



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PEMANFAATAN MIKROALGA UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH DAN  
POTENSINYA SEBAGAI BAHAN BAKU *BIOFUEL***

**SKRIPSI**

**Oleh :**

**NOVIDA THEODORA PURBA**

**0806368282**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JULI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PEMANFAATAN MIKROALGA UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH DAN  
POTENSINYA SEBAGAI BAHAN BAKU *BIOFUEL***

**SKRIPSI**

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

**NOVIDA THEODORA PURBA**

**0806368282**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA**

**DEPOK**

**JULI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Novida Theodora Purba

NPM : 0806368282

Tanda Tangan : 

Tanggal : 11 Juli 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Novida Theodora Purba  
NPM : 0806368282  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Pemanfaatan Mikroalga untuk Pengolