingga 2100, pemanasan dan kenaikan muka air laut diperkirakan akan terus berlanjut selama lebih dari seribu tahun walaupun tingkat emisi gas rumah kaca telah stabil. Ini mencerminkan besarnya kapasitas panas dari lautan. (Wikipedia.org, 2008)

Meningkatnya suhu global diperkirakan akan menyebabkan perubahan-perubahan yang lain seperti naiknya permukaan air laut, meningkatnya intensitas fenomena cuaca yang ekstrim, serta perubahan jumlah dan pola presipitasi. Akibat-

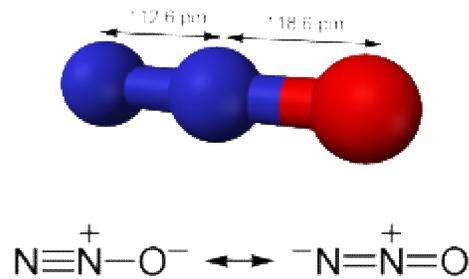
akibat pemanasan global yang lain adalah terpengaruhnya hasil pertanian, hilangnya gletser, dan punahnya berbagai jenis hewan.

Di Indonesia tanda-tanda perubahan iklim akibat dari pemanasan global sudah lama terlihat. Diantaranya adalah interval waktu antara musim penghujan dan musim kemarau yang tidak sama. Kita pernah mengalami musim kemarau yang cukup panjang, antara lain tahun 1982-1983, 1987, dan 1981, kemarau panjang ini telah berdampak buruk bagi vegetasi di hutan Kalimantan, Sumatera dan lain sebagainya. Hal ini disebabkan karena pemanasan global ini mengakibatkan kebakaran hutan yang cukup luas. Hampir 3,6 juta hektar hutan habis di daerah Kalimantan akibat kebakaran pada tahun 1983. Musim kemarau yang berkepanjangan pada tahun 1991 sangat merugikan bagi petani, hal ini dikarenakan petani tidak bisa mengolah sawah mereka, hal ini berimbas pada penurunan produksi gabah nasional yaitu dari tingkat produksi sebesar 46,451 juta ton (sebelum terkena kemarau panjang) menjadi 44,127 juta ton.

Sedangkan World Wide Fund for Nature menganalisis kondisi di masa depan Indonesia menggunakan tiga skenario yaitu dengan sensitivitas iklim rendah (kenaikan suhu 1,5 derajat celcius), medium (2,5 derajat celcius), dan tinggi (4,5 derajat celcius). Jika analisis dari World Wide Fund for Nature tersebut benar, maka permukaan laut akan naik antara 2-10 cm per sepuluh tahun, sedangkan hasil dari observasi kenaikan permukaan air laut abad lalu adalah antara 1-2 cm per sepuluh tahun. Hal ini merupakan fenomena yang harus kita hadapi dan kita singkapi bersama.

## 2.2 Gas Dinitrogen Monoksida ( $N_2O$ )

Dinitrogen Monoksida ( $N_2O$ ), yang juga dikenal dengan sebutan gas tawa karena efek euforia yang ditimbulkan ketika menghirupnya, merupakan gas anestetik lemah yang digunakan dalam pembedahan dan kedokteran gigi. Gas ini pertama kali dihasilkan pada tahun 1775 oleh Joseph Priestley. Gas dinitrogen monoksida ini juga kadang digunakan dalam duniaomotif sebagai penambah kecepatan dan digunakan pula dalam penyelaman untuk mempersiapkan para penyelam terhadap efek *nitrogen narcosis*.



Gambar 2.1 Struktur molekul  $\text{N}_2\text{O}$  (www.wikipedia.org)

$\text{N}_2\text{O}$  merupakan gas rumah kaca terbanyak keempat di atmosfer setelah  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , dan uap air. Gas  $\text{N}_2\text{O}$  sangat sulit terurai di atmosfer dan diperkirakan mempunyai waktu tinggal di atmosfer sekitar 170 tahun. Selain itu,  $\text{N}_2\text{O}$  juga merupakan salah satu gas yang memberi kontribusi terbesar pada pemanasan global. Dampak gas rumah kaca terhadap pemanasan global sangat bervariasi. Untuk jumlah yang sama, gas rumah kaca yang berbeda mempunyai dampak pemanasan global yang berbeda. Untuk membandingkan dampak yang bervariasi ini, digunakanlah indeks potensi pemanasan global (*Global Warming Potential=GWP*). Indeks GWP menggunakan  $\text{CO}_2$  sebagai tolok ukur. Hal ini berarti, GWP ditentukan dengan membandingkan efek radiasi gas rumah kaca di atmosfer terhadap  $\text{CO}_2$  dalam jumlah yang sama. Dari indeks GWP ini diketahui bahwa 1 ton emisi gas  $\text{N}_2\text{O}$  dampaknya sama dengan 320 ton emisi gas  $\text{CO}_2$ . Tabel 2.1 menunjukkan *Global Warming Potential* untuk beberapa GRK terhadap  $\text{CO}_2$  dalam waktu 100 tahun (GWP tahun 1990).

Tabel 2.1 *Global Warming Potential* untuk beberapa GRK terhadap  $\text{CO}_2$  dalam waktu 100 Tahun (GWP Tahun 1990)

Gas	<i>Global Warming Potential (GWP)</i>
$\text{CO}_2$	1,0
$\text{CH}_4$	24,5
$\text{N}_2\text{O}$	320,0
$\text{CO}$	3,0
$\text{NO}_x$	290,0

Sumber: *ALGAS National Workshop Proceedings*, Maret 1997

Seperti telah disebutkan sebelumnya, dampak dari gas  $N_2O$  ini terhadap pemanasan global dapat mencapai 320 kali lebih besar daripada  $CO_2$  meskipun sifat pemanasan radiasinya lebih rendah. Selain  $N_2O$ , gas nitrogen oksida lain juga memberikan dampak terhadap pemanasan global secara tidak langsung melalui kontribusi terhadap produksi ozon troposferik pada proses pembentukan *smog*.

$N_2O$  banyak diemisikan oleh bakteri pada tanah. Kegiatan pertanian seperti penanganan limbah binatang dan penyuburan tanah dapat memicu bakteri untuk memproduksi  $N_2O$  lebih banyak. Sektor peternakan diketahui menghasilkan 60% emisi  $N_2O$ , sementara sektor perindustrian menghasilkan 17% emisi  $N_2O$ . Hal ini dapat pula terlihat pada produksi nilon dan asam nitrat serta pembakaran bahan bakar pada mesin pembakaran internal.

### 2.3 Mikroalga *Chlorella vulgaris*

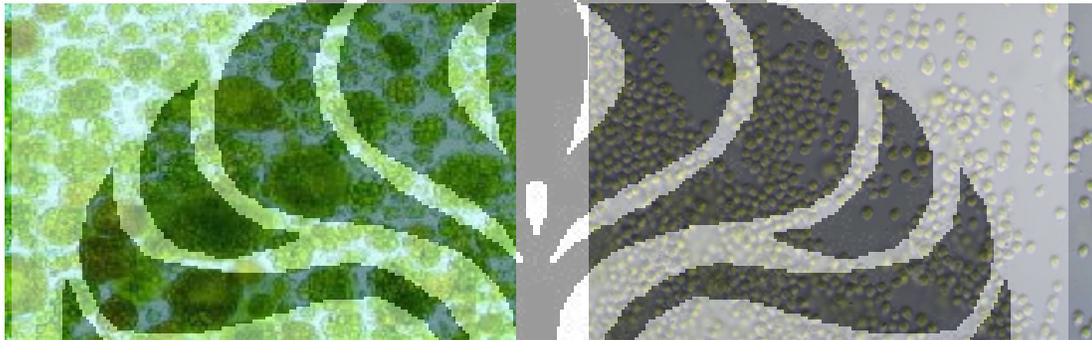
*Chlorella vulgaris* merupakan mikroalga yang termasuk dalam golongan alga hijau (*Chlorophyta*) dengan bentuk tubuh bulat, bulat lonjong dengan garis tengah sel antara 2 – 8  $\mu m$ . Perkembangbiakannya dengan pembelahan sel dan dengan pembentukan spora. Meskipun demikian waktu generasinya sangat cepat. Organisme ini bersifat fotoautotrof atau dapat mensintesis makanan sendiri melalui reaksi fotosintesis dengan bantuan energi dari cahaya matahari. ([chlorella-world.com/yaeyama.html](http://chlorella-world.com/yaeyama.html), 2008.)

*Chlorella vulgaris* merupakan mikroorganisme yang cukup unik karena memiliki komponen biomassa penyerap cahaya dengan konsentrasi tinggi melebihi seluruh organisme fotoautotrof yang lain, termasuk tanaman tingkat tinggi. ([chlorellafactor.com](http://chlorellafactor.com), 2008.) Mikroalga ini merupakan mikroalga primitif yang telah ada sejak 2,5 miliar tahun yang lalu. Namun populasinya masih dapat bertahan sampai sekarang karena beberapa sebab, yaitu :

1. Kestabilan sifat genetik dari pengaruh luar.
2. Memiliki daya dan mekanisme perbaikan DNA yang tinggi untuk beradaptasi dengan lingkungannya yang baru.

3. Bentuk dan sifat dinding sel yang sangat kuat sehingga tahan terhadap pengaruh luar. (Suriawiria, 2005)

*Chlorella vulgaris* hidup secara berkoloni dalam jumlah besar. Lingkungan tempat hidupnya secara umum akan didapatkan di mana-mana, terutama pada tempat lembab dan berair. Bahkan beberapa jenis bersimbiosis dengan jamur membentuk lumut kerak (*Lichenes*) atau hidup di antara jaringan *Hydra*. Sistem koloni *Chlorella vulgaris* dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2.2 Koloni *Chlorella vulgaris*.  
(nies.go.jp/biology/mcc/images/PCD5008/0384L.jpg, 2008.)

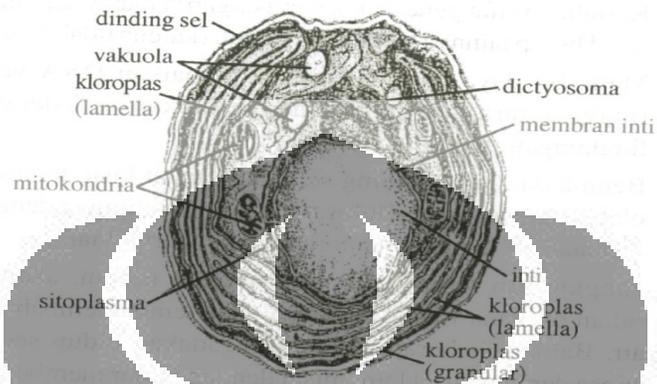
### 2.3.1 Taksonomi *Chlorella vulgaris*

Berdasarkan taksonominya, *Chlorella vulgaris* memiliki klasifikasi sebagai berikut :

Superkingdom	:	<i>Eukaryota</i> .
Kingdom	:	<i>Viridiplantae</i> .
Subkingdom	:	<i>Phycobionta</i> .
Filum	:	<i>Chlorophyta</i>
Kelas	:	<i>Trebouxiophyceae</i> .
Ordo	:	<i>Chlorellales</i> .
Famili	:	<i>Chlorellaceae</i> .
Genus	:	<i>Chlorella</i> . (merops.sanger.ac.uk, 2008.)

### 2.3.2 Morfologi *Chlorella vulgaris*

*Chlorella vulgaris* adalah organisme bersel tunggal atau *uniselular*. Struktur sel dari *Chlorella vulgaris* dapat dilihat pada Gambar II.2.



Gambar 2.3 Struktur Sel *Chlorella vulgaris*. (merops.sanger.ac.uk, 2008.)

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

#### 2.3.2.1 Inti Sel

Inti Sel (*nukleus*) merupakan suatu struktur dengan ukuran yang besar dan dikelilingi oleh sitoplasma. [chem.mtu.edu, 2008.] Inti sel ini dilindungi oleh sebuah membran. Bagian ini memiliki peran yang sangat penting karena bertugas mengatur seluruh aktivitas sel seperti berfotosintesis dan berkembang biak.

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 Nucleic 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.)

### 2.3.2.2 Kloroplast

Kloroplast merupakan jaringan berbentuk cangkir atau lonceng. Kloroplast 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. (chem.mtu.edu, 2008.)

### 2.3.2.3 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. (chem.mtu.edu, 2008.)

### 2.3.2.4 Dinding Sel

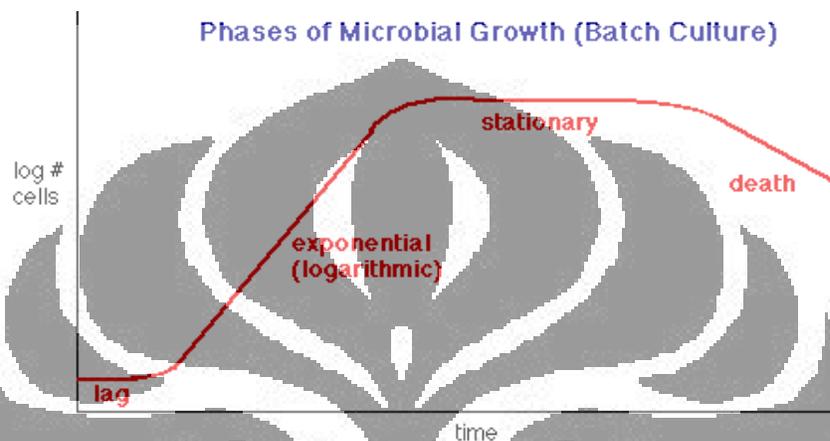
Dinding sel tersusun dari *selulosa*, *hemiselulosa*, dan *lignin*. Dinding sel ini berfungsi untuk melindungi bagian dalam sel dari pengaruh luar. Bagian ini mengandung serat yang dapat dikonsumsi oleh manusia sebagai makanan sehat. (Wirosaputro, 2002.)

### 2.3.2.5 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 besar. (chem.mtu.edu, 2008)

### 2.3.3 Fase Pertumbuhan *Chlorella vulgaris*

Pertumbuhan sel dari *Chlorella vulgaris* terdiri dari empat fase yaitu fase lag, fase eksponensial (logaritmik), fase stasioner, dan fase kematian. Keempat fasa tersebut dapat ditunjukkan dengan kurva jumlah sel vs waktu seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Kurva Pertumbuhan *Chlorella vulgaris*. (sp.uconn.edu, 2008)

#### 2.3.3.1 Fase Lag

Fase Lag adalah fase pertumbuhan dari mikroorganisme pertama setelah organisme tersebut lama tidak berkembang biak karena pengaruh luar, misalnya karena pergantian media. Pada fase lag ini sel-sel yang telah ada akan kehabisan nutrisi dan tidak lagi melakukan aktivitas pertumbuhan yang aktif, namun hanya mencoba beradaptasi dengan lingkungan yang baru. Pada fase ini diperlukan sintesis enzim yang baru sehingga hampir tidak terdapat laju pertumbuhan. Sampai dengan enzim baru tersebut cukup maka mikroorganisme tidak akan berkembang biak. Fase ini dapat dikurangi atau dihilangkan dengan menggunakan *Chlorella vulgaris* yang tidak sedang berada pada fase stasioner.

#### 2.3.3.2 Fase Eksponensial (Logaritmik)

Pada fase ini terjadi tingkat pertumbuhan sel yang optimum dan sel berada pada tingkat yang stabil. Pada fase ini waktu dari jumlah organisme untuk mencapai dua kali lipatnya bervariasi antara 20 menit hingga beberapa hari.

### 2.3.3.3 Fase Stasioner

Pada fase ini tidak ada lagi pertumbuhan jumlah sel atau jumlah sel akan tetap. Hal ini disebabkan oleh kurangnya beberapa nutrisi yang penting atau terjadi akumulasi dari hasil metabolisme yang beracun yang akan menyebabkan laju pertumbuhan terhenti.

### 2.3.3.4 Fase Kematian (*death phase*)

Pada fase ini terjadi penumpukan dari hasil metabolisme yang beracun, kekurangan oksigen, dan hilangnya kemampuan organisme untuk menawarkan racun. Kecepatan kematian akan terjadi secara eksponensial.

## 2.3.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan *Chlorella vulgaris*

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pertumbuhan *Chlorella vulgaris*, yaitu :

### 2.3.4.1 Jenis Medium

Agar *Chlorella vulgaris* dapat hidup, maka medium pembiakannya harus memiliki berbagai nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Apabila asupan nutrisi dari medium tidak cukup, maka laju pertumbuhannya akan terhambat. Untuk itu maka komposisi dari medium yang diberikan harus tepat.

Namun sebenarnya medium yang diperlukan untuk perkembangan *Chlorella vulgaris* relatif lebih sederhana dan memerlukan jenis nutrisi yang lebih sedikit dibandingkan dengan medium untuk jenis alga lainnya. Sebagian besar jenis mediumnya juga tidak memerlukan *trace* mineral seperti yang diperlukan oleh organisme lain.

Ada beberapa medium yang lazim digunakan untuk membiakkan *Chlorella vulgaris*, yaitu *Benneck*, *Detmer*, Pupuk Komersial, dan *Walne*. Komposisi nutrisi dari masing-masing medium tersebut dapat dilihat pada tabel 2.2

**Tabel 2.2** Perbandingan Komposisi Nutrisi Medium Pembiakan *Chlorella vulgaris*.( Wirosaputro, 2002.)

Nutrisi	<i>Benneck</i>	<i>Detmer</i>	Pupuk Komersial	<i>Walne</i>
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	40mg/L	-
Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	-	1000 mg/L	-	-
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	-	-	800mg/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>	-	-	-	0,36mg/L

#### 2.3.4.2 Pencahayaan

Cahaya merupakan faktor utama yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga sebagai sumber energi untuk pertumbuhan dan juga untuk fotosintesis. Selain cahaya matahari, dapat juga digunakan cahaya dari lampu TL.

Proses pencahayaan dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu pencahayaan kontinu, gelap terang (periodesitas) dan pencahayaan dengan kenaikan intensitas cahaya (alterasi). Selain tiga metode pencahayaan di atas, terdapat juga pencahayaan dengan panjang gelombang tertentu dan pencahayaan dengan intensitas tertentu. Namun pada pembahasan kali ini yang akan dibahas adalah pencahayaan kontinu, alterasi dan periodesitas.

##### 2.3.4.2.1 Alterasi

Alterasi adalah perubahan perlakuan pencahayaan kontinu dengan memberikan intensitas cahaya yang semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah sel dari *Chlorella Vulgaris* Buitenzorg. Dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan dapat

diketahui bahwa semakin banyak biomassa dari *Chlorella Vulgaris* Buitenzorg, maka kultur akan semakin pekat, sehingga pencahayaan kontinu yang diberikan tidak lagi dapat diterima secara merata oleh semua sel. Oleh karena itu diperlukan suatu peningkatan intensitas cahaya, sehingga diharapkan cahaya dapat terdistribusi merata oleh sel, dari sel yang berada paling depan sampai sel yang berada paling belakang pada kultur. Usaha ini telah dibuktikan dapat meningkatkan laju pertumbuhan menjadi lebih optimal dan menghasilkan biomassa dengan jumlah lebih banyak dibandingkan pencahayaan kontinu tanpa alterasi pada *Chlorella Vulgaris* Buitenzorg.

#### **2.3.4.2.2 Pencahayaan Kontinu**

Pencahayaan kontinu yaitu pencahayaan dengan intensitas tetap, *Chlorella Vulgaris* Buitenzorg diiluminasi dengan cahaya tampak (370nm-900nm) secara terus menerus sampai mencapai fasa *stasioner*-nya.

#### **2.3.4.2.3 Terang Gelap**

Pencahayaan terang gelap adalah pencahayaan dengan mengatur kondisi terang selama 8 jam dan kondisi gelap selama 16 jam, seperti kondisi alami. *Chlorella Vulgaris* Buitenzorg diiluminasi dengan cahaya tampak (370nm-900nm) dengan mengatur seperti keadaan alami. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan bahwa perlakuan ini memberikan efisiensi cahaya yang lebih besar dibandingkan pencahayaan kontinu, namun laju pertumbuhannya masih sedikit di bawah iluminasi kontinu.

#### **2.3.4.3 Konsentrasi CO<sub>2</sub>**

Karbon dioksida merupakan elemen paling penting dalam proses fotosintesis, oleh karena itu dengan tersedianya karbon dioksida yang cukup di dalam media otomatis akan mendukung pertumbuhan dari *Chlorella*. Ketersediaan CO<sub>2</sub> dapat dilakukan dengan menginjeksikannya kemudian menggoyang-goyangkan media. Dengan aerasi, konsentrasi unsur hara dalam media dapat menyebar secara merata. CO<sub>2</sub> ini digunakan sebagai *carbon source* untuk melakukan fotosintesis/metabolisme yang menunjang

pertumbuhan *Chlorella*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, konsentrasi CO<sub>2</sub> yang optimal untuk pertumbuhan mikroalga yaitu sekitar 5-10%.

#### 2.3.4.4 pH

pH memiliki peran dalam mengatur kerja dari enzim. Perubahan pH sangat berpengaruh terhadap kinerja enzim dalam metabolisme sel sehingga akan mempengaruhi laju pertumbuhan sel. pH yang optimum bagi perkembangan *Chlorella Vulgaris* Buitenzorg adalah 7,0 – 8,0 (Round, 1973). Untuk mencegah perubahan pH media dalam kultur alga, perlu ditambahkan EDTA (*Ethyl Diamine Tetra Acetat*) ke dalam media, hal ini disebabkan karena EDTA dapat berfungsi sebagai *buffer* sehingga pH menjadi stabil.

#### 2.3.4.5 Temperatur

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* Buitenzorg adalah 23°C – 30°C.

#### 2.3.4.6 Flowrate

*Flowrate* yang dimaksud adalah laju alir udara dan CO<sub>2</sub> asupan pada medium terbatas. Penentuan laju memperhitungkan model reaktor, perhitungan luas permukaan kontak, dan volume kultur.

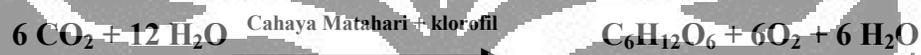
### 2.4 Fotosintesis

Fotosintesis berasal dari kata *foton* yang berarti cahaya dan *sintesis* yang berarti penyusunan. Fotosintesis merupakan proses biokimia yang menghasilkan makanan dengan memanfaatkan energi cahaya dan hanya bisa dilakukan oleh makhluk hidup yang berklorofil. Maka fotosintesis dapat diartikan sebagai proses sintesa dari zat organik dari zat anorganik (air, H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub>) dengan menggunakan cahaya matahari sebagai sumber energi (chlorellafactor.com, 2008).

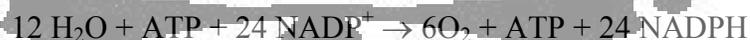
Hampir semua makhluk hidup bergantung dari energi yang dihasilkan dalam fotosintesis. Oleh karena itu fotosintesis menjadi sangat penting untuk kehidupan. Organisme yang menghasilkan energi melalui fotosintesis disebut sebagai autotrof.

Meskipun alga belum dikelompokkan ke dalam tumbuhan tingkat tinggi, akan tetapi terdapat persamaan fotosintesis antara alga dan tumbuhan darat. Akan tetapi karena alga memiliki berbagai jenis pigmen dalam kloroplasnya, maka panjang gelombang cahaya yang diserapnya pun lebih bervariasi. Semua alga menghasilkan oksigen dan kebanyakan bersifat autotrof. Akan tetapi terdapat alga yang bersifat heterotrof yang bergantung pada materi yang dihasilkan oleh organisme lain.

Sebagian besar reaksi fotosintesis yang terjadi di alam menggunakan air dan  $\text{CO}_2$  sebagai sumber bahan anorganik. Persamaan reaksi jenis ini dapat dituliskan sebagai berikut :



Hill pada tahun 1937 berhasil membuktikan bahwa energi sinar yang diterima digunakan untuk memecah molekul air menjadi  $\text{H}^+$  dan  $\text{O}_2$ . Peristiwa ini dikenal sebagai fotolisis, yang merupakan tahap awal dari fotosintesis. Fotolisis berlangsung dengan bantuan cahaya sehingga disebut reaksi terang. Pada reaksi ini, molekul air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) terurai menjadi molekul oksigen ( $\text{O}_2$ ) dan proton ( $\text{H}^+$ ). Dalam reaksi ini dihasilkan energi dalam bentuk ATP dan  $\text{NADP}^+$ . Kemudian,  $\text{H}^+$  yang dihasilkan dalam reaksi penguraian air tersebut ditangkap oleh  $\text{NADP}^+$  sehingga terbentuk NADPH. Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut :



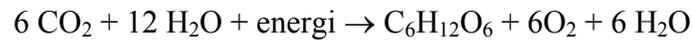
Reaksi terang yang dikemukakan oleh Hill tersebut terjadi di dalam *grana*. Sedangkan reaksi gelap yang dikemukakan oleh Blackman terjadi dalam *stroma*.

Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut :



Dalam reaksi gelap tersebut, ATP dan NADPH yang terbentuk pada reaksi terang digunakan untuk pembentukan glukosa dari karbon dioksida.

Jika kedua reaksi tersebut digabungkan, maka akan menghasilkan persamaan reaksi fotosintesis sebagai berikut :



Tanpa didahului oleh reaksi terang, maka reaksi gelap tidak akan berlangsung. Karena reaksi gelap akan berlangsung jika tersedia energi kimia dan proton ( $\text{H}^+$ ) yang dihasilkan oleh reaksi terang.

Selain itu sebagian mikroorganisme menggunakan asam organik seperti asam asetat atau asam suksinat sebagai sumber elektron. Sedangkan bakteri lainnya menggunakan asam sulfida dengan hasil samping endapan belerang. Persamaan reaksi fotosintesisnya



Kebanyakan organisme fotosintetik, seperti tumbuhan, bakteri fotosintetik, dan *blue green algae* mengambil sumber karbon yang diperlukan untuk proses biosintesa dari  $\text{CO}_2$  di atmosfer. Untuk melangsungkan proses ini (*CO<sub>2</sub> fixation*), organisme ini membutuhkan energi yang berasal dari fotosintesis dan sumber elektron tereduksi yang digunakan untuk mereduksi  $\text{CO}_2$  menjadi karbon organik. Sumber elektron tereduksi ini disebut *reducing power*, dan biasanya berupa *reduced elektron carrier*, NADPH.

Setiap tahunnya lebih dari 10% dari total karbon dioksida yang berada di atmosfer tereduksi menjadi karbohidrat oleh organisme-organisme fotosintesis. Kebanyakan karbon yang tereduksi akan kembali ke atmosfer sebagai karbon dioksida oleh tumbuhan, mikrobial, metabolisme hewan dan pembakaran biomassa. Pengetahuan mengenai proses *physio-chemical* dari proses fotosintesis sangat penting dalam hubungannya antara kehidupan organisme dengan atmosfer.

#### Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Fotosintesis

Terdapat berbagai faktor yang mempengaruhi proses fotosintesis baik pada tumbuhan maupun pada mikroorganisme. Faktor-faktor tersebut antara lain :

##### 1. Intensitas cahaya

Laju fotosintesis akan maksimum ketika terdapat banyak cahaya. Semakin tinggi intensitas cahaya maka laju fotosintesis akan semakin besar. Namun di atas intensitas cahaya tertentu, kenaikan pada intensitas tidak akan menyebabkan kenaikan laju

fotosintesis. Titik di mana laju fotosintesis maksimum ini disebut sebagai *titik jenuh cahaya*. Di antara keadaan gelap di mana laju fotosintesis adalah nol dan keadaan jenuh cahaya tersebut terdapat suatu titik di mana laju fotosintesis sama dengan laju respirasi. Titik ini disebut *titik kompensasi cahaya*.

## 2. Konsentrasi karbondioksida

Semakin banyak karbon dioksida di udara, maka semakin banyak jumlah bahan yang dapat digunakan oleh tumbuhan sebagai sumber fotosintesis. Meskipun demikian, konsentrasi CO<sub>2</sub> yang terlalu tinggi juga merugikan bagi proses fotosintesis, karena akan dapat meracuni tumbuhan dan menutup stomata. Tingkat konsentrasi CO<sub>2</sub> optimum bagi reaksi fotosintesis adalah 1000 – 1200 μmol mol<sup>-1</sup>.

## 3. Suhu

Enzim-enzim yang bekerja dalam proses fotosintesis hanya dapat bekerja pada suhu optimalnya. Pada umumnya laju fotosintesis meningkat seiring dengan meningkatnya suhu hingga batas toleransi enzim.

## 4. Kadar air

Air seperti CO<sub>2</sub> merupakan bahan utama bagi terjadinya reaksi fotosintesis. Kekurangan air atau kekeringan menyebabkan stomata menutup, menghambat penyerapan karbon dioksida sehingga mengurangi laju fotosintesis. Sedangkan peningkatan kadar air juga akan menaikkan laju fotosintesis.

## 5. Kadar fotosintat (hasil fotosintesis)

Jika kadar fotosintat seperti karbohidrat berkurang, laju fotosintesis akan naik.

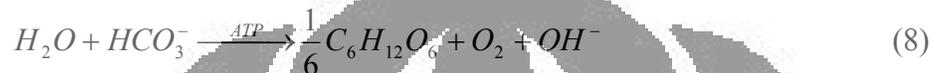
### 2.5 Fotosintesis Pada *Chlorella vulgaris*

Pada *Chlorella sp.*, fotosintesis dilakukan di dalam air/media hidupnya. CO<sub>2</sub> dibutuhkan sebagai *carbon source* dan didapatkan dalam bentuk senyawa bikarbonat yang terbentuk dari reaksi air dengan CO<sub>2</sub> terlarut dalam media hidupnya sebagai berikut :



Senyawa bikarbonat ini kemudian diserap oleh sel *Chlorella*. Proses metabolisme yang terjadi di dalam sel selanjutnya adalah reaksi antara bikarbonat tersebut dengan air yang terdapat dalam sel (siklus Calvin) membentuk senyawa organik seperti glukosa dan ion  $\text{OH}^-$  menggunakan energi ATP dan NADPH dari

konversi cahaya pada reaksi terang, sebagaimana tergambar pada persamaan reaksi berikut (Anondho Wijanarko dan Ohtaguchi, 2004) :



Sehingga diketahui bahwa hasil fotosintesis dari *Chlorella sp.* adalah ion  $\text{OH}^-$ , oksigen molekular, dan senyawa organik (karbon) yang akan digunakan sebagai cadangan makanan apabila tidak mendapatkan cahaya dan  $\text{CO}_2$  yang cukup untuk pertumbuhan dan pembelahan selnya.

## 2.6 Fotobioreaktor Kolom Gelembung

Secara umum sistem fotobioreaktor terdiri dari beberapa bagian, yaitu reaktor vessel, sistem sirkulasi gas, sistem titrasi gas, lemari yang berisi sumber cahaya, dan sistem pengendalian reaktor. Untuk kultivasi mikroalga dapat dilakukan dengan sistem *batch* atau kontinu. Pada beberapa penelitian, kultivasi menggunakan sistem *semi-batch* di mana gas  $\text{CO}_2$  secara kontinu dialirkan ke dalam reaktor sedangkan mikroalga ditempatkan secara *batch*. (inhavision.inha.ac.kr, 2008)

Pada Fotobioreaktor Kolom Gelembung dengan intensitas cahaya terkontrol atau yang biasa disebut dengan *lumostat*, nilai dari laju intensitas cahaya spesifik yang diserap dapat dinyatakan dengan persamaan :

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

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



**Gambar 2.5.** Fotobioreaktor Kolom Gelembung

Dalam suatu sistem fotobioreaktor kolom gelembung sistem *batch* diperlukan sistem penerangan yang lebih baik untuk mempertahankan intensitas cahaya yang diserap oleh organisme pada tingkat yang diinginkan. Hal ini terjadi karena dengan cahaya tidak dapat menembus mikroorganisme sehingga apabila jumlah mikroorganisme semakin besar, maka sebagian mikroorganisme tidak akan terkena oleh cahaya karena terhalang oleh mikroorganisme di depannya. Hal ini menyebabkan terjadinya distribusi intensitas cahaya yang tidak sama pada reaktor sehingga mengganggu laju pertumbuhan mikroorganisme. Peristiwa ini sering disebut dengan *self-shading of light*. (Gunther, William, 2000)

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

### 2.6.1 Jenis Fotobioreaktor Kolom Gelembung

Desain model dari sebuah fotobioreaktor merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap produksi dan efisiensi dari biomassa yang dihasilkan oleh

organisme yang dikultivasi. Dalam mendesain suatu sistem fotobioreaktor, perlu diperhatikan sistem fotobioreaktor yang paling menguntungkan. Dalam hal ini terdapat dua kemungkinan sistem, yaitu fotobioreaktor yang tertutup dan yang terbuka.

Fotobioreaktor dengan menggunakan sistem terbuka merupakan jenis sistem yang pertama kali diperkenalkan untuk memproduksi biomassa pada skala industri. Sistem ini dapat berupa danau, kolam, laguna, atau kolam buatan (*container*). Fotobioreaktor jenis ini dapat dioperasikan dengan mudah. Fotobioreaktor jenis terbuka yang paling banyak digunakan untuk memproduksi biomassa adalah jenis reaktor dengan menggunakan *raceway cultivator* (sistem kolam terbuka) seperti terlihat pada Gambar II.5.



Gambar 2.6 Fotobioreaktor Terbuka untuk Pembiakan *Chlorella vulgaris*. (chlorella-world.com, 2008)

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

mikroalga yang diinginkan yang mungkin hanya dapat dilakukan untuk spesies *extremophilic* dan mengandung resiko kontaminasi yang lebih besar. Kelemahan utama

dari sistem kolam terbuka adalah keterbatasan cahaya pada lapisan yang tebal. Secara teknis *supply* cahaya dapat diperkaya dengan mereduksi lapisan tebal tersebut dengan menggunakan sistem kultur dari jenis *thin layer inclined*.

Karena berbagai kekurangan yang terdapat pada fotobioreaktor sistem terbuka, maka mulai dikembangkan sistem fotobioreaktor dalam ruangan yang dilengkapi dengan sistem pengendalian untuk mengontrol berbagai parameter di dalam proses. Bentuk ini juga mengurangi kemungkinan terjadinya kontaminasi organisme lain. Kebanyakan sistem tertutup terdiri dari fotobioreaktor tubular dengan variasi bentuk, ukuran, dan panjang *tube*.

Sistem tertutup ini memiliki beberapa keuntungan yaitu hampir semua parameter bioteknologi penting dapat dikendalikan. Keunggulan lain dari sistem tertutup adalah berkurangnya resiko kontaminasi dan kondisi kultivasi yang tidak reproduktif..

Secara umum perbandingan karakteristik dari beberapa jenis fotobioreaktor dapat dilihat pada Tabel 2.2., di mana *surface type open pond* adalah reaktor berupa kolam terbuka seperti pada Gambar 2.6, dan *tubular open pond* merupakan jenis reaktor terbuka yang berbentuk seperti tabung. Kedua jenis reaktor ini umumnya mendapat perlakuan cahaya alami dari sinar matahari. Jenis yang terakhir yaitu *semi-closed-plated-tubular system* merupakan reaktor berbentuk tabung di dalam ruang tertutup. Perlakuan intensitas cahaya untuk reaktor ini dapat divariasikan yaitu dengan cahaya alami, fotoperiodisitas, cahaya kontinu, ataupun alterasi pencahayaan.

**Tabel 2.2** Karakteristik Beberapa Jenis Fotobioreaktor. (link.springer.de, 2008)

	Satuan	Raceway	<i>Surface type open pond high layer thickness</i>	<i>Tubular open pond, low layer thickness</i>	<i>Semi-closed plated- tubular system</i>
Permukaan terkena cahaya	m <sup>2</sup>	500	200	600	500
Volume	m <sup>3</sup>	75	5	7	6
Ruang kosong diperlukan	m <sup>2</sup>	550	350	110	100
Ketebalan film	cm	16 – 30	0,5 – 1	4	3
Laju alir	cm/s	30 – 55	30 – 48	50 – 60	120
Konsentrasi biomassa (DW)	mg/L	300 – 500	3000 – 6500	5000 – 8000	5000 – 8000
Produktivitas (DW)	g/L.d	0,05 – 0,1	0,8 – 1	0,8 – 1,2	0,8 – 1,3

### 2.6.2 Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Organisme Dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung

Beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan organisme di dalam suatu fotobioreaktor kolom gelembung harus dianalisis terlebih dahulu. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan desain dari sumber cahaya yang efisien. Analisis tersebut meliputi beberapa hal di bawah ini :

### 2.6.2.1 Jenis Alga

Jenis alga yang berbeda memerlukan sumber cahaya dan nutrisi yang berbeda pula. Kebutuhan cahaya dari alga tergantung dari pigmen utama yang terdapat di dalamnya. Alga yang baik digunakan untuk fotosintesis adalah alga hijau. Pigmen yang paling umum terdapat di dalam alga hijau adalah klorofil a. Pigmen yang lainnya berfungsi sebagai pigmen komplementer. Klorofil a merupakan struktur utama penyusun sistem antena untuk menyerap cahaya. Sistem ini bekerja dengan mentransfer elektron dari air ke  $\text{NADP}^+$  menghasilkan bentuk yang tereduksi yaitu NADPH yang akan digunakan bersama ATP dan  $\text{CO}_2$  yang difiksasi untuk membentuk senyawa organik pada siklus Calvin. (Kommareddy, 2004.)

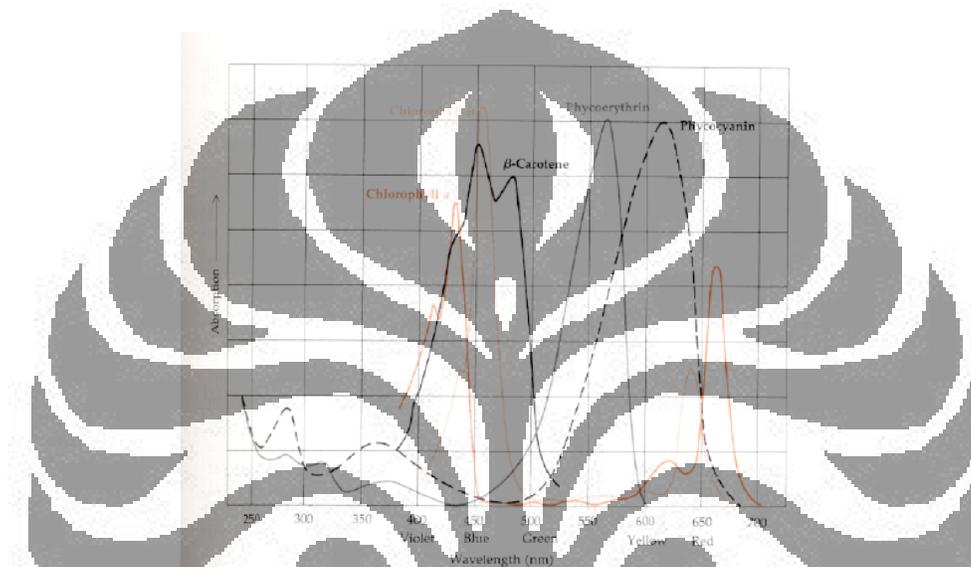
Pigmen yang berbeda akan menyerap spektrum sinar tampak pada interval yang berbeda. Sebagian besar pigmen akan menyerap spektrum cahaya dengan panjang gelombang 400 – 500 nm dan 600 – 700 nm. Ketika intensitas cahaya cukup, maka hanya pigmen utama atau klorofil a yang berfungsi untuk menyerap cahaya. Ketika intensitas cahaya menurun, baik karena intensitas dari sumber cahaya dikurangi maupun karena terjadi penumpukan biomassa pada reaktor maka pigmen komplementer mulai bekerja untuk menyerap cahaya.

### 2.6.2.2 Tipe Sumber Cahaya

Pemilihan dari sumber cahaya berhubungan dengan pemilihan panjang gelombang cahaya yang sesuai agar efisiensi fotosintesis tinggi. Efisiensi dari sumber cahaya untuk mengubah energi listrik menjadi energi cahaya akan berkurang saat diperlukan berbagai macam panjang gelombang cahaya. Sumber cahaya yang cocok digunakan adalah LED (*Light Emitting Diode*), lampu *fluorescent*, dan lampu halogen. Dari ketiga jenis sumber cahaya tersebut, LED merupakan sumber cahaya yang paling efisien. Namun LED hanya memproduksi cahaya dengan rentang spektrum cahaya yang kecil sehingga untuk menghasilkan cahaya dengan rentang bervariasi perlu digunakan lebih dari satu buah LED yang memiliki rentang spektrum cahaya berbeda. Untuk menghasilkan rentang spektrum cahaya yang besar dapat digunakan lampu berwarna putih. Hal ini karena sinar yang dihasilkan oleh lampu berwarna putih dapat terdifraksi

menjadi sinar dengan spektrum panjang gelombang yang bervariasi. (Kommareddy, 2004.)

Sinar dengan panjang gelombang yang berbeda akan diserap oleh jenis pigmen yang berbeda pula. Penyerapan ini bergantung pada spektra absorpsi dari pigmen yang bersifat spesifik pada panjang gelombang tertentu. Nilai spektra absorpsi dari beberapa pigmen yang terdapat di dalam organisme dapat dilihat pada Gambar II.6.



Gambar 2.7 Spektra Absorpsi dari Berbagai Pigmen. (Kommareddy, 2004.)

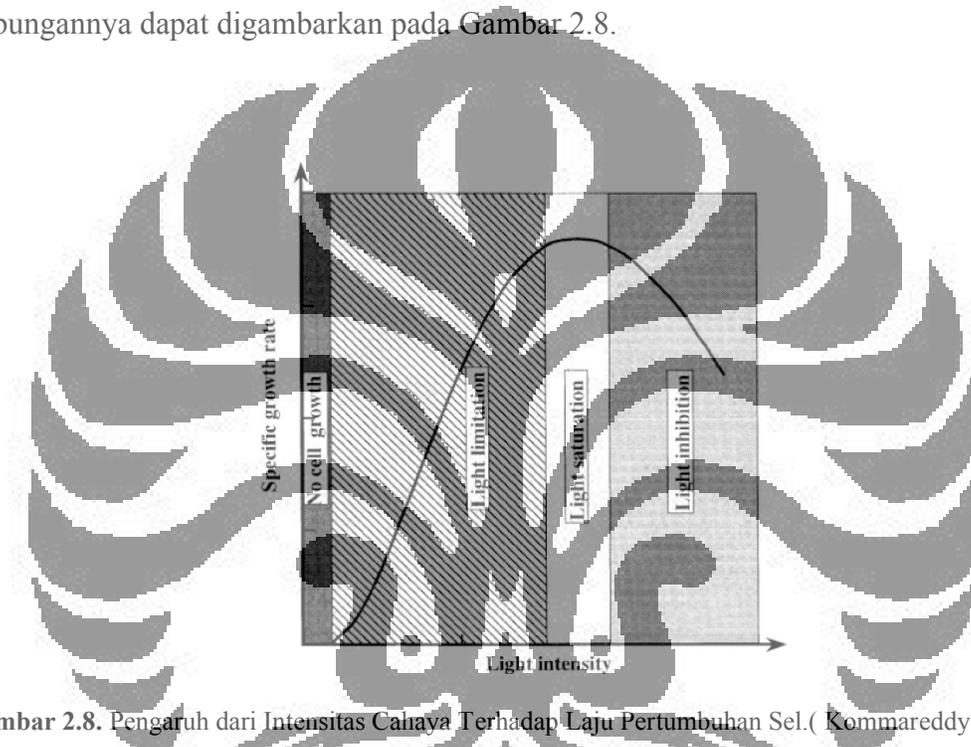
### 2.6.2.3 Intensitas Cahaya

Intensitas dari sumber cahaya akan menentukan jumlah foton yang dapat digunakan untuk proses fotosintesis. Energi yang diperlukan oleh klorofil a untuk memulai proses fotosintesis memiliki panjang gelombang maksimal 680 nm. Karena spektrum sinar tampak memiliki panjang gelombang maksimal 700 nm, maka sebagian besar dari sinar tampak memiliki energi yang cukup untuk berfotosintesis.

Apabila intensitas cahaya kecil maka tidak ada pertumbuhan sel. Pada saat sel telah mulai tumbuh, peningkatan intensitas cahaya akan menyebabkan peningkatan pertumbuhan sel sampai intensitas cahaya optimum di mana pertumbuhan mulai berhenti dan tidak dipengaruhi lagi oleh intensitas cahaya. Apabila intensitas cahaya

ditingkatkan kembali, tidak ada peningkatan laju pertumbuhan spesifik. Intensitas cahaya ini disebut dengan intensitas cahaya jenuh (*saturation light intensity*). Jika intensitas cahaya kembali meningkat, maka laju pertumbuhan spesifik pada suatu saat akan menurun. Peristiwa ini disebut dengan nama *fotoinhibisi*.

Setiap jenis alga memiliki kurva khusus yang menunjukkan hubungan antara laju pertumbuhan spesifik dengan intensitas cahaya. Namun secara umum bentuk hubungannya dapat digambarkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Pengaruh dari Intensitas Cahaya Terhadap Laju Pertumbuhan Sel. (Kommareddy, 2004.)

#### 2.6.2.4 Cahaya

Penelitian menunjukkan pada saat LED berwarna merah digunakan untuk membiakkan *Chlorella vulgaris*, ukuran dari alga tersebut hanya setengah dari ukuran apabila dibiakkan dengan menggunakan cahaya putih, namun jumlah selnya dua kali lebih banyak sehingga dengan menggunakan kedua tipe cahaya tersebut total biomassa yang dihasilkan tetap.

Cahaya memiliki banyak kegunaan selain untuk berfotosintesis tergantung pada panjang gelombangnya. Beberapa panjang gelombang tertentu menstimulasi perkembangan bunga, kekerasan, dan perkembangan lainnya. Oleh karena itu dalam

kultivasi alga diperlukan cahaya berlebih dalam jumlah yang kecil untuk stimulasi tersebut.

## 2.7 Penelitian Yang Telah Dilakukan

Penelitian mengenai pengaruh flue gas terhadap Mikroalga telah banyak dilakukan. Semua penelitian tersebut, bertujuan untuk meningkatkan produksi biomassa dan proses fiksasi yang dilakukan oleh Mikroalga dengan melakukan optimasi terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan *Chlorella vulgaris*. Adapun penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 2.3** Penelitian-penelitian yang sudah dilakukan

Mikroalga	Hasil	Referensi
Chlorella HA-1	Chlorella HA-1 tidak dihambat dengan 50 ppm NO tetapi bentuk ini tidak dapat tumbuh pada 50 ppm SO <sub>2</sub>	Yanagi et al 1995
Mikroalga laut, bentuk NOA-113	Mikroalga ini benar-benar dihambat jika gas hasil pembakaran yang ditiru mengandung 300 ppm NO. disediakan pada konsentrasi sel lebih rendah daripada 1,0 g/l, dimana alga itu dapat tumbuh dengan baik ketika gas model itu disediakan pada konsentrasi sel 1,5 g/l	Yoshihara et al, 1996
Galdieria partita	Alga merah uniseluler yang senang terhadap asam (acidofilik), menunjukkan pertumbuhan pada aerasi SO <sub>2</sub> sebesar 50 ppm	Kurano et al
Cyanidium caladrium	Menunjukkan beberapa pertumbuhan dalam flue gas yang disimulasi sebesar 200 ppm SO <sub>2</sub> untuk 20 jam pertama	Hauck et al.

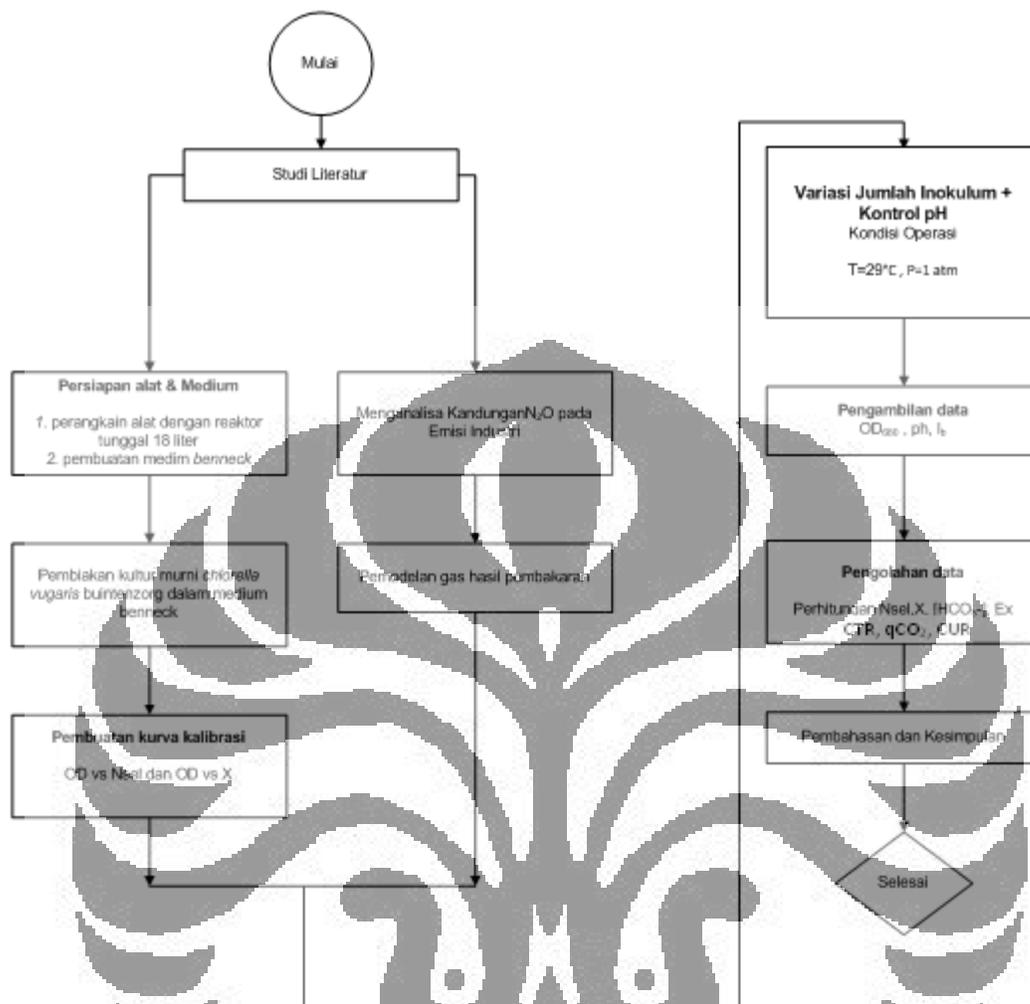
## BAB 3 METODE PENELITIAN

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

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





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

### 3.2.1 Alat Penelitian

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

1. Fotobioreaktor berbentuk aquarium dengan kapasitas 18 dm<sup>3</sup> dengan bahan kaca transparan yang dilengkapi dengan aliran *input* dan *output* gas dan udara.
2. Kompresor udara *portable*.
3. Tabung gas CO<sub>2</sub> yang dilengkapi dengan regulator.

4. Tabung gas N<sub>2</sub>O yang dilengkapi dengan regulator.
5. Flowmeter udara, gas CO<sub>2</sub> dan gas N<sub>2</sub>O.
6. Filter udara dan bahan gelas yang telah diisi kapas steril.
7. Lampu Phillip Hallogen 20 W/12 V/50 Hz dan transformator 220V primer /12V *sekunder* dengan intensitas maksimum 177 W/m<sup>2</sup> sebagai sumber iluminasi.
8. T-septum yang terbuat dari bahan gelas (sebagai titik indikator konsentrasi CO<sub>2</sub> input fotobioreaktor).
9. Selang silikon dan selang plastik.
10. Lemari reaktor yang terbuat dari kaca dan kotak aluminium (sebagai tempat *running* fotobioreaktor).

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

1. Kuvet kaca / plastik dengan volume 5 mL sebagai tempat sampel pada pengukuran dengan spektrofotometer UV-VIS.
2. Spektrofotometer UV-VIS (*Spectro UV-VIS Spectrophorometre, LaboMed Inc.*).
3. Luxmeter (*Set Lightmeter Lxtron LX-103*).
4. pH meter (*HANNA Model HI 8014*).
5. Syringe 1001 RT Hamilton 1 cm<sup>3</sup>.
6. Unit Gas Chromatography (*GC-TCD Shimadzu GC-8A*) dengan *carrier gas* Argon dan recorder.

Selain itu terdapat juga instrumen tambahan, antara lain :

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

### 3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. *Starter* mikroalga hijau *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan usia  $\pm 72$  jam yang telah dihitung sel awal-nya (inokulum) menggunakan spektrofotometer pada 600 nm.
2.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$ , dan  $\text{FeCl}_3$  untuk membuat medium *Beneck*.
3. Gas  $\text{CO}_2$  sebagai bahan untuk fotosintesis mikroalga pada pembiakan kultur murni.
4. Gas  $\text{N}_2\text{O}$  sebagai aliran gas input kedalam fotobioreaktor.
5. Aquadest untuk membuat medium *Beneck* dan mencuci peralatan.  
Alkohol 70% untuk sterilisasi peralatan.

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang dapat ditentukan dari penelitian ini adalah :

1. Variabel tetap, yaitu konsentrasi gas  $\text{N}_2\text{O}$ .
2. Variabel bebas, yaitu jumlah inokulum *Chlorella vulgaris* Buitenzorg ( $N_0$ ) dan jumlah konsentrasi sel ( $X_{\text{awal}}$ ).
3. Variabel tergantung yaitu : jumlah sel / kerapatan sel / *optical density* ( $N/OD$ ), intensitas cahaya masuk ( $I_o$ ), pH, dan intensitas cahaya yang ditransmisikan keluar reaktor ( $I_b$ ).

### 3.4 Prosedur Penelitian

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

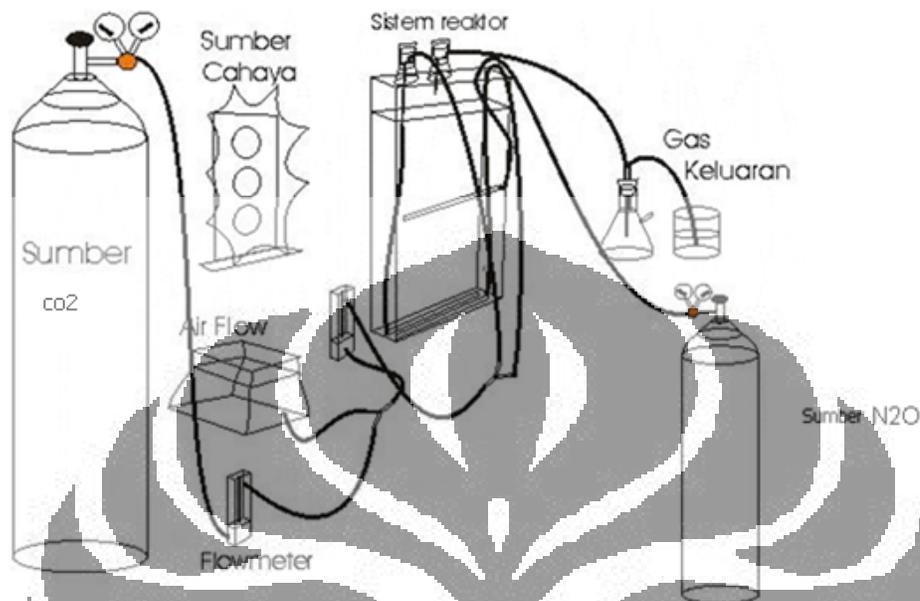
### 3.4.1 Sterilisasi Peralatan

Sterilisasi peralatan harus dilakukan agar peralatan yang akan digunakan pada penelitian tidak terkontaminasi mikroorganisme pengganggu yang dapat mengganggu proses fiksasi CO<sub>2</sub> dan pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Prosedur sterilisasi yang dilakukan adalah sebagai berikut :

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

\

### 3.4.2 Pembuatan Rangkaian Alat



Gambar 3.2 Rangkaian Alat Penelitian

Peralatan seperti gambar 3.2 diatas dirangkai dalam lemari kaca dengan tujuan agar reaktor terlindung dari kontaminan. Penelitian ini menggunakan fotobioreaktor berukuran  $18 \text{ dm}^3$  dan diletakkan dalam posisi sejajar menghadap ke lampu halogen sebagai sumber iluminasi. Kemudian aliran dari tabung  $\text{N}_2\text{O}$  yang dilengkapi dengan *flowmeter* dan  $\text{CO}_2$  yang juga dilengkapi dengan *flowmeter* dilewatkan menjadi satu aliran dan aliran tersebut akan digabungkan dengan aliran udara dari kompresor dilewatkan ke dalam *flowmeter*. Aliran ini kemudian diumpankan ke dalam reaktor. Aliran keluaran reaktor dimasukkan ke dalam sebuah erlenmeyer *discharge*  $\text{CO}_2$  yang berisi air. Sampel inilah yang akan diukur konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  keluaran reaktor.

Reaktor yang digunakan dihitung nilai  $\alpha$ -nya sebagai fungsi dari intensitas. Nilai  $\alpha$  ini digunakan untuk mengetahui hambatan cahaya dari reaktor, sehingga dapat diketahui intensitas cahaya sesungguhnya yang diterima oleh kultur. Kalibrasi *flowmeter* juga dilakukan agar diketahui dengan tepat skala dari masing-masing *flowmeter*. Hal ini

penting karena model gas bakar yang mengandung CO<sub>2</sub> yang akan dialirkan harus selalu dijaga konstan.

Sambungan selang dilapisi dengan selotip untuk memastikan tidak ada sambungan yang bocor sekaligus mencegah kontaminan masuk kedalam rangkaian. Lampu Phillip halogen yang digunakan sebagai sumber iluminasi. Alkohol 70 % digunakan untuk membersihkan dan mensterilkan lemari untuk kultivasi agar kontaminan dapat diminimalisir.

### 3.4.3 Pembuatan Medium *Beneck*

Medium *Beneck* digunakan sebagai media hidup *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Medium ini mudah dibuat dan terdapat nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan medium *Beneck* ini adalah :

Tabel 3.1 Bahan Medium *Beneck*

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

Untuk membuat 20 dm<sup>3</sup> larutan *Beneck* diperlukan 2000 mg KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 4000 mg MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 10000 mg NaNO<sub>3</sub> dan 60 – 100 mg FeCl<sub>3</sub> dalam 20 liter aquadest. Medium kemudian disterilisasi menggunakan *autoclave* selama ± 1,5 jam dan didinginkan. Tahapan berikutnya adalah menyimpan medium dalam lemari pendingin bila tidak langsung digunakan. Apabila terdapat endapan di dasar medium maka endapan tersebut harus dipisahkan dahulu sebelum disimpan.

### 3.4.4 Pemiakan Kultur Murni

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

Prosedur dalam melakukan pembiakan ini adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan medium *Beneck* dan peralatan pembiakan (wadah, selang udara, tutup wadah) yang telah disterilkan terlebih dahulu.
2. Memasukkan stok murni *Chlorella vulgaris* Buitenzorg ke dalam wadah steril dan dicampur dengan medium *Beneck* steril, dengan catatan perbandingan antara jumlah kultur murni dan medium, diatur sesuai kebutuhan penelitian. Proses ini dilakukan dalam *transfer box*, untuk menjaga sterilitasnya, lingkungan disterilkan dengan alkohol 70 % dan menggunakan api bunsen.
3. Mem-*bubbling* kultur menggunakan kompresor udara sebesar 1 v/vm. Pada tahap ini cahaya tetap diberikan dengan intensitas yang kecil yaitu  $\pm 1.000$  lux ( $2,95$   $W/m^2$ ).
4. Biakan kultur murni ini harus diregenerasi satu atau dua minggu sekali dengan cara mengganti medium hidupnya agar kebutuhan nutrisi tersedia dalam jumlah yang cukup.

#### 3.4.5 Pembuatan Kurva Kalibrasi OD vs $N_{sel}$ dan OD vs $X$

Kurva ini bertujuan untuk memudahkan penghitungan sampel yang memiliki jumlah sel yang banyak dan mengetahui berat kering dari suatu sampel dengan hanya mengukur absorbansinya (*OD*) menggunakan spektrofotometer sinar tampak.

##### 3.4.5.1 Kurva Kalibrasi OD vs $N_{sel}$

Kurva ini dibuat dengan cara menghitung jumlah sel ( $N$ ) beberapa sampel mikroalga menggunakan mikroskop lalu mengukur OD-nya pada spektrofotometer.

##### 3.4.5.2 Kurva Kalibrasi OD vs $X$

Kurva ini dibuat dengan cara mengeringkan sampel yang telah dihitung OD-nya. Proses pengeringan ini dilakukan dengan men-*sentrifuge* sampel, kemudian memisahkan padatan/sel *Chlorella* dari mediumnya, lalu dicuci bersih dengan *aquadest* dan di-

*sentrifuge* lagi. Kemudian hasil *sentrifuge* terakhir di-oven dengan suhu  $110^{\circ}$  C sampai benar-benar kering, kemudian ditimbang.

### 3.4.6 Penentuan Jumlah Inokulum *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

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

Langkah-langkah penghitungan :

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

#### 3.4.6.1 Prosedur Penggunaan Mikroskop

- Meneteskan sampel pada *Neubauer Improved* secukupnya ( $\pm 2$  tetes pada ruang atas/bawah). Sampel ini kemudian ditutup dengan kaca preparat.
- Menghitung dengan menggunakan mikroskop (*perbesaran 100x*, diusahakan seluruh bagian bilik hitung terlihat dengan jelas). Penghitungan menggunakan *counter* manual sebagai alat pencacah.
- Mengambil rata-rata jumlah inokulum untuk setiap bilik dan ruangan, kemudian dihitung dengan rumus  $N \text{ (sel/ml)} = \text{jumlah sel rata-rata} \times 10.000$ , bila menggunakan pengenceran maka nilai N dikali faktor pengenceran, misal pengenceran 4x, maka  $N = \text{jumlah sel rata-rata} \times 10.000 \times 3$ .

### 3.4.6.2 Prosedur Penggunaan Spektrofotometer

- Mengatur alat sesuai dengan panjang gelombang *Chlorella vulgaris Buitenzorg* yaitu 600 nm.
- Melakukan kalibrasi / standarisasi alat yaitu dengan menggunakan aquadest yang diukur pada panjang gelombang yang sama, kemudian mengatur absorbansinya diangka nol. Tujuan kalibrasi / standarisasi ini agar diperoleh data yang akurat karena medium yang digunakan dilarutkan dalam aquadest, dan dikhawatirkan aquadest akan memberikan respon yang sama pada panjang gelombang 600 nm.
- Memasukkan sampel kedalam kuvet bersih dan kering dan diukur absorbansinya. Jika absorbansi tidak berada pada rentang 0,2 ~ 0,4 berarti cairan / kultur yang diukur perlu diencerkan dengan aquadest dengan catatan pada perhitungan jumlah pengenceran ini dimasukkan sebagai faktor koreksi. Rentang 0,2 ~ 0,4 adalah konsentrasi dimana presisi alat tinggi, sehingga hasil pengukuran lebih akurat.
- Menghitung jumlah sel berdasarkan kurva kalibrasi OD vs  $N_{sel}$ .

### 3.4.7 Variasi konsentrasi sel awal ( $X_{sel}$ ) Inokulum

Tahapan ini dilakukan dengan melakukan variasi konsentrasi sel awal ( $X_{sel}$ ) pada inokulum *Chlorella vulgaris Buitenzorg* menjadi dua variasi konsentrasi sel awal ( $X_{sel}$ ). Tahapan dalam melakukan variasi konsentrasi sel awal ( $X_{sel}$ ) Inokulum adalah sebagai berikut :

- Membuat inokulum dengan empat variasi konsentrasi sel awal ( $X_{sel}$ ), yaitu:
  - X= 0.4 g/l, dengan intensitas cahaya 3000 lux
  - X= 0.1g/l tanpa pengaturan pH dan dengan melakukan kontrol pH, dengan intensitas cahaya 1600 lux

Inokulum tersebut akan dimasukkan ke dalam reaktor steril, dengan proses pemindahan dilakukan pada lemari *transfer box* dengan tujuan agar meminimalisir kontaminan.

- Mem-*bubbling* reaktor dengan gas  $N_2O$  yang telah dimodelkan.
- Melakukan sterilisasi lingkungan disekitar reaktor dengan alkohol 70%

- Menjaga kondisi operasi fotobioreaktor, yakni tekanan gas dan udara dalam fotobioreaktor sebesar 1 atm, suhu fotobioreaktor sebesar 29 °C, intensitas cahaya bergantung dengan jumlah inokulum.

### 3.4.8 Pengambilan Data

Data yang diambil pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- ✓ Kerapatan sel [N/OD] ( $\text{sel}/\text{cm}^3$ )
- ✓ Intensitas cahaya belakang fotobioreaktor [ $I_t$ ] (lux)
- ✓ pH fotobioreaktor

Prosedur pengambilan data:

- ✓ Mengambil sampel dari fotobioreaktor dan mengukur variabe-variabel yang telah disebutkan diatas.
- ✓ Mengambil sampel dengan pengulangan tiap interval waktu 4 jam sekali.

### 3.5 Metode Perhitungan Hasil Observasi Data

Variabel-variabel yang diambil pada sub bab diatas yaitu  $OD_{600}$ , pH, akan diolah menggunakan metode perhitungan sebagai berikut:

#### 3.5.1 Pengolahan Data $OD_{600}$

Dari penelitian ini akan didapatkan nilai OD yang akan dikonversi menjadi nilai  $N_{sel}$ . Nilai  $N_{sel}$  adalah jumlah sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg yang terdapat di dalam satu satuan volume. Jumlahnya dapat dihitung secara langsung dengan menggunakan data absorbansi pada 600 nm dan mengkorelasikannya dengan menggunakan kurva kalibrasi  $OD_{600}$  vs  $N_{sel}$ . Hasilnya dibuat kurva pertumbuhan  $N_{sel}$  vs t.

Selanjutnya dibuat model pendekatan untuk mendapatkan suatu persamaan yang menyatakan hubungan antara  $N_{sel}$  dengan t atau  $N_{sel} = f(t)$ . Persamaan ini digunakan untuk menghitung nilai laju pertumbuhan spesifik ( $\mu$ ) yaitu laju pertumbuhan produksi biomassa pada fasa logaritmik, yang merupakan waktu yang diperlukan untuk sekali pembelahan sel. Pada pengolahan ini model yang digunakan adalah persamaan kinetika Monod, yaitu:

$$\mu = \frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dt} \quad \text{.....(5)}$$

dimana:

- $\mu$  = laju pertumbuhan spesifik ( $h^{-1}$ )  
 $N$  = jumlah sel ( $sel/cm^3$ )  
 $t$  = waktu (h)

### 3.5.2 Pengolahan Data pH

Nilai pH digunakan untuk menghitung besar konsentrasi  $[HCO_3^-]$  dalam reaktor dengan persamaan *Handerson-Hasselbach* berikut ini:

$$K_{CO_2} = \frac{[HCO_3^-] \cdot [H^+]}{[CO_2]} \quad \text{.....(6)}$$

$$[HCO_3^-] = K_{CO_2} [CO_2] [H^+]$$

$$[HCO_3^-] = K_{CO_2} [CO_2] 10^{-pH}$$

Sedangkan untuk mencari nilai  $K_a$  dan  $[CO_2]$  digunakan pendekatan hukum Henry:

$$P_{CO_2} = H_{CO_2} \cdot [CO_2]$$

$$P_{CO_2} = \frac{y_{CO_2}}{P_T}$$

$$\ln \left( \frac{H_{CO_2}}{H_{CO_2,0}} \right) = A_H \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_H \cdot \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) + C_H \left( \frac{T}{T_0} - 1 \right) \quad (\text{Wijanarko, 2000})$$

$$\ln \left( \frac{H_{CO_2}}{H_{CO_2,0}} \right) = A_K \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_K \cdot \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) + C_K \left( \frac{T}{T_0} - 1 \right) \quad (\text{Wijanarko, 2000})$$

Dengan menggabungkan kedua persamaan di atas, maka kandungan bikarbonat  $[HCO_3^-]$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$[HCO_3] = \left( \frac{K_{CO_2,0}}{H_{CO_2,0}} \right) \left( \frac{y_{CO_2} \cdot P_T}{10^{-pH}} \right) \left( \frac{\text{EXP} \left[ A_k \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_k \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) + C_k \left( \frac{T}{T_0} - 1 \right) \right]}{\text{EXP} \left[ A_h \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_h \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) + C_h \left( \frac{T}{T_0} - 1 \right) \right]} \right) \quad \dots(7)$$

dimana :

$P_T$  = temperatur operasi. (atm)

$y_{CO_2}$  = konsentrasi gas  $CO_2$  yang diumpangkan.

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

$H_{CO_2,0} = 2900 \frac{kPa \cdot kg}{mol}$

$T$  = temperatur operasi (K)

$T_0$  = temperatur standar (K)

Konstanta-konstanta aktivitas gas  $CO_2$  :

$A_k = 40.557 \quad B_k = -36.782 \quad C_k = 0$

$A_h = 22.771 \quad B_h = -11.452 \quad C_h = -3.117$

### 3.5.3 Pengolahan Data I

Jumlah intensitas yang diterima oleh reaktor (1) dan besar intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh reaktor (ib) digunakan untuk menentukan besarnya nilai energi yang digunakan untuk produksi biomassa dan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Nilai energi ini ditentukan melalui persamaan berikut:

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

di mana :

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

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

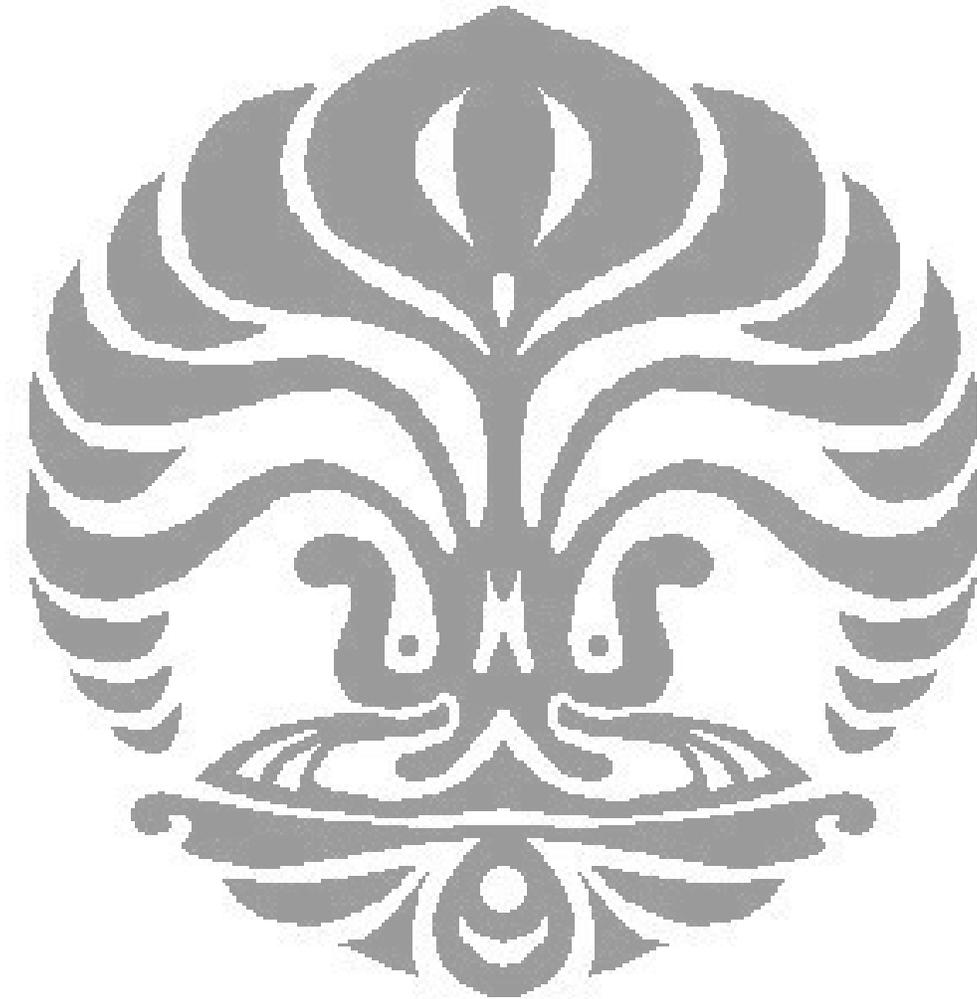
$I_t$  = intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh kultur ( $W/m^2$ )

$E_x$  = energi cahaya yang dimanfaatkan selama kultivasi

$E$  = energi yang tersedia selama kultivasi

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

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



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan mengenai pelaksanaan dari tiap tahapan penelitian, pengukuran data, serta pembahasan mengenai analisis dari data-data yang telah didapat dari penelitian.

#### 4.1 Pembahasan Umum

Pada penelitian ini, mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg mengalami proses pengembangbiakan dalam sebuah fotobioreaktor kolom gelembung dengan pencahayaan kontinu untuk mengetahui ketahanan mikroalga terhadap polutan berupa gas  $N_2O$  yang dapat diketahui lewat pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg setelah mengalami perlakuan penambahan gas  $N_2O$  kedalam medium hidupnya. Bahasan pada penelitian ini difokuskan pada pengaruh gas  $N_2O$  terhadap pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg serta metode untuk meningkatkan pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Penamaan *nomenclature* Buitenzorg diambil karena *Chlorella* ini berasal dari daerah Bogor yang dahulu pada zaman penjajahan Belanda dinamai *buitenzorg*.

Penelitian ini dimulai dengan mencari pada literatur gas  $N_2O$  buangan aktual dari sumber-sumber industri. Kemudian melakukan kultur awal pada *Chlorella vulgaris* Buitenzorg untuk pembuatan stok. Tahapan ini mencakup sterilisasi peralatan yang digunakan, perakitan alat, pembuatan medium Beneck, dan pembiakan kultur murni *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Proses sterilisasi memiliki perlakuan yang berbeda-beda untuk jenis peralatan tertentu. Untuk peralatan yang tahan panas, proses sterilisasi dengan menggunakan *autoclave*. Sedangkan untuk peralatan yang tidak tahan panas seperti selang plastik dan lain-lain, dapat disterilisasi dengan alkohol 70%, namun dengan syarat alat tersebut harus dibilas dengan aquadest steril lagi untuk menghilangkan sisa-sisa alkohol.

Perakitan alat penelitian yaitu berupa fotobioreaktor dengan kapasitas  $18 \text{ dm}^3$  dengan bahan kaca transparan. Setelah merangkai alat, selanjutnya adalah membuat medium Beneck. Tujuan digunakannya medium Beneck adalah untuk memperoleh kondisi mikroalga yang homogen sebagai stok yang akan digunakan, memperbanyak jumlah sel, dan untuk membiasakan mikroalga pada kondisi operasi yang akan digunakan pada proses penelitian ini. Medium Beneck dipilih sebagai media hidup *Chorella vulgaris* Buitenzorg ini karena mengandung senyawa makro yang sangat dibutuhkan dalam pertumbuhannya untuk pembelahan sel serta pembentukan asam nukleat dan protein. Kandungan medium Beneck itu sendiri adalah  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$ , dan  $\text{FeCl}_3$ . Ion  $\text{Mg}^{2+}$  diperlukan dalam mengontrol proses pembelahan sel. Sedangkan ion  $\text{PO}_4^{3-}$  dan  $\text{NO}_3^-$  berperan penting dalam pembentukan nukleat dan protein selama pertumbuhan sel (Wirosaputro, 2002).

Tahap selanjutnya adalah melakukan pembiakan *Chorella vulgaris* Buitenzorg yang bertujuan untuk memberikan kesempatan pada *Chorella vulgaris* Buitenzorg untuk beradaptasi dengan lingkungan atau medium yang baru, disamping bertujuan untuk memperbanyak stok. pembiakan ini dilakukan dalam fotobioreaktor menggunakan penyinaran rendah  $\pm 1000 \text{ lux}$  ( $2,95 \text{ W/m}^2$ ) serta aliran udara dari kompresor dengan sebesar  $1 \text{ v/vm}$  tanpa  $\text{CO}_2$  tambahan.

Tahap selanjutnya yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pembuatan kurva kalibrasi, yaitu kurva kalibrasi OD vs  $X$ . Selanjutnya adalah membuat inokulum *Chorella vulgaris* Buitenzorg dengan menggunakan dua konsentrasi sel, yaitu dengan  $X = 0.1 \text{ g/l}$  dan  $X = 0.4 \text{ g/l}$ . Dalam pembuatan inokulum ini intensitas cahaya yang digunakan adalah masing-masing sebesar  $1600$  dan  $3000 \text{ lux}$  serta dijaga agar nilainya tetap selama berlangsungnya proses kultivasi. Nilai intensitas yang ditetapkan ini mengacu pada penelitian sebelumnya dimana intensitas cahaya maksimum untuk pertumbuhan sel optimum ( $I_{\mu\text{max,opt}}$ ) bergantung pada jumlah inokulum yang digunakan (Andika, 2005).

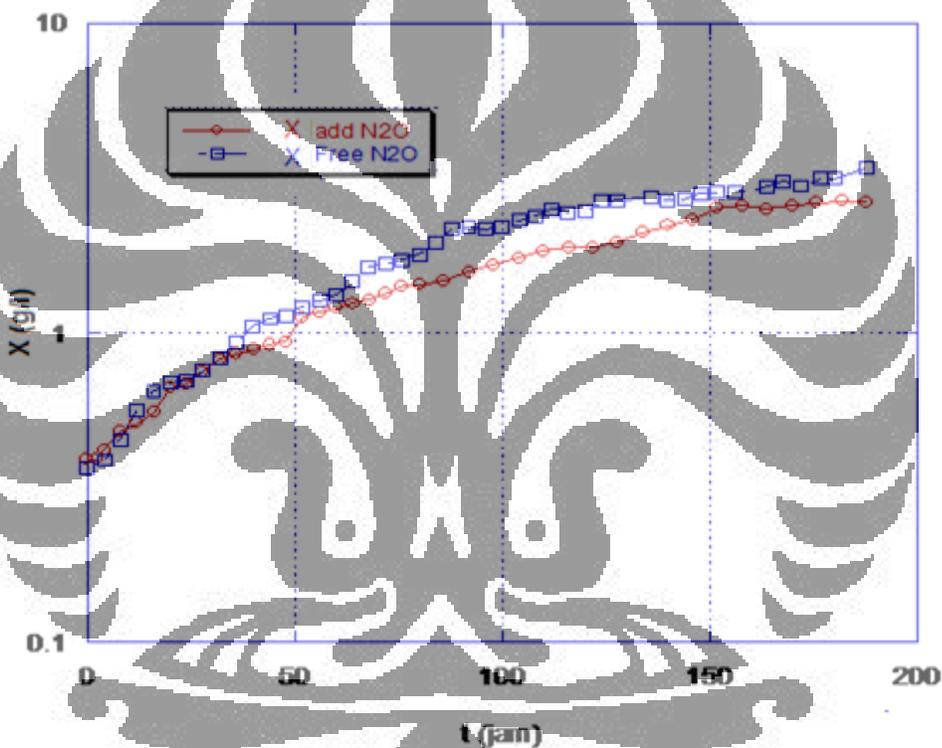
Setelah memiliki inokulum *Chorella vulgaris* Buitenzorg dengan berbagai variasi konsentrasi sel awal, maka penelitian dilanjutkan ke tahap utama, yaitu untuk menguji ketahanan *Chorella vulgaris* Buitenzorg terhadap gas N<sub>2</sub>O dengan dilihat dari dua metode yang berbeda, yaitu dengan menggunakan variasi nilai berat kering dan selanjutnya melakukan pengontrolan terhadap pH kultur. Dengan melakukan variasi konsentrasi sel maka akan diketahui tingkat ketahanan *Chorella vulgaris* Buitenzorg terhadap N<sub>2</sub>O pada jumlah konsentrasi sel tertentu selama waktu tertentu. N<sub>2</sub>O pada penelitian ini dibuat, yaitu dengan level 100 - 300 ppm. Penelitian tersebut akan dibandingkan dengan konsentrasi sel *Chorella vulgaris* Buitenzorg tanpa diinhibisi oleh N<sub>2</sub>O. Selain terhadap jumlah konsentrasi sel awal ( $X_{sel}$ ) perbandingan juga dilakukan pada nilai laju pertumbuhan produksi biomassa pada fasa logaritmik ( $\mu_{sel}$ ), yang merupakan waktu yang diperlukan untuk sekali pembelahan sel. Pada penelitian ini juga dilihat mengenai pengaruh antara ketahanan terhadap N<sub>2</sub>O konsentrasi sel awal ( $X_{sel}$ ) sebanyak 0.1 g/l dengan adanya pengontrolan pH dan tanpa pengontrolan pH.

#### **4.2 Pengaruh N<sub>2</sub>O Terhadap Pertumbuhan *Chorella vulgaris* Buitenzorg**

Pengaruh inhibisi oleh gas N<sub>2</sub>O sebanyak 100 - 300 ppm terhadap pertumbuhan *Chorella vulgaris* Buitenzorg pada penelitian ini akan difokuskan pada variabel jumlah konsentrasi sel awal ( $X_{sel}$ ) yang divariasikan dimana hasilnya akan dibandingkan dengan jumlah konsentrasi sel awal ( $X_{sel}$ ) tanpa adanya inhibisi oleh N<sub>2</sub>O. Selain itu juga akan dibahas mengenai perbandingan laju pertumbuhan produksi biomassa *Chorella vulgaris* Buitenzorg pada fasa logaritmik ( $\mu_{sel}$ ) dengan adanya inhibisi N<sub>2</sub>O pada berbagai variasi jumlah sel inokulum.

#### 4.2.1 Pengaruh N<sub>2</sub>O Terhadap *Chorella vulgaris* Buitenzorg dengan X<sub>awal</sub> = 0,4 g/l

Pada penelitian ini digunakan inokulum *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan nilai berat kering awal (X<sub>awal</sub>) paling besar, yaitu 0,4 g/l. Inokulum tersebut diinhibisi oleh 100-300 ppm gas N<sub>2</sub>O selama waktu tertentu dan hasilnya dibandingkan dengan inokulum yang memiliki berat kering sama namun tidak diinhibisi dengan N<sub>2</sub>O, seperti yang terlihat pada Gambar 4.1 berikut ini.

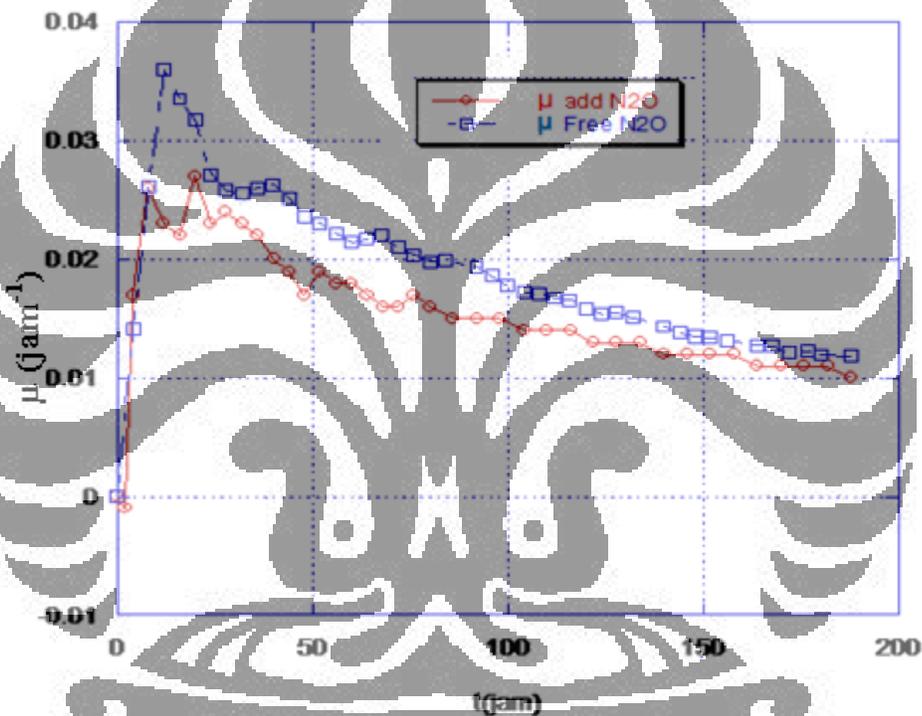


Gambar 4.1 Perbandingan pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan X awal: 0.4 g/l

Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg yang diinhibisi oleh N<sub>2</sub>O sebanyak 100 - 300 ppm memiliki nilai berat kering yang lebih sedikit dibandingkan dengan berat kering yang tidak diinhibisi oleh N<sub>2</sub>O seiring dengan penambahan waktu. Perbedaan nilai berat kering sel akhir (X<sub>akhir</sub>) *Chlorella vulgaris* Buitenzorg terlihat jelas pada saat jam ke-75, dimana X<sub>akhir</sub> yang terinhibisi oleh 100 - 300 ppm N<sub>2</sub>O adalah 2.67 g/l, atau 22.11 % lebih sedikit daripada X<sub>akhir</sub>

tanpa adanya inhibisi  $N_2O$  yang sebanyak 3,42 g/l. Hal tersebut disebabkan adanya  $N_2O$  sebagai racun yang bersifat asam akan menghambat pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg sehingga akan berakibat kurang efektif dalam memfiksasi  $CO_2$  nantinya.

Selanjutnya akan dilihat perbandingan antara laju pertumbuhan ( $\mu$ ) *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan  $X_{awal} = 0,4$  g/l dengan adanya inhibisi  $N_2O$  dan tanpa inhibisi  $N_2O$  terhadap waktu, seperti yang terlihat pada gambar 4.2 berikut ini.



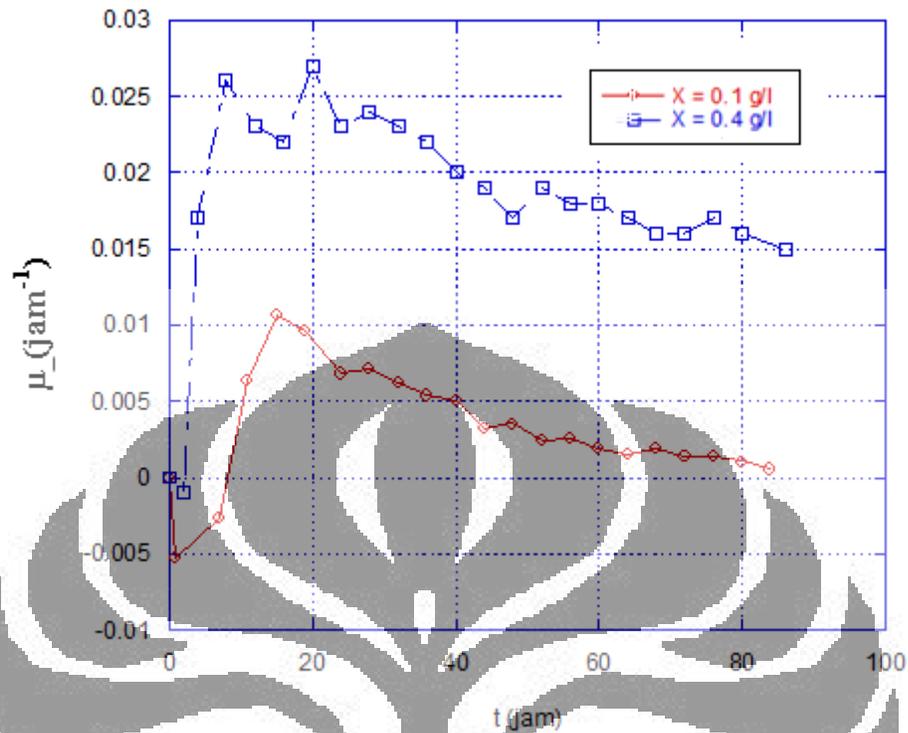
Gambar 4.2 Perbandingan  $\mu$  *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan inhibisi  $N_2O$  dan tanpa inhibisi  $N_2O$  dengan  $X_{awal}$ : 0,4 g/l

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa nilai  $\mu$  antara *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan inhibisi  $N_2O$  dan tanpa inhibisi  $N_2O$  memiliki perbedaan yang jelas, dimana laju pertumbuhan tanpa inhibisi  $N_2O$  memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan adanya inhibisi  $N_2O$ . Inhibisi  $N_2O$  akan menghambat pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg karena sifat gas ini yang beracun, sehingga dengan adanya  $N_2O$  maka laju pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

akan menurun. Namun seiring dengan bertambahnya waktu maka perbedaan laju pertumbuhan keduanya menjadi semakin tidak signifikan. Hal itu disebabkan Hal itu disebabkan semakin banyak jumlah sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg maka semakin kecil ruang kontak yang terjadi antara sel dengan  $N_2O$  sehingga efek inhibisi yang dihasilkan akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah sel.

#### 4.2.2 Pengaruh $N_2O$ Terhadap *Chorella vulgaris* Buitenzorg Pada 2 Variasi Konsentrasi Sel Awal

Pada penelitian ini digunakan dua buah variasi inokulum untuk membandingkan seberapa besar pengaruh  $N_2O$  terhadap konsentrasi awal yang berbeda dengan melihat pada nilai laju pertumbuhan spesifik ( $\mu$ ) *Chorella vulgaris* Buitenzorg, pH,  $[HCO_3^-]$  dan nilai X. Nilai laju pertumbuhan spesifik ( $\mu$ ) ini diidentifikasi untuk jumlah inokulum sebanyak dua buah variasi berat kering sel awal ( $X_{\text{awal}}$ ), yaitu 0,4 g/l untuk dan 0,1 g/l. Perbandingan nilai laju pertumbuhan spesifik ( $\mu$ ) antara kedua variasi inokulum tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3 di bawah ini.



**Gambar 4.3** Perbandingan nilai  $\mu$  *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada 2 variasi  $X_{awal}$  sel

Laju pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg akan mencapai titik maksimal pada fase eksponensial dan akan menurun sampai akhirnya memasuki fase kematian. Hal tersebut sesuai dengan persamaan Monod berikut:

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

dimana:

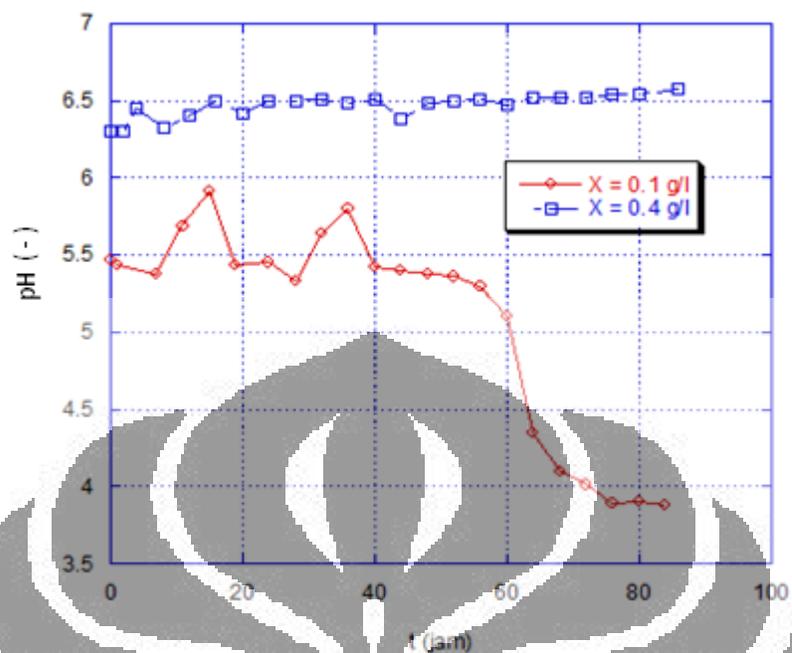
$\mu$  = laju pertumbuhan spesifik ( $h^{-1}$ )

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

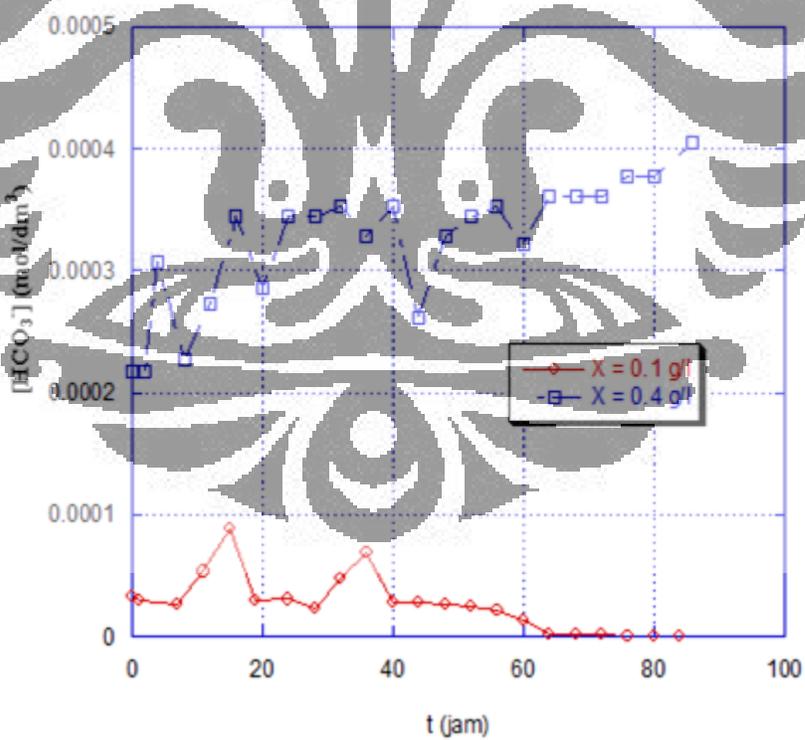
$t$  = waktu (h)

Laju pertumbuhan spesifik sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg untuk tiap variasi jumlah inokulum secara keseluruhan memiliki kecenderungan yang hampir sama, yakni pada awal masa kultivasi laju pertumbuhan sel akan meningkat kemudian akan turun, hal ini disebabkan pada awal masa kultivasi sel berada pada fase lag, dimana sel mengalami proses adaptasi terhadap lingkungan atau sistem dimana sel berada. Oleh karena itu sebagian sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg mengalami kematian akibat proses adaptasi tersebut, sehingga sel yang masih tetap bertahan setelah melewati proses adaptasi mengalami laju pertumbuhan yang semakin besar akibat masih banyak tersedianya unsur hara dalam medium yang digunakan dan kompetisi untuk memperebutkan unsur hara itu tidak terlalu besar antar satu sel dengan sel yang lain sehingga pertumbuhan sel pun akan maksimal. Berbeda kondisinya ketika sel memasuki fase log, dimana jumlah sel mengalami peningkatan yang signifikan, sehingga menyebabkan unsur hara yang terkandung dalam medium yang dibutuhkan untuk perkembangan sel semakin habis dan tingkat kompetisi antara sel untuk memperebutkan unsur hara tersebut semakin tinggi dan hal ini berdampak pada laju pertumbuhan yang terus menurun seiring dengan berjalannya waktu.

Adanya efek inhibisi oleh  $N_2O$  juga memperbesar penurunan jumlah sel dan laju pertumbuhannya. Inokulum dengan  $X_{awal}$  sebesar 0,1 g/l hampir tidak dapat tumbuh pada saat akhir penelitian, dimana nilai  $\mu$  mendekati nol. Hal ini disebabkan kuatnya efek inhibisi oleh  $N_2O$  sehingga sangat menghambat pertumbuhan inokulum dengan jumlah sel yang sedikit. Hal yang berbeda ditemukan pada *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan inokulum dengan  $X_{awal}$  sebesar 0,4 g/l, dimana pada saat akhir penelitian memiliki nilai  $\mu$  yang jauh lebih baik dibandingkan dengan  $X_{awal}$  sebesar 0,1 g/l. Hal tersebut dikarenakan ruang kontak yang terjadi antara sel dengan  $N_2O$  semakin berkurang sehingga efek inhibisi yang dihasilkan akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah sel.



Gambar 4.4 Perbandingan nilai pH *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada 2 variasi  $X_{awal}$  sel



Gambar 4.5 Perbandingan nilai  $[HCO_3^-]$  *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada 2 variasi  $X_{awal}$  sel

Dari gambar 4.4 dapat dilihat pada  $X_{\text{awal}}$  sebesar 0,4 g/l, maka nilai pH kultur cenderung untuk naik walaupun tidak signifikan (pH berada di angka 6). Nilai pH tersebut merupakan kondisi ideal bagi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg untuk tumbuh, sehingga walaupun terdapat inhibisi  $N_2O$  pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg tetap optimal. Namun hal ini berbeda dengan  $X_{\text{awal}}$  sebesar 0,1 g/l, maka pH kultur akan menurun seiring bertambahnya waktu, dimana nilai pH kultur akan berada di bawah *range* pH agar pertumbuhan mikroalga optimal. Dengan semakin asam nilai pH kultur, maka aktivitas pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg akan terganggu.

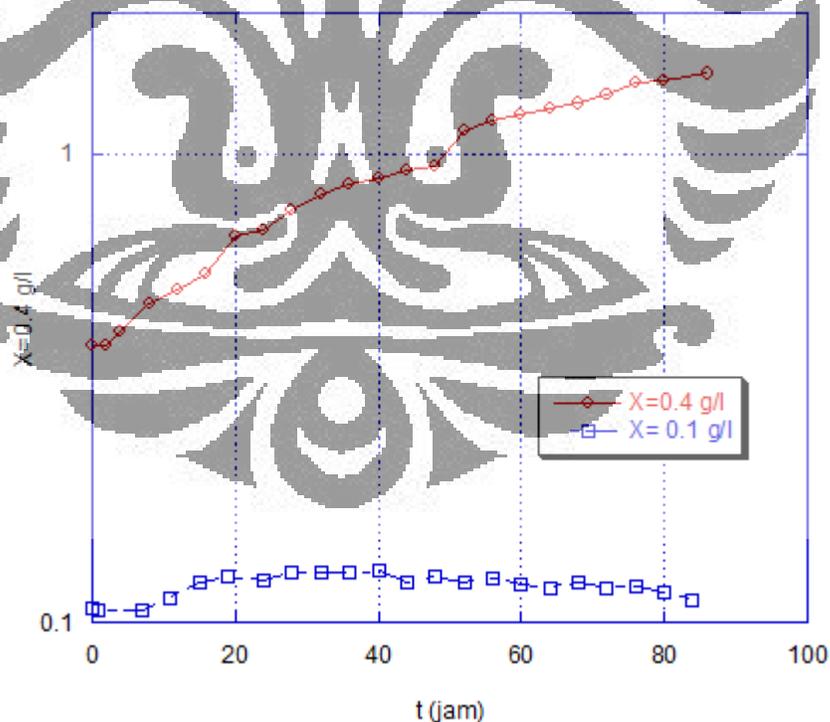
Kenaikan nilai pH dapat disebabkan semakin banyaknya jumlah  $[HCO_3^-]$  dalam medium, dikarenakan besarnya konsentrasi spesi ion  $[HCO_3^-]$  sebanding dengan besarnya nilai pH, sehingga nilai  $[HCO_3^-]$  akan semakin besar dengan naiknya nilai pH dalam kultur. Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa pada  $X_{\text{awal}}$  sebesar 0,4 g/l pH akan cenderung naik seiring dengan bertambahnya waktu.

Namun kemudian nilai pH tersebut cenderung konstan, seperti yang terlihat pada Gambar 4.4. Hal tersebut dapat disebabkan oleh kadar pH dalam medium kultur yang tidak dapat bertambah lagi akibat medium tersebut telah jenuh, dan tidak ada lagi unsur hara yang dapat diserap oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg karena sel itu sendiri mengalami kematian secara perlahan-lahan. Selain itu, fenomena meningkatnya pH juga disebabkan oleh adanya peningkatan proses metabolisme sel (fase log), sehingga ion  $[OH^-]$  sebagai hasil metabolisme juga semakin banyak.

Hal yang berbeda terlihat pada inokulum dengan konsentrasi  $X_{\text{awal}}$  sebesar 0,1 g/l yang diinhibisi oleh  $N_2O$ . Dapat dilihat dalam Gambar 4.4 dan 4.5 bahwa seiring dengan bertambahnya waktu, nilai pH cenderung menurun menjadi semakin asam, yang disebabkan oleh menurunnya aktivitas *Chlorella vulgaris* Buitenzorg akibat adanya inhibisi yang kuat oleh  $N_2O$ . Sifat asam gas  $N_2O$  yang terlarut dalam air menjadi alasan dasar tidak dapat tumbuhnya *Chlorella vulgaris* Buitenzorg, karena gas  $N_2O$  bersifat racun, sehingga akan menurunkan aktivitas sel dalam inokulum dan

bahkan untuk jumlah sel yang sedikit *Chlorella vulgaris* Buitenzorg tidak dapat tumbuh. Sebab penurunan pH lainnya adalah karena pada dasarnya *Chlorella vulgaris* Buitenzorg menyerap kebutuhan gasnya dalam bentuk senyawa yang terlarut dalam mediumnya yang cair melalui vakuola. Dengan banyaknya gas  $N_2O$  yang terlarut dalam air, maka kemampuan sel untuk menyerap  $CO_2$  sebagai bahan dasar untuk berfotosintesis dan menghasilkan ion  $[OH^-]$  semakin berkurang. Hal itu disebabkan pada dinding sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg terjadi penutupan oleh molekul  $N_2O$  yang menempel akibat bertabrakan pada saat aerasi didalam fotobioreaktor, sehingga menyebabkan penyerapan gas  $CO_2$  dalam bentuk ion  $[HCO_3^-]$  yang terlarut dalam medium air semakin berkurang dan menyebabkan ion  $[OH^-]$  yang dihasilkan juga akan semakin berkurang.

Peninjauan terakhir yaitu berdasarkan nilai X, dimana hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut ini.



**Gambar 4.6** Perbandingan nilai X *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada 2 variasi  $X_{awal}$  sel

**Tabel 4. 1** Perbandingan nilai X pada 2 variasi  $X_{\text{awal}}$  sel

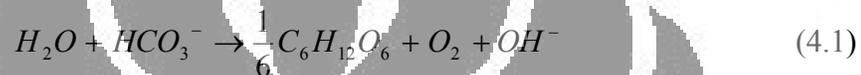
$X_{\text{awal}}$ (g/l)	$X_0$ (g/l)	$X_f$ (g/l)	$\Delta X$
0.1	0.107	0.112	0.004
0.4	0.391	1.482	1.091

Dari gambar 4.6 dapat dilihat pada  $X_{\text{awal}}$  sebesar 0,4 g/l nilai X akan bertambah jauh lebih baik pada inhibisi  $N_2O$  dibandingkan dengan  $X_{\text{awal}}$  sebesar 0,1 g/l. Nilai X dengan  $X_{\text{awal}}$  sebesar 0,1 g/l cenderung statis (tidak bertambah). Adanya inhibisi oleh  $N_2O$  terbukti menghambat pertumbuhan nilai X pada  $X_{\text{awal}}$  sebesar 0,1 g/l, sehingga akan mengganggu aktivitas pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Hal ini disebabkan kuatnya efek inhibisi oleh  $N_2O$  sehingga sangat menghambat pertumbuhan inokulum dengan jumlah sel yang sedikit. Hal yang berbeda ditemukan pada *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan inokulum dengan  $X_{\text{awal}}$  sebesar 0,4 g/l, dimana pada saat akhir penelitian memiliki nilai X yang jauh lebih baik dibandingkan dengan  $X_{\text{awal}}$  sebesar 0,1 g/l. Hal tersebut dikarenakan ruang kontak yang terjadi antara sel dengan  $N_2O$  semakin berkurang sehingga efek inhibisi yang dihasilkan akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah sel. Dapat dilihat pada tabel 4.1 dimana terdapat perbedaan  $\Delta X$  yang signifikan antara kedua variasi sel awal tersebut.

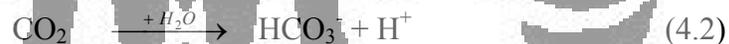
Dari perbandingan keempat grafik diatas antara jumlah  $X_{\text{sel}}$  awal sebanyak 0,4 g/l dan 0,1 g/l untuk tiap waktu dapat dilihat bahwa semakin banyak  $X_{\text{awal}}$  sel maka tingkat ketahanan terhadap inhibisi  $N_2O$  akan semakin baik. Hal tersebut seperti yang dikemukakan oleh Yoshihara et. al. Dia melaporkan bahwa ketahanan sebuah mikrolaga terhadap  $NO_x$  bergantung kepada jumlah sel yang dihasilkan setelah inokulasi kultur. Hal itu disebabkan semakin banyak jumlah sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg maka semakin kecil ruang kontak yang terjadi antara sel dengan  $N_2O$  sehingga efek inhibisi yang dihasilkan akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah sel.

### 4.3 Pengaruh Gas N<sub>2</sub>O Terhadap *Chlorella vulgaris* Buitenzorg Disertai Pengontrolan pH

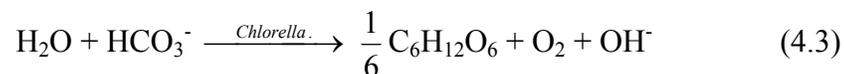
Pada dasarnya mikroalga seperti *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dan berbagai jenis mikroalga lainnya membutuhkan pH yang ideal agar mereka dapat tumbuh dengan baik. Idealnya nilai pH harus berkisar antara 6 hingga 8. Pada umumnya, aktivitas sel seperti pertumbuhan, pembelahan sel, serta metabolisme sel yang tinggi dapat meningkatkan pH medium. Hubungan ini dapat dijelaskan oleh persamaan reaksi sebagai berikut:



Senyawa bikarbonat terbentuk karena adanya reaksi antara CO<sub>2</sub> yang terlarut dalam larutan medium dengan air. Nilai [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] dihitung dari perubahan pH kultur yang terjadi sebagai akibat adanya aktivitas pertumbuhan sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Pada saat gas CO<sub>2</sub> masuk dalam kultur, proses yang terjadi adalah pembentukan senyawa bikarbonat (pada *ekstraselular*) 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 bikarbonat tersebut dan air yang terdapat dalam sel membentuk senyawa organik seperti glukosa dan ion OH<sup>-</sup>. Glukosa tersebut akan digunakan sebagai sumber energi baik bagi *Chlorella* maupun organisme heterotrof, sebagaimana tergambar pada persamaan reaksi berikut:

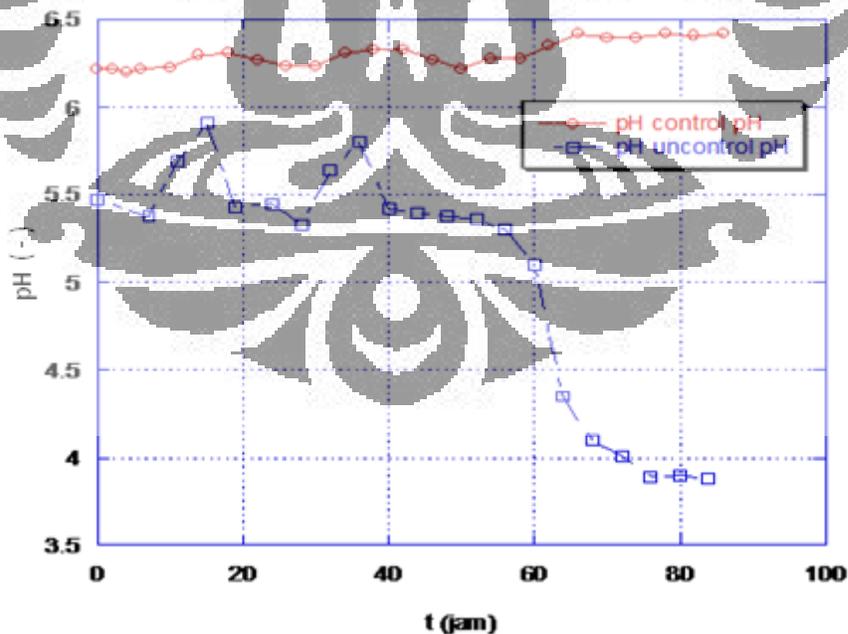


Pada penelitian tahap ini akan dilakukan pengontrolan pH dengan cara menambahkan sedikit tetesan larutan 1 N NaOH pada inokulum dengan X<sub>awal</sub> sebesar 0,1 g/l pada 8 jam pertama tiap kurun interval 4 jam, dengan tujuan untuk

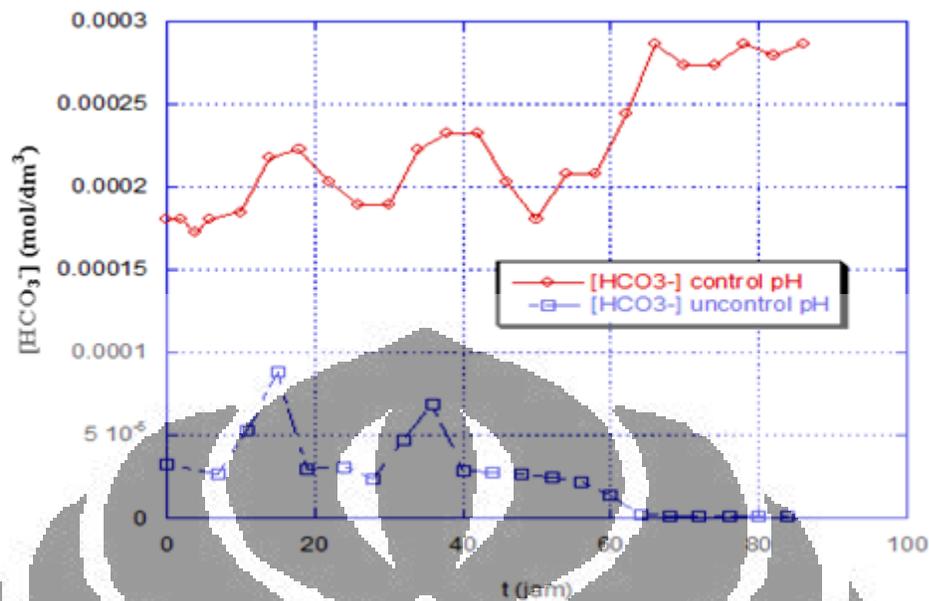
meningkatkan ketahanan sel terhadap  $N_2O$  berdasarkan teori tentang pengaruh pH terhadap pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Hasilnya akan dibandingkan dengan tanpa adanya pengontrolan pH, baik untuk jumlah inokulum yang sama, yaitu dengan  $X_{awal}$  sebesar 0,1 g/l, maupun untuk  $X_{awal}$  sebesar 0,4 g/l namun tanpa disertai pengontrolan pH.

#### 4.3.1 Pengaruh Pengontrolan pH pada Ketahanan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg Terhadap $N_2O$ untuk $X_{awal}$ : 0,1 g/l

Untuk melihat efektivitas pengaruh pengontrolan pH pada ketahanan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg terhadap  $N_2O$  untuk  $X_{awal}$ : 0,1 g/l dapat ditinjau dari empat hal, yaitu berdasarkan nilai pH,  $[HCO_3^-]$ , nilai  $X$ , dan nilai  $\mu$ . Peninjauan pertama adalah berdasarkan nilai pH dan  $[HCO_3^-]$  kultur, seperti yang terlihat pada Gambar 4.7 dan 4.8 berikut.



**Gambar 4.7** Perbandingan pH terhadap waktu pada pengontrolan pH kultur untuk  $X_{awal}$ : 0,1 g/l



**Gambar 4.8** Perbandingan nilai  $[\text{HCO}_3^-]$  terhadap waktu pada pengontrolan pH kultur untuk  $X_{\text{awal}}$ : 0,1 g/l

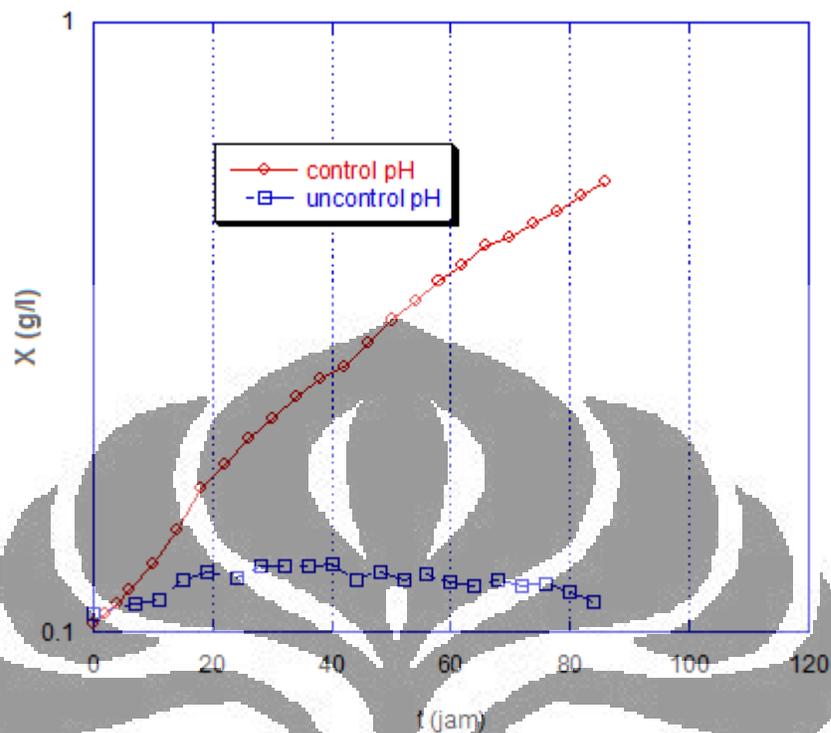
Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa dengan adanya pengontrolan pH, maka nilai pH kultur cenderung untuk naik walaupun tidak signifikan (pH berada di angka 6). Nilai pH tersebut merupakan kondisi ideal bagi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg untuk tumbuh, sehingga walaupun ada inhibisi  $\text{N}_2\text{O}$  pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg tetap optimal. Namun jika tidak dilakukan pengontrolan pH, maka pH kultur akan menurun seiring bertambahnya waktu, dimana nilai pH kultur akan berada di bawah *range* pH agar pertumbuhan mikroalga optimal. Dengan semakin asam nilai pH kultur, maka aktivitas pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg akan terganggu.

Kenaikan nilai pH dapat disebabkan semakin banyaknya jumlah  $[\text{HCO}_3^-]$  dalam medium, dikarenakan besarnya konsentrasi spesi ion  $[\text{HCO}_3^-]$  sebanding dengan besarnya nilai pH, sehingga nilai  $[\text{HCO}_3^-]$  akan semakin besar dengan naiknya nilai pH dalam kultur. Pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa dengan adanya pengontrolan pH nilai  $[\text{HCO}_3^-]$  akan naik seiring dengan bertambahnya waktu.

. Namun kemudian nilai pH tersebut cenderung konstan, seperti yang terlihat pada Gambar 4.7 Hal tersebut dapat disebabkan oleh kadar pH dalam medium kultur yang tidak dapat bertambah lagi akibat medium tersebut telah jenuh, dan tidak ada lagi unsur hara yang dapat diserap oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg karena sel itu sendiri mengalami kematian secara perlahan-lahan. Selain itu, fenomena meningkatnya pH juga disebabkan oleh adanya peningkatan proses metabolisme sel (fase log), sehingga ion  $[\text{OH}^-]$  sebagai hasil metabolisme juga semakin banyak.

Hal yang berbeda terlihat pada inokulum dengan konsentrasi sel awal ( $X_{\text{sel}}$ ) 0.1 g/l yang diinhibisi oleh  $\text{N}_2\text{O}$ . Dapat dilihat dalam Gambar 4.7 dan 4.8 bahwa seiring dengan bertambahnya waktu, nilai pH cenderung menurun menjadi semakin asam, yang disebabkan oleh menurunnya aktivitas *Chlorella vulgaris* Buitenzorg akibat adanya inhibisi yang kuat oleh  $\text{N}_2\text{O}$ . Sifat asam gas  $\text{N}_2\text{O}$  yang terlarut dalam air menjadi alasan dasar tidak dapat tumbuhnya *Chlorella vulgaris* Buitenzorg, karena gas  $\text{N}_2\text{O}$  bersifat racun, sehingga akan menurunkan aktivitas sel dalam inokulum dan bahkan untuk jumlah sel yang sedikit *Chlorella vulgaris* Buitenzorg tidak dapat tumbuh. Sebab penurunan pH lainnya adalah karena pada dasarnya *Chlorella vulgaris* Buitenzorg menyerap kebutuhan gasnya dalam bentuk senyawa yang terlarut dalam mediumnya yang cair melalui vakuola. Dengan banyaknya gas  $\text{N}_2\text{O}$  yang terlarut dalam air, maka kemampuan sel untuk menyerap  $\text{CO}_2$  sebagai bahan dasar untuk berfotosintesis dan menghasilkan ion  $[\text{OH}^-]$  semakin berkurang. Hal itu disebabkan pada dinding sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg terjadi penutupan oleh molekul  $\text{N}_2\text{O}$  yang menempel akibat bertabrakan pada saat aerasi didalam fotobioreaktor, sehingga menyebabkan penyerapan gas  $\text{CO}_2$  dalam bentuk ion  $[\text{HCO}_3^-]$  yang terlarut dalam medium air semakin berkurang dan menyebabkan ion  $[\text{OH}^-]$  yang dihasilkan juga akan semakin berkurang.

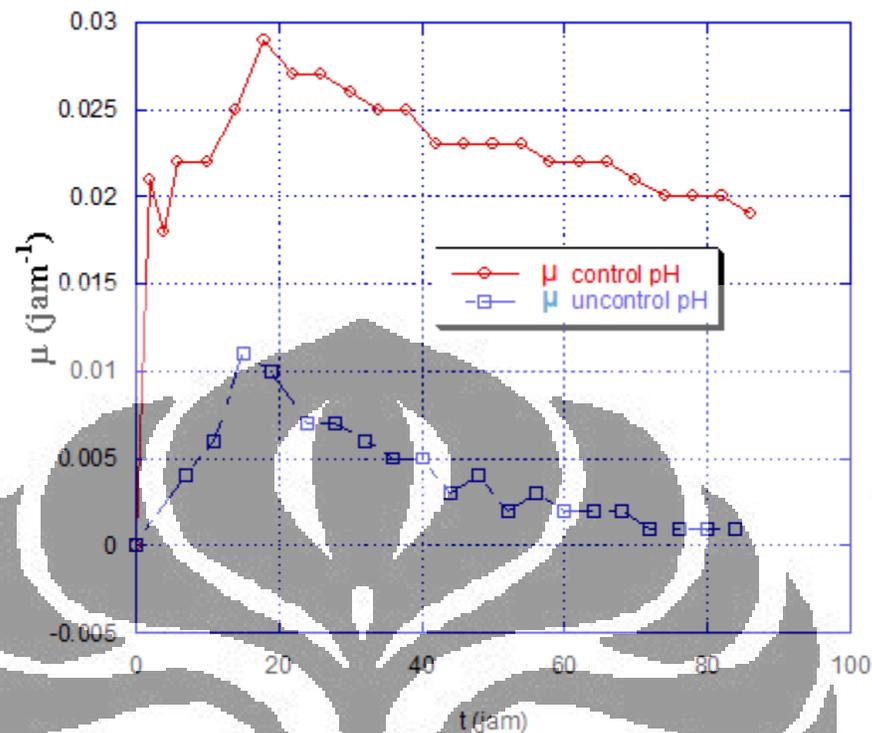
Peninjauan selanjutnya yaitu berdasarkan nilai X, dimana hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut ini.



**Gambar 4.9** Perbandingan X terhadap waktu pada pengontrolan pH kultur untuk  $X_{awal}$ : 0,1 g/l

Dari gambar 4.9 dapat dilihat bahwa dengan adanya pengontrolan pH, maka nilai X akan bertambah jauh lebih baik pada inhibisi  $N_2O$  dibandingkan dengan tanpa adanya pengontrolan pH. Nilai X tanpa adanya pengontrolan pH cenderung statis (tidak bertambah) dan cenderung berkurang. Hal tersebut dikarenakan tanpa adanya pengontrolan pH, maka pH kultur akan menjadi sangat asam akibat inhibisi oleh  $N_2O$ , sehingga akan mengganggu aktivitas pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Namun dengan adanya pengontrolan pH kultur maka nilai pH akan terjaga antara 6 hingga 8, dimana *range* pH tersebut merupakan kondisi ideal sehingga kondisi ideal bagi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg untuk tumbuh, sehingga walaupun ada inhibisi  $N_2O$  pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg tetap optimal.

Peninjauan terakhir dilihat dari perbandingan nilai  $\mu$ , dimana hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut ini.



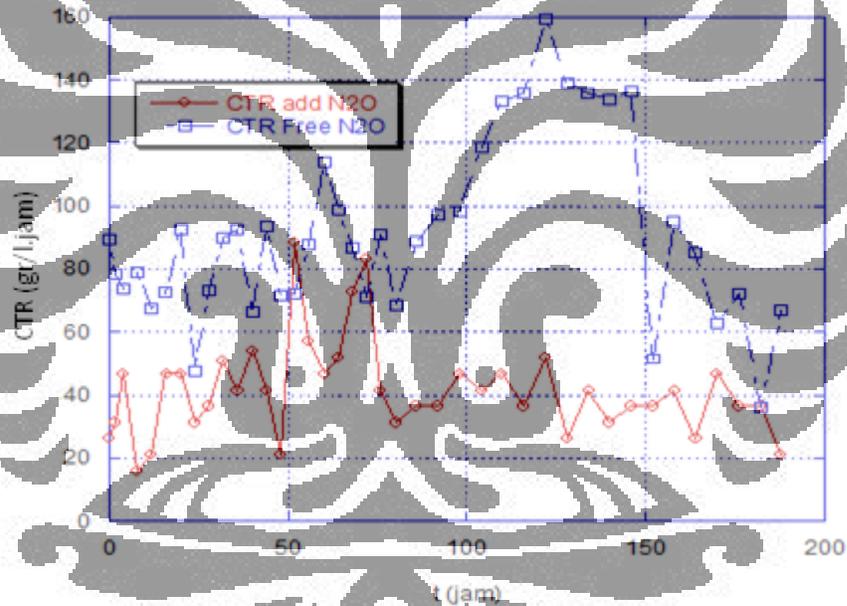
**Gambar 4.10** Perbandingan  $\mu$  terhadap waktu pada pengontrolan pH kultur untuk  $X_{\text{awal}}: 0,1 \text{ g/l}$

Dari gambar 4.10 dapat dilihat bahwa perbandingan laju pertumbuhan ( $\mu$ ) *Chlorella vulgaris* Buitenzorg disertai pengontrolan pH dan tanpa pengontrolan pH memiliki nilai yang cukup jauh berbeda seiring dengan bertambahnya waktu. Bahkan tanpa adanya pengontrolan pH nilai  $\mu$  cenderung mendekati nol, sehingga dapat dikatakan tanpa adanya pengontrolan pH maka *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan  $X_{\text{awal}}: 0,1 \text{ g/l}$  cenderung untuk tidak tumbuh jika diinhibisi dengan  $\text{N}_2\text{O}$ . Lain halnya dengan adanya pengontrolan pH, yang mengakibatkan adanya pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg yang cukup baik walaupun diinhibisi dengan  $\text{N}_2\text{O}$ . Hal tersebut mengacu kepada pernyataan sebelumnya, bahwa dengan adanya pengontrolan pH maka nilai pH kultur akan dijaga pada angka 6 hingga 8, sehingga akan diperoleh laju pertumbuhan yang optimal bagi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Dengan melakukan pengontrolan pH, maka kita dapat menaikkan laju pertumbuhan mikroalga dengan dengan  $X_{\text{awal}}$  yang bernilai kecil hingga memiliki nilai laju pertumbuhan yang lebih besar terhadap mikroalga dengan  $X_{\text{awal}}$  yang sama. Oleh karena itu, dapat

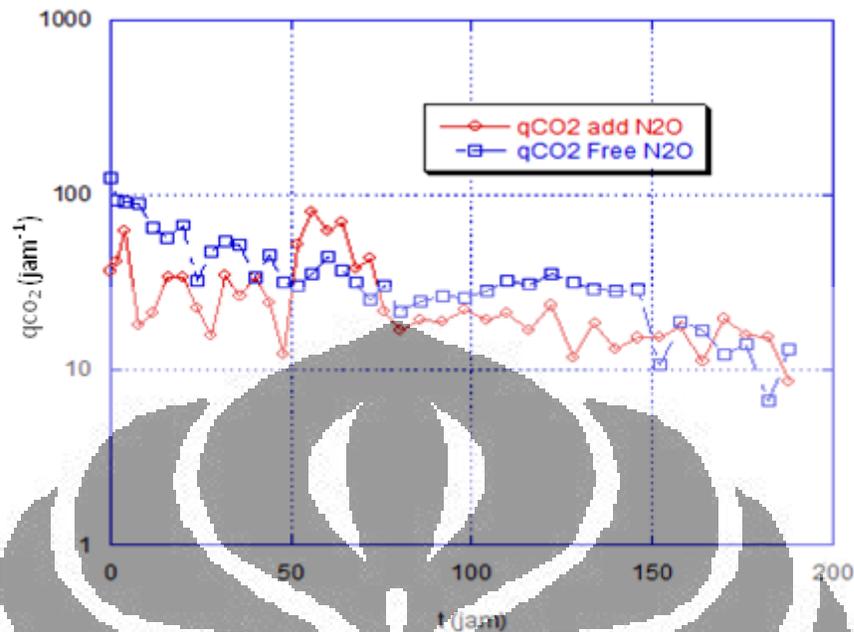
disimpulkan bahwa metode pengontrolan pH ini terbukti cukup efektif untuk meningkatkan pertumbuhan alga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.

#### 4.4 Perhitungan $qCO_2$ dan CTR

Laju transfer  $CO_2$  spesifik ( $qCO_2$ ) adalah laju gas  $CO_2$  yang ditransfer dalam suatu volume medium karena adanya aktivitas kehidupan biologi dalam suatu satuan waktu tertentu, sedangkan CTR (Carbon-Transfer Rate) merupakan banyaknya gas  $CO_2$  yang ditransfer dalam suatu medium dan dibutuhkan oleh metabolisme sel selama satu satuan tertentu (Wijanarko, A, 2003). Kurva kecenderungan  $qCO_2$  dan CTR terhadap waktu diperlihatkan pada gambar 4.11 dan 4.12 dibawah.



Gambar 4.11 Nilai CTR dengan inhibisi  $N_2O$  dan tanpa  $N_2O$



**Gambar 4.12.** Nilai  $q_{CO_2}$  dengan inhibisi  $N_2O$  dan tanpa  $N_2O$

Dari gambar 4.10 dan 4.11 terlihat dengan perlakuan penambahan gas  $N_2O$  juga mempengaruhi kemampuan fiksasi. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa rata-rata nilai CTR dan  $q_{CO_2}$  dengan adanya inhibisi  $N_2O$  sebesar  $41.515 \text{ g/dm}^3 \cdot \text{jam}$  dan  $27.572 \text{ jam}^{-1}$ . Apabila dibandingkan dengan tanpa inhibisi  $N_2O$  nilai CTR dan  $q_{CO_2}$  mengalami penurunan sebesar 41.063% dan 28.938%.

#### 4.5 Perhitungan $E_x$ dan $\eta_{bp}$

Dari data  $I_0$  dan  $I_b$  yang diambil dalam penelitian maka dapat dihitung nilai  $I_i$  dan  $I_t$  yang menggunakan pencahayaan kontinu, dan kemudian digunakan untuk menghitung energi yang digunakan untuk produksi biomassa ( $E_x$ ) dan efisiensi konversi energi cahaya untuk produksi biomassa ( $\eta_{bp}$ ).

**Tabel 4. 2**  $E_x$  dan  $\eta_{bp}$  dalam Berbagai Variasi  $N_2O$

Kondisi	$E_x$ (J/g)	$\eta_{bp}$ (%)
Free $N_2O$	2388.618	5.311
100-300 ppm $N_2O$	2017.287	7.839

Dapat dilihat pada table 4.2 besarnya energi yang diperlukan untuk menghasilkan biomassa ( $E_x$ ) pada variasi % vol  $N_2O$  lebih besar daripada dengan penambahan kadar  $N_2O$  dalam medium. Walaupun nilai efisiensi dari variasi tanpa menggunakan  $N_2O$  (0% vol) lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan  $N_2O$  hal ini dikarenakan besarnya nilai energi yang diperlukan untuk melakukan proses fotosintesis dipengaruhi oleh kepadatan sel. Semakin padat sel maka energi yang dibutuhkan akan semakin besar. Peningkatan kebutuhan energi dipengaruhi oleh efek *self shading*. Fenomena ini terjadi akibat peningkatan kerapatan biomassa dalam media kultur selama kurun waktu pertumbuhan. Hal ini dapat menyebabkan penurunan besarnya fluks energi cahaya yang diterima setiap sel yang digunakan untuk fotosintesis dan menyebabkan laju pembelahan sel menurun sesuai dengan kolerasi logaritmik yang mirip dengan persamaan Lambert-Beer (Falkowsky and Owen, 1997).

#### 4.6 Uji Tambahan

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. Klorofil yang fungsinya dalam tanaman sebagai pembentuk bahan makanan, akan bermanfaat jika dikonsumsi untuk membuang racun (detoksifikasi), merangsang pembentukan hemoglobin, sebagai antioksidan, mempercepat penyembuhan luka, mengurangi aroma tubuh yang tidak sedap serta membantu memperbaiki pencernaan. 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	B karoten (ppm)	Klorofil (ppm)	Keterangan
<i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg	<i>Pre-culture FreeN<sub>2</sub>O</i>	11,54	23,1	Nilai rerata pigmen
	<i>Culture Free N<sub>2</sub>O</i>	9,42	21,8	
	<i>Pre-culture add N<sub>2</sub>O</i>	8,71	18,3	<i>Chlorella</i> secara umum*
	<i>Culture add N<sub>2</sub>O</i>	5,6	11,8	
		3,3-11,2	7,0-27,0	

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

Dapat dilihat dari tabel 4.3 efek dari penambahan polutan  $N_2O$  juga terlihat pada kandungan  $\beta$  karoten dan klorofil. Terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara tanpa penambahan  $N_2O$  dan dengan penambahan  $N_2O$ . Akan tetapi nilai  $\beta$  karoten dan klorofil dapat ditingkatkan dengan cara mengkultivasi bibit culture dengan penambahan medium baru seperti yang ditunjukkan pada nilai  $\beta$  karoten dan klorofil *pre-culture*.

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*. Presentase 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 4.4, kandungan lemak pada beberapa jenis alga.

Tabel 4.4. Kandungan Lemak pada Beberapa Jenis Alga Ditunjukkan dalam 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)

Table 4.5 Perbandingan kandungan lemak

Jenis	Analisa	Lemak (%)
<i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg	<i>Pre-culture</i> <i>FreeN2O</i>	18,81
	<i>Culture</i> <i>Free</i> <i>N2O</i>	18,24
	<i>Pre-culture</i> <i>add N2O</i>	14,27
	<i>Culture</i> <i>add N2O</i>	11,88

Dilihat dari tabel 4.5 Penambaha  $N_2O$  juga mempengaruhi kandungan lemak yang terdapat pada *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Dari hasil pengujian dengan menggunakan metode Bligh & Dyer didapatkan kandungan lemak *culture* dengan sebesar 11,88 % dan kandungan lemak pada *pre-culture* sebesar 14,27%. Apabila dibandingkan dengan tanpa inhibisi  $N_2O$  nilai lemak *Pre-culture* dan *Culture* mengalami penurunan sebesar 24.136% dan 34.86%.

## BAB 5

### KESIMPULAN

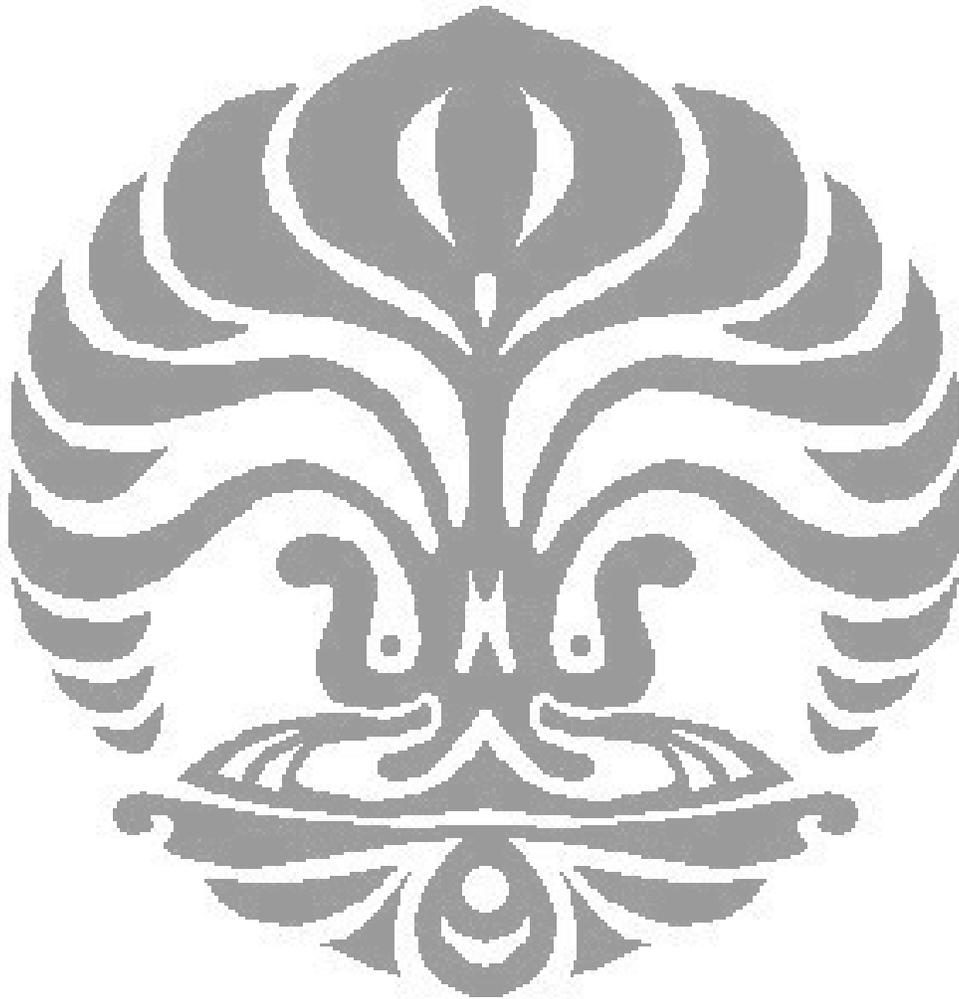
Dari penelitian yang telah dilakukan dan hasil yang dicapai, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat dua metode untuk meningkatkan pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg yaitu, meningkatkan konsentrasi awal sel ( $X_{awal}$ ) dan pengontrolan pH pada inokulum.
2. Mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg memiliki ketahanan yang cukup baik dengan penambahan polutan  $N_2O$  pada konsentrasi sel awal ( $X_{awal}$ ) 0.4 g/l, hal ini ditandai dengan adanya laju pertumbuhan sel maksimum ( $\mu_{max}$ ) sebesar  $0,026 \text{ h}^{-1}$  dan berat akhir sel ( $X_{akhir}$ ) sebesar 2,67 g/l dengan penambahan  $N_2O$  dengan kadar 100 – 300 ppm, akan tetapi apabila dibandingkan dengan perlakuan tanpa penambahan polutan  $N_2O$ , maka berat akhir sel mengalami penurunan sebesar 22.11%.
3. Penambahan polutan  $N_2O$  juga mempengaruhi kemampuan proses fiksasi  $CO_2$ . Hasil yang didapat menunjukkan bahwa rata-rata nilai CTR dan  $qCO_2$  sebesar  $41.515 \text{ g/dm}^3 \cdot \text{h}$  dan  $27.572 \text{ h}^{-1}$ .

## DAFTAR REFERENSI

- Anonim. *Mikroalga Culturing*. <http://www.nhm.ac.uk>. April 2009
- Anonim. *Potensi Chlorella*. <http://www.chlorellafactor.com>. Mei 2009
- Anonim. *Mikroalga*. <http://www.chlorellafactor.com>. Mei 2009
- Andika, Sang Made Kresna. 2004. Skripsi “*Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella vulgaris Buitenzorg dengan Alterasi Pencahayaan dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung*”. Departemen Gas dan Petrokimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- Lee, Jin-Suk et al. 2001. *Effects of SO<sub>2</sub> and NO on growth of chlorella sp. K-R 1*. Bioresource Technology.
- Lee, Ju-No et al. 2000. *Methods to Enhance Tolerances of Chlorella K-R 1 to toxic Compounds in Flue Gas*. Seoul : Chemical Engineering Department Korea University.
- Heidi. 2005 *Pengaruh Alterasi Intensitas Cahaya Terhadap Laju Transfer Karbon pada Proses Fiksasi CO<sub>2</sub> dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung Menggunakan Mikroalga Chlorella vulgaris Buitenzorg*, Departemen Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Suriawiria, Unus. 2005. *Chlorella Untuk Kesehatan dan Kebugaran*, Paps Sinar Sinanti.
- Widiastuti, Paramita. 2005. *Peningkatan Fiksasi Karbondioksida oleh Chlorella Vulgaris Buitenzorg dengan Alterasi Pencahayaan dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung*, Departemen Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Wijanarko, A., K. Othaguchi. 2000. *Alteration of Light Illumination During Microbial Growth : An Enhancement Effort of Biomass Production and Carbon Dioxide Fixation of Psychrophilic Cyanobacterium Anabaena cylindrica IAM MI*, Department of Chemical Engineering, Tokyo Institute of Technology.

- Wijanarko, A., dkk. 2003. *Reactor in Series Approximation, An Enhancement Effort of CO<sub>2</sub> Removal and Biomass Production by Anabaena cylindrica*, Department of Chemical Engineering, Tokyo Institute of Technology.
- Wirosaputro, Sukiman. 2002. *Chlorella Untuk Kesehatan Global*, Gadjah Mada University Press.



## LAMPIRAN A

### DATA HASIL PENELITIAN

#### 1. Data konsentrasi sel awal X= 0.4 g/l

Tanggal	Jam ke-	pH	Faktor Pengenceran OD600	OD600	OD rata2	lo	lb	lb rata2	N sel (sel/m3)	X(gr/dm3)	μX	[HCO3-]
									600	600	600	
19-Jan-10	0	6.3	1	0.124	0.123	3000	1070	1056.667	548530	0.391	0.000	0.000217
				0.123			1030					
				0.123			1070					
	2	6.3	1	0.123	0.123	3000	1050	984.000	546957	0.390	0.001	0.000217
				0.123			954					
				0.123			948					
	4	6.5	1	0.13	0.131	3000	954	952.000	586282	0.418	0.017	0.000307
				0.132			954					
				0.132			948					
	8	6.3	1	0.149	0.150	3000	920	926.000	672797	0.480	0.026	0.000227
				0.149			930					
				0.151			928					
20-Jan-10	12	6.4	1	0.159	0.160	3000	867	864.667	719987	0.514	0.023	0.000273
				0.16			857					
				0.16			870					
	16	6.5	1	0.171	0.172	3000	900	886.667	778188	0.555	0.022	0.000344
				0.172			820					
				0.173			940					
	20	6.4	1	0.204	0.206	3000	820	773.333	937061	0.668	0.027	0.000286
				0.206			720					
				0.207			780					
	24	6.5	1	0.213	0.211	3000	670	672.333	963802	0.688	0.023	0.000344
				0.21			720					
				0.211			627					
	28	6.5	1	0.231	0.232	3000	600	590.000	1059755	0.756	0.024	0.000344
				0.233			580					
				0.231			590					

	32	6.5	1	0.253	0.252	3000	570	566.667	1154135	0.823	0.023	0.000352
				0.25			560					
				0.252			570					
21-Jan-10	36	6.5	1	0.262	0.263	3000	520	523.333	1207617	0.861	0.022	0.000329
				0.265			530					
				0.262			520					
	40	6.5	1	0.27	0.270	3000	470	456.667	1242223	0.886	0.020	0.000352
				0.271			450					
				0.27			450					
	44	6.4	1	0.279	0.280	3000	420	408.667	1286267	0.918	0.019	0.000261
				0.28			380					
				0.28			426					
	48	6.5	1	0.287	0.287	3000	330	339.000	1319300	0.941	0.017	0.000329
				0.287			350					
				0.286			337					
	52	6.5	2	0.17	0.170	3000	290	293.333	1574126	1.123	0.019	0.000344
				0.17			298					
				0.171			292					
	56	6.5	2	0.179	0.178	3000	240	250.000	1643338	1.172	0.018	0.000352
				0.176			248					
				0.178			262					
22-Jan-10	60	6.5	2	0.183	0.183	3000	234	235.667	1696820	1.210	0.018	0.000321
				0.184			233					
				0.183			240					
	64	6.5	2	0.189	0.189	3000	220	225.000	1753448	1.251	0.017	0.00036
				0.189			228					
				0.19			227					
	68	6.5	2	0.195	0.194	3000	200	196.667	1794346	1.280	0.016	0.00036
				0.193			198					
				0.193			192					
	72	6.5	2	0.202	0.202	3000	178	184.000	1876142	1.338	0.016	0.00036
				0.202			182					
				0.203			192					
	76	6.5	2	0.217	0.215	3000	162	163.667	1992544	1.421	0.017	0.000377
				0.214			167					

				0.213			162					
	80	6.5	2	0.216	0.217	3000	160	152.667	2011420	1.435	0.016	0.000377
				0.216			150					
				0.218			148					
23-Jan-10	86	6.6	2	0.223	0.224	3000	137	135.333	2077486	1.482	0.015	0.000404
				0.224			137					
				0.224			132					
	92	6.5	2	0.238	0.237	3000	110	108	2206472	1.574	0.015	0.000377
				0.237			109					
				0.237			105					
	98	6.6	2	0.25	0.251	3000	96	93.33333	2335458	1.666	0.015	0.000414
				0.25			94					
				0.253			90					
	104	6.7	2	0.264	0.265	3000	80	82	2464444	1.758	0.014	0.000585
				0.264			84					
				0.266			82					
24-Jan-10	110	6.6	2	0.277	0.277	3000	72	71	2583992	1.843	0.014	0.000443
				0.278			70					
				0.277			71					
	116	6.5	2	0.284	0.285	3000	68	67	2653204	1.893	0.014	0.000377
				0.284			69					
				0.286			64					
	122	6.6	3	0.19	0.190	3000	60	60.33333	2651631	1.891	0.013	0.000414
				0.189			59					
				0.19			62					
	128	6.6	3	0.196	0.197	3000	56	55.66667	2760168	1.969	0.013	0.000404
				0.198			54					
				0.198			57					
25-Jan-10	134	6.6	3	0.211	0.212	3000	48	46	2967804	2.117	0.013	0.000404
				0.212			46					
				0.213			44					
	140	6.6	3	0.222	0.224	3000	42	42.66667	3132969	2.235	0.012	0.000433
				0.223			42					
				0.226			44					

	146	6.7	3	0.233	0.233	3000	38	37.33333	3260382	2.326	0.012	0.000521
				0.232			37					
				0.233			37					
	152	6.7	3	0.253	0.253	3000	32	32	3552960	2.534	0.012	0.000486
				0.252			33					
				0.255			31					
26-Jan-10	158	6.7	3	0.259	0.259	3000	28	27.66667	3637902	2.595	0.012	0.000509
				0.26			28					
				0.259			27					
	164	6.6	3	0.253	0.253	3000	24	24.66667	3548241	2.531	0.011	0.000475
				0.253			25					
				0.253			25					
	170	6.6	3	0.258	0.259	3000	21	20.66667	3628464	2.588	0.011	0.000475
				0.259			20					
				0.259			21					
	176	6.6	3	0.264	0.265	3000	18	18.33333	3713406	2.649	0.011	0.000433
				0.264			19					
				0.266			18					
27-Jan-10	182	6.5	3	0.267	0.267	3000	16	16.33333	3741720	2.669	0.011	0.000344
				0.267			17					
				0.266			16					
	188	6.5	3	0.267	0.266	3000	16	15.66667	3737001	2.666	0.010	0.00036
				0.266			15					
				0.266			16					

## 2. Data konsentrasi sel awal X= 0.1 g/l kontrol pH

Tanggal	Jam ke-	pH	Faktor Pengenceran	OD600	OD rata2	lo	lb	lb rata2	N sel (sel/dm3)	X (gr/dm3)	$\mu$ X	[HCO <sub>3</sub> -]
22 des 2009	0	6.22	1	0.038	0.038	1600	850	825.333	144269	0.103	0.000	0.000181
				0.037			794					
				0.038			832					

23 des 2009	2	6.22	1	0.039	0.039	1600	840	834.000	150561	0.107	0.021	0.000181
				0.039			827					
				0.039			835					
	4	6.2	1	0.04	0.040	1600	804	805.000	155280	0.111	0.018	0.000173
				0.04			784					
				0.04			827					
	6	6.22	1	0.042	0.042	1600	824	808.000	164718	0.117	0.022	0.000181
				0.042			780					
				0.042			820					
	10	6.23	1	0.045	0.045	1600	807	804.000	180448	0.129	0.022	0.000185
				0.045			784					
				0.046			821					
	14	6.3	1	0.051	0.051	1600	773	769.667	205616	0.147	0.025	0.000217
				0.05			762					
				0.051			774					
	18	6.31	1	0.058	0.058	1600	778	752.000	241795	0.172	0.029	0.000222
				0.058			724					
				0.059			754					
	22	6.27	1	0.062	0.063	1600	710	713.333	263817	0.188	0.027	0.000203
				0.062			715					
				0.065			715					
24 des 2009	26	6.24	1	0.068	0.069	1600	650	649.000	290558	0.207	0.027	0.000189
				0.069			645					
				0.069			652					
	30	6.24	1	0.072	0.073	1600	613	611.000	312580	0.223	0.026	0.000189
				0.075			625					
				0.073			595					
	34	6.31	1	0.079	0.079	1600	512	565.333	340894	0.243	0.025	0.000222
				0.08			588					
				0.079			596					
	38	6.33	1	0.084	0.085	1600	570	528.000	366062	0.261	0.025	0.000233
				0.085			512					
				0.085			502					
	42	6.33	1	0.089	0.088	1600	480	502.333	381792	0.272	0.023	0.000233
				0.087			507					
				0.088			520					

	46	6.27	1	0.095	0.095	1600	450	461.000	416398	0.297	0.023	0.000203
				0.095			465					
				0.096			468					
25 des 2009	50	6.22	1	0.103	0.104	1600	430	430.667	455723	0.325	0.023	0.000181
				0.103			435					
				0.105			427					
	54	6.28	1	0.11	0.111	1600	375	390.667	488756	0.349	0.023	0.000207
				0.11			401					
				0.112			396					
	58	6.28	1	0.118	0.119	1600	408	389.667	526508	0.376	0.022	0.000207
				0.119			394					
				0.119			367					
	62	6.35	1	0.125	0.126	1600	362	357.000	561114	0.400	0.022	0.000244
				0.126			357					
				0.127			352					
	66	6.42	1	0.135	0.135	1600	340	347.667	603585	0.431	0.022	0.000286
				0.135			352					
				0.135			351					
	70	6.4	1	0.139	0.139	1600	320	323.000	624034	0.445	0.021	0.000273
				0.14			325					
				0.139			324					
26 des 2009	74	6.4	1	0.145	0.146	1600	318	317.000	655494	0.468	0.020	0.000273
				0.146			318					
				0.147			315					
	78	6.42	1	0.152	0.153	1600	305	304.333	686954	0.490	0.020	0.000286
				0.152			304					
				0.154			304					
	82	6.41	1	0.16	0.162	1600	289	287.667	729425	0.520	0.020	0.00028
				0.162			289					
				0.163			285					
	86	6.42	1	0.169	0.170	1600	278	282.667	767177	0.547	0.019	0.000286
				0.169			285					
				0.171			285					
	90	6.43	1	0.178	0.178	1600	265	265.333	808075	0.576	0.019	0.000293
				0.178			268					

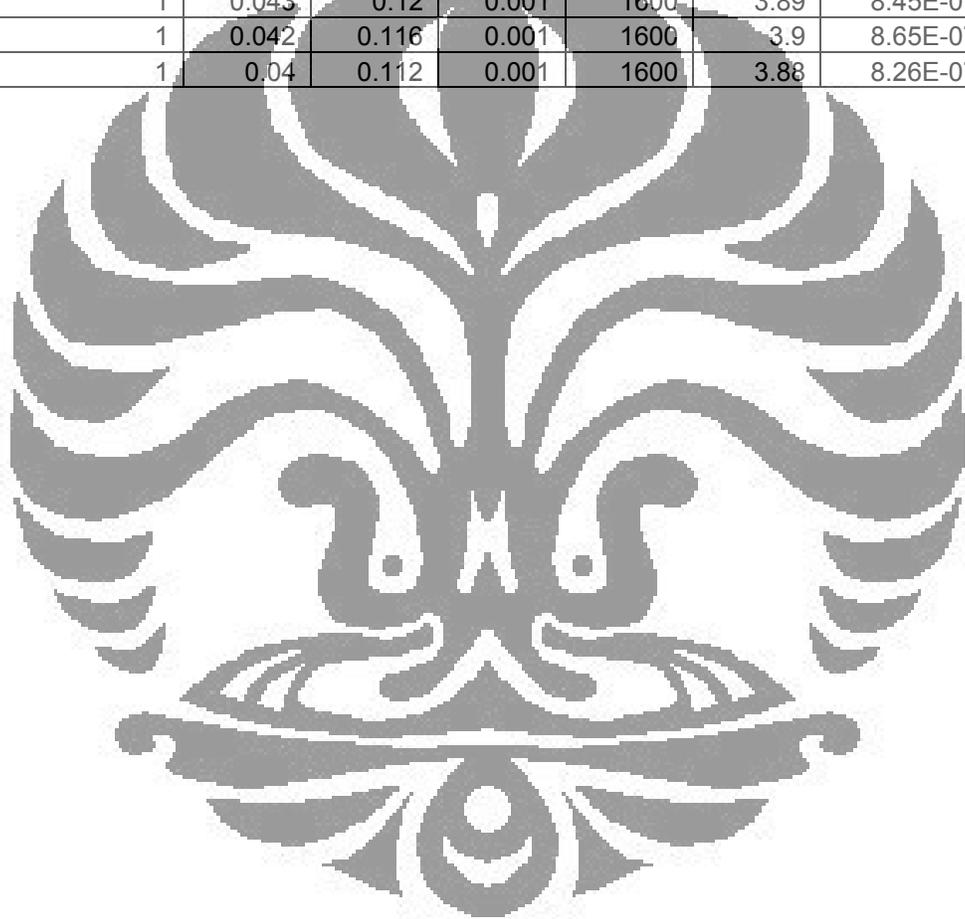
				0.179			263					
	94	6.46	1	0.186	0.187	1600	242	245.667	848973	0.606	0.019	0.000314
				0.186			246					
				0.189			249					
27 des 2009	98	6.46	1	0.194	0.195	1600	220	220.333	886725	0.633	0.019	0.000314
				0.196			220					
				0.195			221					
	102	6.45	1	0.208	0.208	1600	206	205.667	948072	0.676	0.018	0.000307
				0.208			205					
				0.208			206					
	106	6.48	1	0.22	0.223	1600	185	185.333	1020430	0.728	0.018	0.000329
				0.225			189					
				0.225			182					
	110	6.49	1	0.235	0.233	1600	176	174.667	1064474	0.759	0.018	0.000336
				0.232			178					
				0.231			170					
	114	6.49	1	0.24	0.241	1600	162	163.000	1103799	0.787	0.018	0.000336
				0.241			162					
				0.242			165					
	118	6.46	1	0.248	0.248	1600	158	155.333	1138405	0.812	0.018	0.000314
				0.248			156					
				0.249			152					
28 des 2009	122	6.46	1	0.256	0.258	1600	147	147.000	1182449	0.843	0.017	0.000314
				0.259			149					
				0.258			145					
	126	6.5	1	0.264	0.264	1600	142	144.333	1213909	0.866	0.017	0.000344
				0.264			142					
				0.265			149					
	130	6.54	1	0.278	0.276	1600	138	136.000	1270537	0.906	0.017	0.000377
				0.275			135					
				0.276			135					
	134	6.52	1	0.283	0.283	1600	128	126.000	1303570	0.930	0.016	0.00036
				0.284			125					
				0.283			125					
	139	6.5	1	0.292	0.294	1600	120	121.667	1353906	0.966	0.016	0.000344

				0.295			125					
				0.295			120					
	145	6.62	1	0.298	0.298	1600	119	117.667	1372782	0.979	0.016	0.000454
				0.298			117					
				0.298			117					
29 des 2009	151	6.54	2	0.158	0.156	1600	95	99.333	1441994	1.029	0.015	0.000377
				0.156			100					
				0.155			103					
	157	6.6	2	0.161	0.161	1600	100	98.333	1489184	1.062	0.015	0.000433
				0.162			100					
				0.161			95					
	163	6.6	2	0.168	0.168	1600	90	90.000	1555250	1.109	0.015	0.000433
				0.169			88					
				0.168			92					
	169	6.52	2	0.174	0.174	1600	86	85.667	1611878	1.150	0.014	0.00036
				0.174			87					
				0.175			84					
30 des 2009	175	6.52	2	0.181	0.182	1600	78	78.667	1684236	1.201	0.014	0.00036
				0.183			77					
				0.182			81					
	181	6.35	2	0.183	0.182	1600	70	70.667	1687382	1.204	0.014	0.000244
				0.182			72					
				0.182			70					
	187	6.31	2	0.187	0.188	1600	68	67.667	1737718	1.240	0.013	0.000222
				0.187			67					
				0.189			68					

### 3. Data konsentrasi awal X= 0.1 g/l tanpa pengontrolan pH

jam-ke	Faktor Pengenceran	OD600 akhir	X	$\mu_x$	lo	pH	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]
0	1	0.039	0.107	0.000	1600	5.47	3.21E-05
7	1	0.04	0.111	0.004	1600	5.38	2.61E-05
11	1	0.041	0.113	0.006	1600	5.69	5.33E-05
15	1	0.043	0.122	0.011	1600	5.91	8.85E-05
19	1	0.045	0.125	0.010	1600	5.43	2.93E-05
24	1	0.046	0.123	0.007	1600	5.45	3.07E-05

28	1	0.046	0.128	0.007	1600	5.33	2.33E-05
32	1	0.045	0.128	0.006	1600	5.64	4.75E-05
36	1	0.045	0.128	0.005	1600	5.8	6.87E-05
40	1	0.045	0.129	0.005	1600	5.42	2.86E-05
44	1	0.043	0.122	0.003	1600	5.4	2.73E-05
48	1	0.044	0.125	0.004	1600	5.38	2.61E-05
52	1	0.044	0.122	0.002	1600	5.36	2.49E-05
56	1	0.044	0.124	0.003	1600	5.3	2.17E-05
60	1	0.043	0.121	0.002	1600	5.1	1.37E-05
64	1	0.042	0.119	0.002	1600	4.35	2.44E-06
68	1	0.043	0.122	0.002	1600	4.1	1.37E-06
72	1	0.042	0.119	0.001	1600	4.01	1.11E-06
76	1	0.043	0.12	0.001	1600	3.89	8.45E-07
80	1	0.042	0.116	0.001	1600	3.9	8.65E-07
84	1	0.04	0.112	0.001	1600	3.88	8.26E-07



## LAMPIRAN B

### KURVA KALIBRASI DAN

#### TABEL KONVERSI OD<sub>600</sub>, N<sub>sel</sub>, X

##### B.1 Kurva Kalibrasi OD<sub>600</sub> vs N<sub>sel</sub> dan OD<sub>600</sub> vs X<sub>f</sub>

Penentuan jumlah sel ( $N$ ) pada awalnya dilakukan dengan menggunakan mikroskop elektrik, namun dikarenakan jumlah sel pada penelitian ini sangat tinggi maka digunakan metode penentuan jumlah sel menggunakan spektrofotometer pada  $\lambda=600\text{nm}$ . Untuk itu diperlukan kurva kalibrasi untuk konversi dari OD<sub>600</sub> ke N<sub>sel</sub> dan OD<sub>600</sub> ke berat kering ( $X$ ).

1. Kurva Kalibrasi OD<sub>600</sub> vs N<sub>sel</sub>

Kurva ini dibuat dengan cara menghitung jumlah sel ( $N$ ) beberapa sampel mikroalga menggunakan mikroskop lalu mengukur OD-nya pada spektrofotometer (sesuai prosedur penghitungan yang telah dijelaskan sebelumnya).

2. Kurva Kalibrasi OD<sub>600</sub> vs X

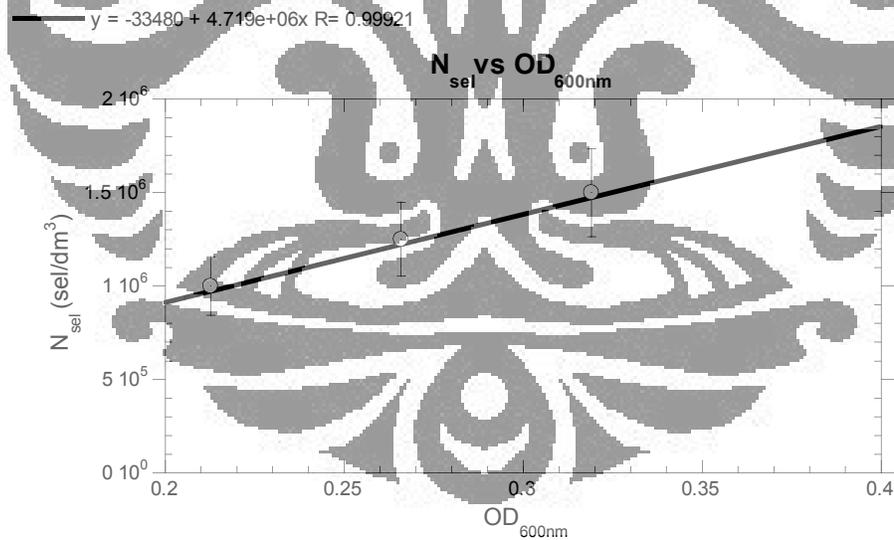
Kurva ini dibuat dengan cara mengeringkan sampel yang telah dihitung OD-nya. Proses pengeringan ini dilakukan dengan men-*sentrifuge* sampel, kemudian memisahkan padatan/sel *Chlorella* dari mediumnya, lalu dicuci bersih dengan *aquadest* dan di-*sentrifuge* lagi. Lalu hasil *sentrifuge* terakhir di-oven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

Catatan: Data diambil sebanyak 3 kali untuk mengetahui persen kesalahan yang ditunjukkan oleh *error bars* pada kurva kalibrasi.

Data :

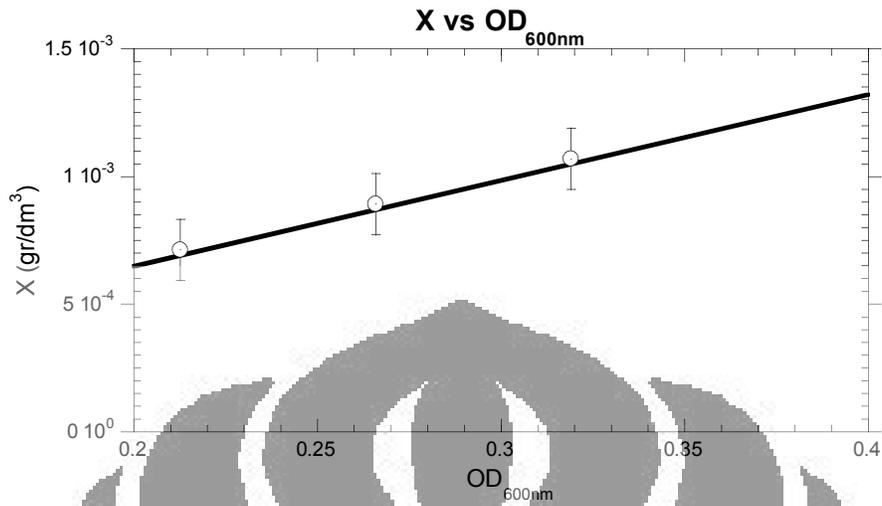
$N_{sel}$	$OD_{600}$	Berat Kering (X)
0.000	0.037	0.000000
500,000	0.106	0.000357
750,000	0.186	0.000535
1,000,000	0.248	0.000713
1,250,000	0.299	0.000892
1,500,000	0.392	0.001070
2,000,000	0.469	0.001427
5,000,000	1.068	0.003567

Lalu hasilnya diplot sehingga didapatkan persamaan garis lurus dan grafik seperti berikut (*error bars* = 1.8%):



**Gambar A.1.** Kurva Kalibrasi Nsel vs OD600

$$y = -2.3882e-05 + 0.0033662x \quad R = 0.99921$$



**Gambar A.2.** Kurva Kalibrasi X vs OD600

## B.2 Tabel Konversi OD600, N<sub>sel</sub>, X

Dari persamaan garis pada kurva kalibrasi maka dapat dibuat tabel konversi OD<sub>600</sub>, N<sub>sel</sub>, dan X sebagai berikut:

OD <sub>600</sub>	N <sub>sel</sub>	X	OD <sub>600</sub>	N <sub>sel</sub>	X
0.200	909,403.980	0.000649358	0.250	1,145,732.382	0.000817668
0.201	914,130.548	0.000652724	0.251	1,150,458.950	0.000821034
0.202	918,857.116	0.000656090	0.252	1,155,185.518	0.000824400
0.203	923,583.684	0.000659457	0.253	1,159,912.086	0.000827767
0.204	928,310.252	0.000662823	0.254	1,164,638.654	0.000831133
0.205	933,036.820	0.000666189	0.255	1,169,365.222	0.000834499
0.206	937,763.388	0.000669555	0.256	1,174,091.790	0.000837865
0.207	942,489.956	0.000672921	0.257	1,178,818.358	0.000841231
0.208	947,216.524	0.000676288	0.258	1,183,544.926	0.000844598

0.209	951,943.092	0.000679654	0.259	1,188,271.494	0.000847964
0.210	956,669.660	0.000683020	0.260	1,192,998.062	0.000851330
0.211	961,396.228	0.000686386	0.261	1,197,724.630	0.000854696
0.212	966,122.796	0.000689752	0.262	1,202,451.198	0.000858062
0.213	970,849.364	0.000693119	0.263	1,207,177.766	0.000861429
0.214	975,575.932	0.000696485	0.264	1,211,904.334	0.000864795
0.215	980,302.500	0.000699851	0.265	1,216,630.902	0.000868161
0.216	985,029.068	0.000703217	0.266	1,221,357.470	0.000871527
0.217	989,755.636	0.000706583	0.267	1,226,084.038	0.000874893
0.218	994,482.204	0.000709950	0.268	1,230,810.606	0.000878260
0.219	999,208.773	0.000713316	0.269	1,235,537.174	0.000881626
0.220	1,003,935.341	0.000716682	0.270	1,240,263.742	0.000884992
0.221	1,008,661.909	0.000720048	0.271	1,244,990.311	0.000888358
0.222	1,013,388.477	0.000723414	0.272	1,249,716.879	0.000891724
0.223	1,018,115.045	0.000726781	0.273	1,254,443.447	0.000895091
0.224	1,022,841.613	0.000730147	0.274	1,259,170.015	0.000898457
0.225	1,027,568.181	0.000733513	0.275	1,263,896.583	0.000901823
0.226	1,032,294.749	0.000736879	0.276	1,268,623.151	0.000905189
0.227	1,037,021.317	0.000740245	0.277	1,273,349.719	0.000908555
0.228	1,041,747.885	0.000743612	0.278	1,278,076.287	0.000911922
0.229	1,046,474.453	0.000746978	0.279	1,282,802.855	0.000915288
0.230	1,051,201.021	0.000750344	0.280	1,287,529.423	0.000918654
0.231	1,055,927.589	0.000753710	0.281	1,292,255.991	0.000922020
0.232	1,060,654.157	0.000757076	0.282	1,296,982.559	0.000925386
0.233	1,065,380.725	0.000760443	0.283	1,301,709.127	0.000928753
0.234	1,070,107.293	0.000763809	0.284	1,306,435.695	0.000932119
0.235	1,074,833.861	0.000767175	0.285	1,311,162.263	0.000935485

0.236	1,079,560.429	0.000770541	0.286	1,315,888.831	0.000938851
0.237	1,084,286.997	0.000773907	0.287	1,320,615.399	0.000942217
0.238	1,089,013.565	0.000777274	0.288	1,325,341.967	0.000945584
0.239	1,093,740.133	0.000780640	0.289	1,330,068.535	0.000948950
0.240	1,098,466.701	0.000784006	0.290	1,334,795.103	0.000952316
0.241	1,103,193.269	0.000787372	0.291	1,339,521.671	0.000955682
0.242	1,107,919.837	0.000790738	0.292	1,344,248.239	0.000959048
0.243	1,112,646.405	0.000794105	0.293	1,348,974.807	0.000962415
0.244	1,117,372.973	0.000797471	0.294	1,353,701.375	0.000965781
0.245	1,122,099.542	0.000800837	0.295	1,358,427.943	0.000969147
0.246	1,126,826.110	0.000804203	0.296	1,363,154.512	0.000972513
0.247	1,131,552.678	0.000807569	0.297	1,367,881.080	0.000975879
0.248	1,136,279.246	0.000810936	0.298	1,372,607.648	0.000979246
0.249	1,141,005.814	0.000814302	0.299	1,377,334.216	0.000982612

OD <sub>600</sub>	N <sub>sel</sub>	X	OD <sub>600</sub>	N <sub>sel</sub>	X
0.300	1,382,060.784	0.000985978	0.350	1,618,389.186	0.001154288
0.301	1,386,787.352	0.000989344	0.351	1,623,115.754	0.001157654
0.302	1,391,513.920	0.000992710	0.352	1,627,842.322	0.001161020
0.303	1,396,240.488	0.000996077	0.353	1,632,568.890	0.001164387
0.304	1,400,967.056	0.000999443	0.354	1,637,295.458	0.001167753
0.305	1,405,693.624	0.001002809	0.355	1,642,022.026	0.001171119
0.306	1,410,420.192	0.001006175	0.356	1,646,748.594	0.001174485
0.307	1,415,146.760	0.001009541	0.357	1,651,475.162	0.001177851
0.308	1,419,873.328	0.001012908	0.358	1,656,201.730	0.001181218
0.309	1,424,599.896	0.001016274	0.359	1,660,928.298	0.001184584
0.310	1,429,326.464	0.001019640	0.360	1,665,654.866	0.001187950

0.311	1,434,053.032	0.001023006	0.361	1,670,381.434	0.001191316
0.312	1,438,779.600	0.001026372	0.362	1,675,108.002	0.001194682
0.313	1,443,506.168	0.001029739	0.363	1,679,834.570	0.001198049
0.314	1,448,232.736	0.001033105	0.364	1,684,561.138	0.001201415
0.315	1,452,959.304	0.001036471	0.365	1,689,287.706	0.001204781
0.316	1,457,685.872	0.001039837	0.366	1,694,014.274	0.001208147
0.317	1,462,412.440	0.001043203	0.367	1,698,740.842	0.001211513
0.318	1,467,139.008	0.001046570	0.368	1,703,467.410	0.001214880
0.319	1,471,865.576	0.001049936	0.369	1,708,193.978	0.001218246
0.320	1,476,592.144	0.001053302	0.370	1,712,920.546	0.001221612
0.321	1,481,318.712	0.001056668	0.371	1,717,647.114	0.001224978
0.322	1,486,045.281	0.001060034	0.372	1,722,373.682	0.001228344
0.323	1,490,771.849	0.001063401	0.373	1,727,100.251	0.001231711
0.324	1,495,498.417	0.001066767	0.374	1,731,826.819	0.001235077
0.325	1,500,224.985	0.001070133	0.375	1,736,553.387	0.001238443
0.326	1,504,951.553	0.001073499	0.376	1,741,279.955	0.001241809
0.327	1,509,678.121	0.001076865	0.377	1,746,006.523	0.001245175
0.328	1,514,404.689	0.001080232	0.378	1,750,733.091	0.001248542
0.329	1,519,131.257	0.001083598	0.379	1,755,459.659	0.001251908
0.330	1,523,857.825	0.001086964	0.380	1,760,186.227	0.001255274
0.331	1,528,584.393	0.001090330	0.381	1,764,912.795	0.001258640
0.332	1,533,310.961	0.001093696	0.382	1,769,639.363	0.001262006
0.333	1,538,037.529	0.001097063	0.383	1,774,365.931	0.001265373
0.334	1,542,764.097	0.001100429	0.384	1,779,092.499	0.001268739
0.335	1,547,490.665	0.001103795	0.385	1,783,819.067	0.001272105
0.336	1,552,217.233	0.001107161	0.386	1,788,545.635	0.001275471
0.337	1,556,943.801	0.001110527	0.387	1,793,272.203	0.001278837

0.338	1,561,670.369	0.001113894	0.388	1,797,998.771	0.001282204
0.339	1,566,396.937	0.001117260	0.389	1,802,725.339	0.001285570
0.340	1,571,123.505	0.001120626	0.390	1,807,451.907	0.001288936
0.341	1,575,850.073	0.001123992	0.391	1,812,178.475	0.001292302
0.342	1,580,576.641	0.001127358	0.392	1,816,905.043	0.001295668
0.343	1,585,303.209	0.001130725	0.393	1,821,631.611	0.001299035
0.344	1,590,029.777	0.001134091	0.394	1,826,358.179	0.001302401
0.345	1,594,756.345	0.001137457	0.395	1,831,084.747	0.001305767
0.346	1,599,482.913	0.001140823	0.396	1,835,811.315	0.001309133
0.347	1,604,209.481	0.001144189	0.397	1,840,537.883	0.001312499
0.348	1,608,936.050	0.001147556	0.398	1,845,264.451	0.001315866
0.349	1,613,662.618	0.001150922	0.399	1,849,991.020	0.001319232
			0.400	1,854,717.588	0.001322598

**Catatan :** Apabila hasil pengukuran berada diluar *range* 0.2 – 0.4 maka perlu dilakukan pengenceran menggunakan medium *Beneck*. Kemudian  $N_{sel}$  atau X yang didapat harus dikalikan dengan jumlah pengenceran yang dilakukan.

## LAMPIRAN C

### PENGOLAHAN DATA pH

#### C.1. Contoh Pengolahan Data.

Nilai dari pH digunakan untuk menentukan  $[HCO_3^-]$  dengan menggunakan persamaan :

$$[HCO_3^-] = \left( \frac{K_{CO_2,0}}{H_{CO_2,0}} \right) \left( \frac{y_{CO_2} \cdot P_T}{10^{-pH}} \right) \left( \frac{\text{EXP} \left[ A_k \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_k \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) + C_k \left( \frac{T}{T_0} - 1 \right) \right]}{\text{EXP} \left[ A_h \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_h \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) + C_h \left( \frac{T}{T_0} - 1 \right) \right]} \right)$$

dengan nilai :  $P_T$  (ambient pressure) = 1 atm = 101.25 kPa

$$y_{CO_2} = 10 \% = 0.10$$

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

$$H_{CO_2,0} = 2900 \text{ kPa} \cdot \text{kg} / \text{mol}$$

$$T$$
 (ambient temperature) = 29 °C = 302 K

$$T_0 = 298.15 \text{ K}$$

$$A_k = 40.557 \quad B_k = -36.782 \quad C_k = 0$$

$$A_h = 22.771 \quad B_h = -11.452 \quad C_h = -3.117$$

$$\text{Satuan } [HCO_3^-] = \text{M}$$

Dengan memasukkan nilai dari konstanta-konstanta tersebut maka persamaan di atas dapat dituliskan ulang menjadi :

$$[HCO_3^-] = \frac{1,43972 \cdot 10^{-6}}{10^{-pH}}$$

## LAMPIRAN D

### CONTOH DAN HASIL PERHITUNGAN $E_x$ DAN $\eta_{bp}$

Data  $I_0$  dan  $I_b$  yang diambil pada pelaksanaan penelitian digunakan untuk menghitung beberapa parameter efisiensi energi cahaya, antara lain:

a. Total energi cahaya yang tersedia selama masa kultivasi:

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

b. Total energi cahaya yang terserap selama masa kultivasi:

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

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

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

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

$t$  = waktu (jam)

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

c.  $E_x$  (energi cahaya yang dimanfaatkan selama kultivasi) dan  $E$  (energi cahaya yang tersedia selama kultivasi):

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

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

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

sehingga dapat dihitung besar efisiensi konversi energi cahaya untuk pembentukan biomassa ( $\eta_{bp}$ ) :

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

**1. sel awal X= 0.4 g/l**

$$A = 0.0365$$

$$s = 0.37 \text{ m}$$

$$\alpha_{kaca} = 0.714$$

$$\Delta X = 0.002 \text{ gr/m}^3$$

Jam ke-	Ii (W/m <sup>2</sup> )	It	$\int I_t dt$	Ex	E
0	6.321	4.364	0	0	0
2	6.321	4.064	8.129	10834.580	6015.647
4	6.321	3.932	15.728	20964.472	12735.983
8	6.321	3.825	30.598	40783.825	26617.084
12	6.321	3.571	42.857	57123.781	43977.582
16	6.321	3.662	58.596	78102.933	56698.884
20	6.321	3.194	63.883	85149.814	83352.457
24	6.321	2.777	66.648	88834.746	113367.979
28	6.321	2.437	68.234	90948.810	144954.369
32	6.321	2.341	74.897	99830.817	169772.817
36	6.321	2.162	77.816	103721.283	199582.806
40	6.321	1.886	75.448	100564.867	236439.675
44	6.321	1.688	74.269	98994.000	271710.997
48	6.321	1.400	72.810	97048.767	341057.138
52	6.321	1.212	67.848	90434.975	381371.384
56	6.321	1.033	61.955	82580.639	422926.175
60	6.321	0.973	62.297	83035.750	456171.518
64	6.321	0.929	63.195	84232.252	488675.470

68	6.321	0.812	58.486	77956.123	528652.053
72	6.321	0.760	57.759	76987.177	563321.454
76	6.321	0.676	51.376	68479.536	571829.094
80	6.321	0.631	50.446	67238.991	606770.093
86	6.321	0.559	48.072	64075.235	660484.531
92	6.321	0.446	41.039	54701.415	720409.032
98	6.321	0.386	37.779	50355.839	775305.290
104	6.321	0.339	35.224	46949.846	829261.964
110	6.321	0.293	32.258	42996.986	883765.506
116	6.321	0.277	32.101	42787.782	934525.391
122	6.321	0.249	30.402	40523.237	987340.617
128	6.321	0.230	29.430	39227.639	1039186.897
134	6.321	0.190	25.460	33935.137	1095030.080
140	6.321	0.176	24.672	32885.446	1146630.453
146	6.321	0.154	22.513	30007.969	1200058.611
152	6.321	0.132	20.090	26778.149	1253839.113
158	6.321	0.114	18.055	24065.833	1307102.109
164	6.321	0.102	16.709	22271.081	1359447.543
170	6.321	0.085	14.511	19342.221	1412927.084
176	6.321	0.076	13.327	17764.013	1465055.973
182	6.321	0.067	12.278	16365.648	1517005.020
188	6.321	0.065	12.165	16215.167	1567706.182

Ex (J/g) 2017.28719  
ηbp (%) 7.83868

**2. Sel X= 0.1 g/l dengan pengontrolan pH**

A = 0.033

s = 0.45 m

α<sub>kaca</sub> = 0.684

ΔX = 0.001 gr/m<sup>3</sup>

Jam ke-	li (W/m2)	It	∫ It dt	Ex	E
0	3.231	3.557	0.000	0	0
2	3.231	3.594	7.188	12883.67	-1302.2
4	3.231	3.469	13.877	24871.35	-1708.42
6	3.231	3.482	20.893	37446.06	-2701.66
10	3.231	3.465	34.649	62101.14	-4193.8
14	3.231	3.317	46.437	83228.91	-2158.64
18	3.231	3.241	58.335	104552.4	-319.154
22	3.231	3.074	67.632	121215.7	6180.49

26	3.231	2.797	72.720	130335.1	20223.93
30	3.231	2.633	78.995	141581.3	32140.69
34	3.231	2.436	82.836	148466	48418.95
38	3.231	2.275	86.468	154974.8	65073.11
42	3.231	2.165	90.924	162961.4	80249.4
46	3.231	1.987	91.389	163795.6	102578.1
50	3.231	1.856	92.800	166323.9	123212.7
54	3.231	1.684	90.915	162946	149753.7
58	3.231	1.679	97.400	174568	161294.5
62	3.231	1.539	95.389	170963.5	188062
66	3.231	1.498	98.888	177235.4	204953
70	3.231	1.392	97.440	174640.1	230711.2
74	3.231	1.366	101.095	181190.1	247324.2
78	3.231	1.312	102.301	183352.8	268324.4
82	3.231	1.240	101.658	182199.4	292640.8
86	3.231	1.218	104.764	187765.8	310237.3
90	3.231	1.143	102.913	184449.6	336716.4
94	3.231	1.059	99.520	178368.3	365960.7
98	3.231	0.950	93.056	166782.2	400709.7
102	3.231	0.886	90.407	162034.5	428620.3
106	3.231	0.799	84.664	151741	462076.8
110	3.231	0.753	82.802	148404.2	488576.5
114	3.231	0.702	80.081	143527.8	516615.9
118	3.231	0.669	78.992	141576.2	541730.4
122	3.231	0.634	77.288	138522.6	567946.9
126	3.231	0.622	78.374	140469.1	589163.4
130	3.231	0.586	76.194	136560.7	616234.7
134	3.231	0.543	72.763	130412.4	645545.9
139	3.231	0.524	72.883	130626.1	674285.9
145	3.231	0.507	73.529	131784.7	707871.7
151	3.231	0.428	64.641	115855.2	758545.6
157	3.231	0.424	66.533	119246	789899.2
163	3.231	0.388	63.222	113311.4	830578.2
169	3.231	0.369	62.393	111825.8	866808.2
175	3.231	0.339	59.329	106334	907044.4
181	3.231	0.305	55.123	98795.39	949327.4
187	3.231	0.292	54.532	97737.2	985130
				Ex (J/g)	5737.432
				$\eta_{bp}$ (%)	35.94781

## LAMPIRAN E

### HASIL PERHITUNGAN $\Delta y$ CO<sub>2</sub>, CTR, qCO<sub>2</sub>, CUR

#### 1. Sel awal X= 0.4 g/l

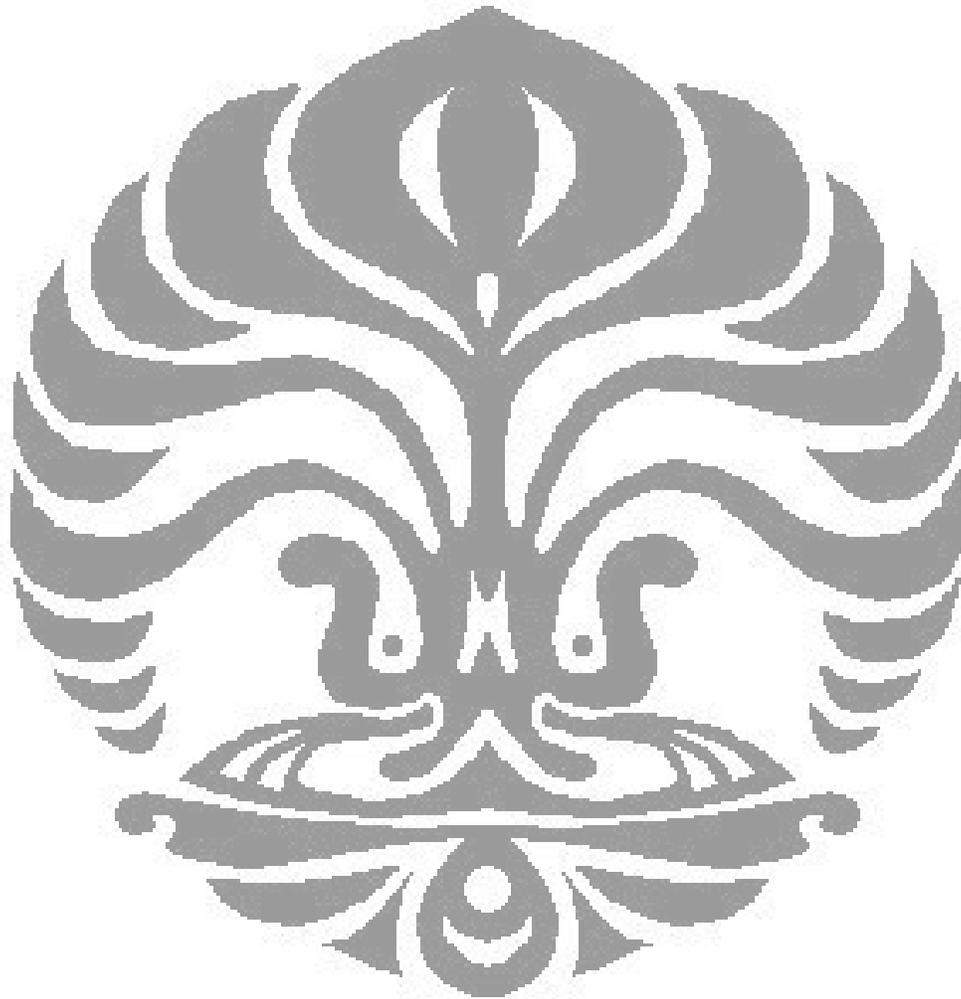
Jam ke-	y CO <sub>2</sub> in	y CO <sub>2</sub> out	$\Delta y$ CO <sub>2</sub>	CTR (g/dm <sup>3</sup> .h)	q CO <sub>2</sub> (h-1)	dx/dt	CUR
0	5.1	4.6	0.5	26.012	36.639	0.007	0.013
2	4.7	4.1	0.6	31.214	41.725	0.008	0.015
4	5.1	4.2	0.9	46.822	62.400	0.009	0.016
8	5.1	4.8	0.3	15.607	18.071	0.011	0.020
12	5.2	4.8	0.4	20.810	21.251	0.012	0.022
16	5.1	4.2	0.9	46.822	33.632	0.013	0.024
20	5.1	4.2	0.9	46.822	33.632	0.014	0.025
24	5.3	4.7	0.6	31.214	22.421	0.014	0.026
28	5.3	4.6	0.7	36.417	15.636	0.014	0.026
32	4.95	3.97	0.98	50.983	34.403	0.014	0.026
36	5.4	4.6	0.8	41.619	26.108	0.014	0.025
40	5.4	4.36	1.04	54.105	34.036	0.014	0.024
44	5.1	4.3	0.8	41.619	24.327	0.013	0.023
48	4.8	4.4	0.4	20.810	12.374	0.012	0.022
52	5.3	3.6	1.7	88.441	52.105	0.012	0.021
56	5.4	4.3	1.1	57.226	80.606	0.011	0.019
60	5.2	4.3	0.9	46.822	62.587	0.010	0.017
64	5.2	4.2	1	52.024	69.333	0.009	0.016
68	4.7	3.3	1.4	72.833	37.767	0.008	0.014
72	4.8	3.2	1.6	83.238	43.263	0.006	0.012
76	5.5	4.7	0.8	41.619	21.657	0.005	0.009
80	5.7	5.1	0.6	31.214	16.691	0.004	0.007
86	6	5.3	0.7	36.417	19.038	0.002	0.004
92	5.4	4.7	0.7	36.417	18.709	0.000	0.000
98	6.2	5.3	0.9	46.822	22.012	-0.002	-0.004
104	5.9	5.1	0.8	41.619	19.291	-0.005	-0.008
110	5.6	4.7	0.9	46.822	21.174	-0.007	-0.013
116	5.1	4.4	0.7	36.417	16.697	-0.010	-0.019
122	5.3	4.3	1	52.024	23.314	-0.014	-0.025
128	5.1	4.6	0.5	26.012	11.604	-0.018	-0.032
134	5.3	4.5	0.8	41.619	18.401	-0.022	-0.040
140	5.2	4.6	0.6	31.214	13.249	-0.027	-0.049
146	5.2	4.5	0.7	36.417	15.239	-0.033	-0.060
152	5.1	4.4	0.7	36.417	15.457	-0.040	-0.072
158	5.1	4.3	0.8	41.619	17.716	-0.049	-0.087
164	5.1	4.6	0.5	26.012	11.168	-0.058	-0.104
170	5.2	4.3	0.9	46.822	19.566	-0.069	-0.124

176	5.4	4.7	0.7	36.417	15.546	-0.082	-0.146
182	5.3	4.6	0.7	36.417	15.413	-0.096	-0.172
188	4.9	4.5	0.4	20.810	8.635	-0.113	-0.202

## 2. Sel Awal X= 0.1 g/l dengan pengontrolan pH

Jam ke-	y CO2 in	y CO2 out	$\Delta y$ CO2	CTR (g/dm <sup>3</sup> .h)	q CO2 (h-1)	dx/dt	CUR
0	5.8	4.6	1.2	62.429	87.934	0.004	0.00716
2	5.1	4.4	0.7	36.417	48.679	0.003852	0.006895
4	5.8	5	0.8	41.619	55.467	0.003726	0.00667
6	5.4	3.8	1.6	83.238	96.377	0.003622	0.006483
10	5.1	4	1.1	57.226	58.439	0.003473	0.006216
14	5.7	4.8	0.9	46.822	33.632	0.003393	0.006074
18	5.8	5.1	0.7	36.417	26.158	0.003374	0.006039
22	5.4	4.2	1.2	62.429	43.715	0.003406	0.006096
26	5.1	4.4	0.7	36.417	24.574	0.003479	0.006227
30	5.3	4.4	0.9	46.822	29.371	0.003585	0.006416
34	4.8	3.2	1.6	83.238	52.363	0.003714	0.006649
38	5.9	5.3	0.6	31.214	18.245	0.00386	0.006909
42	5.3	4.1	1.2	62.429	37.123	0.004013	0.007183
46	5.8	4.2	1.6	83.238	49.040	0.004166	0.007458
50	5.1	4.6	0.5	26.012	15.105	0.004313	0.007719
54	5.4	4.8	0.6	31.214	17.336	0.004444	0.007955
58	5.3	4.6	0.7	36.417	20.268	0.004555	0.008153
62	5.7	4.9	0.8	41.619	21.581	0.004638	0.008301
66	5.3	4.7	0.6	31.214	16.223	0.004687	0.008389
70	5.3	4.5	0.8	41.619	58.623	0.004697	0.008407
74	5.5	4.8	0.7	36.417	48.679	0.004661	0.008343
78	5.2	4	1.2	62.429	83.200	0.004575	0.00819
82	5.1	4.2	0.9	46.822	54.212	0.004434	0.007937
86	5.3	4.3	1	52.024	24.457	0.004233	0.007578
90	5.5	4.3	1.2	62.429	87.934	0.003969	0.007104
94	5.2	4.3	0.9	46.822	62.587	0.003635	0.006507
98	5.2	4.2	1	52.024	69.333	0.00323	0.005783
102	5.6	4.9	0.7	36.417	42.165	0.00275	0.004923
106	5.1	4.5	0.6	31.214	13.925	0.002192	0.003924
110	5.2	4.2	1	52.024	23.001	0.001553	0.002779
114	5.1	4.3	0.8	41.619	17.665	0.00083	0.001485
118	4.9	4	0.9	46.822	19.593	2.1E-05	3.76E-05
122	5.4	4.6	0.8	41.619	17.665	-0.00088	-0.00157
126	5.7	4	1.7	88.441	37.646	-0.00186	-0.00333
130	6.2	5.6	0.6	31.214	13.402	-0.00294	-0.00525
134	5.2	4.7	0.5	26.012	10.870	-0.0041	-0.00734
139	5.5	4.9	0.6	31.214	13.325	-0.00569	-0.01018

145	5.9	4.9	1	52.024	22.018	-0.00778	-0.01393
151	5.8	5.3	0.5	26.012	10.794	-0.01009	-0.01805
157	5.3	3.8	1.5	78.036	32.564	-0.01259	-0.02254
163	5.5	4.8	0.7	36.417	14.986	-0.0153	-0.02738
169	5.8	4.6	1.2	62.429	25.584	-0.0182	-0.03258
175	5.4	5	0.4	20.810	8.540	-0.02129	-0.03811
181	5.1	4.6	0.5	26.012	10.824	-0.02457	-0.04397
187	5.1	4.6	0.5	26.012	9.518	-0.02801	-0.05014



## LAMPIRAN F

### DOKUMENTASI PENELITIAN

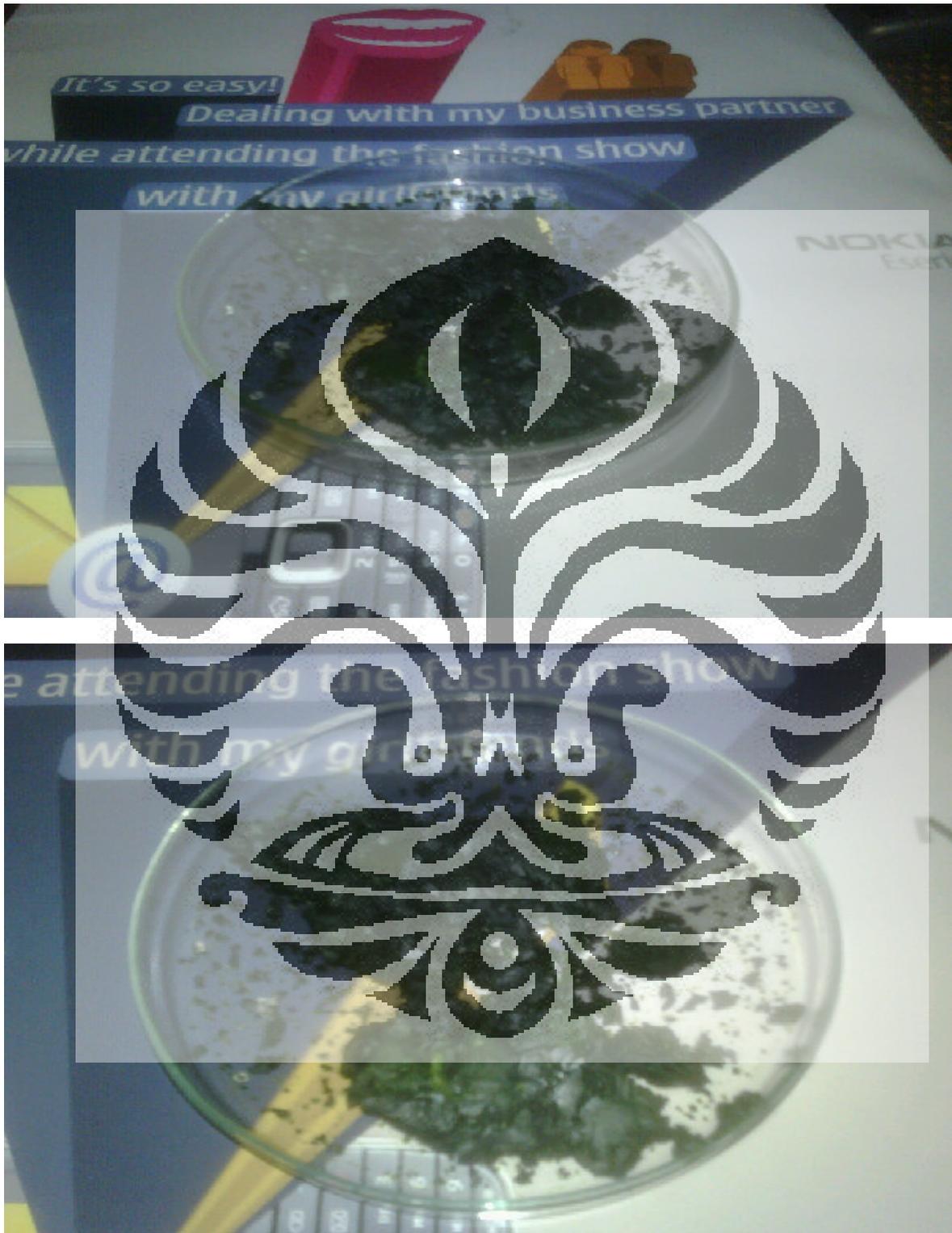
#### Rangkaian Alat Uji Ketahanan



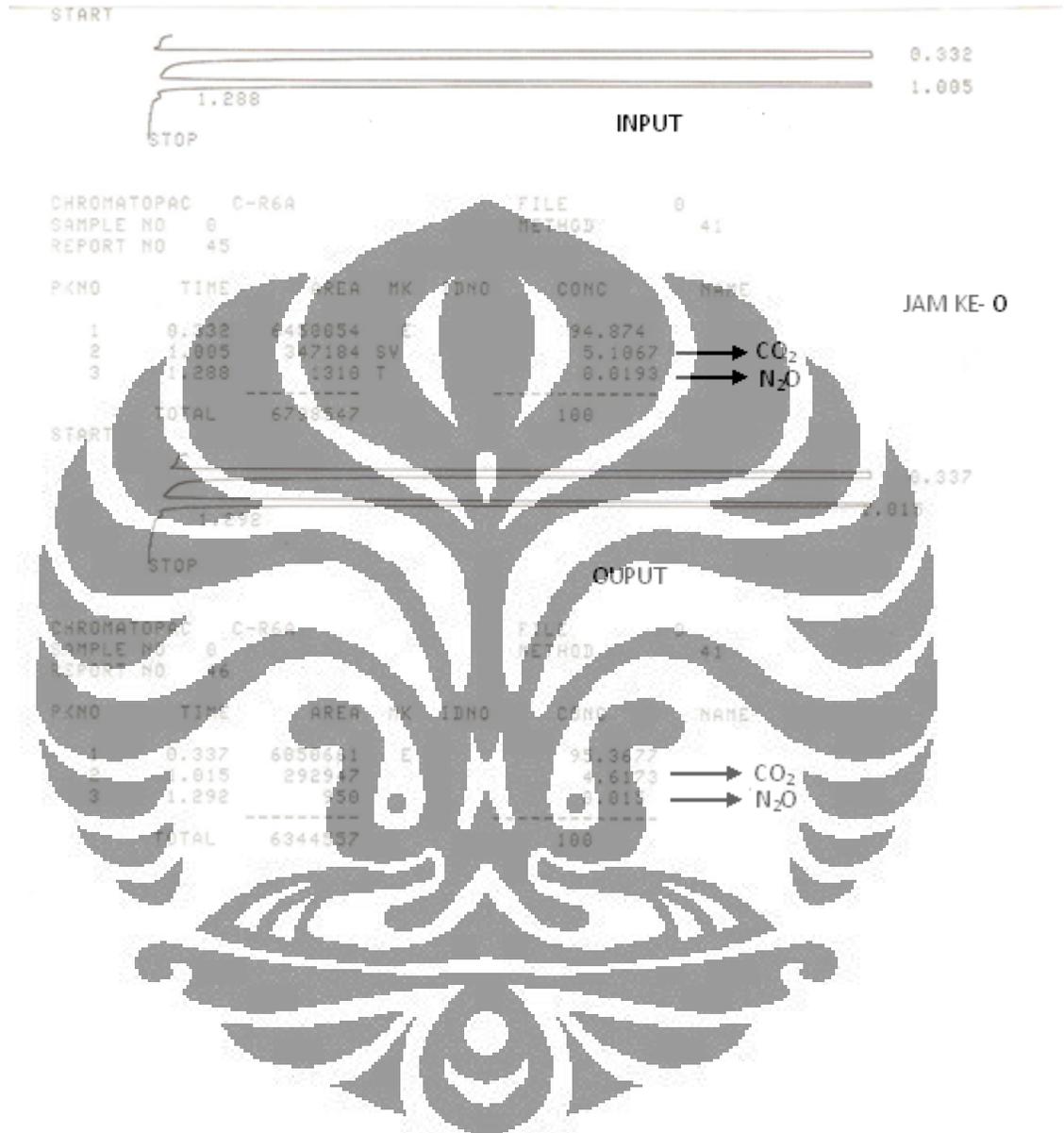
## Proses Pengeringan Biomassa



**Produk Biomassa *Chlorella Vulgaris* Buitenzorg**



## LAMPIRAN G HASIL ANALISIS GC



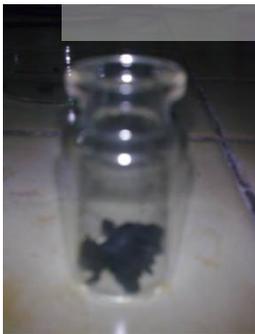
## LAMPIRAN H

### UJI LIPID, KLOOROFIL DAN BETA-KAROTEN

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

1. Sampel dikeringkan di dalam oven pada suhu 60°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

✓ Pre-Culture

Berat sampel = 0,662 g

Berat botol kosong = 11.897 g

Berat botol akhir = 11.991 g

Maka,

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

$$Lipid = \frac{11.991 - 11.897}{0.662} \times 100\%$$

$$Lipid = 14.27\%$$

( Asep Bayu, Tutik Murniasih, Lily. M.G Panggabean, Diah Radini N. "Pengaruh Jenis Media Kultur dan Waktu Panen Terhadap Kandungan Lipid Mikroalgae Laut *Chaetoceros gracilis*" Indonesia Journal Of Marine Science. Juni 2009. vol 14 (2) : 61-65 )

## 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 ± 45 menit
4. Sentrifuge ± 30 menit
5. Lihat absorbansinya pada 645 nm & 663 nm
6. Larutan standarnya aseton

## Perhitungan

$$\text{Chlorophyll A} : 12,7 \times (A663) - 2,69 \times (A645)$$

$$\text{Chlorophyll B} : 22,9 \times (A645) - 4,64 \times (A663)$$

$$\text{Chlorophyll A+B} : 8,02 \times (A663) + 20,2 \times (A645)$$

### Hasil Perhitungan

- Culture

$$\text{Biomassa} = 1,425 \text{ gr}$$

$$A645 = 0,541$$

$$A663 = 0,735$$

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll A} &: 12,7 \times (0,735) - 2,69 \times (0,541) \\ &: 7,879 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll B} &: 22,9 \times (0,541) - 4,64 \times (0,735) \\ &: 8,974 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll A+B} &: 8,02 \times (0,735) + 20,2 \times (0,541) \\ &: 16,818 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\text{Total Chlorophyll} = \frac{16,818}{1,425} = 11,802 \frac{\text{mg}}{\text{gr}} = 1,180 \frac{\text{mg}}{100 \text{ mg}}$$

- Pre-Culture

$$\text{Biomassa} = 1,265 \text{ gr}$$

$$A645 = 0,787$$

$$A663 = 0,863$$

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll A} &: 12,7 \times (0,863) - 2,69 \times (0,787) \\ &: 8,84 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Chlorophyll B :  $22,9 \times (0.787) - 4,64 \times (0.863)$   
: 14.01 mg/L

Chlorophyll A+B :  $8,02 \times (0.863) + 20,2 \times (0.787)$   
: 22.82 mg/L

$$\text{Total Chlorophyll} = \frac{22.82}{1.265} \times 18,039 \frac{m g}{g r} = 1,803 \frac{m g}{100m g}$$

( Tarryn Frances, Nathalie Meka. 2009. Skripsi : “*Penentuan Komposisi Nutrisi dari hasil Produksi Biomassa Chlorella vulgaris Buitenzorg*”. Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok )

### 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

### Gambar Percobaan



- Pre-Culture

$$K a r o t e n o i d \left( \frac{m g}{L} \right) = 3,92 \times 450$$

$$K a r o t e n o i d = 8.71 m g / L$$

( Desi Natallya, 2009. Sripsi “ Pengaruh Fosfat Dalam Media Pertumbuhan Terhadap Kandungan Karotenoid Dan Beta Karoten Dari Mikroalga *Dunaliella salina*” . Fakultas Farmasi, Universitas Pancasila )

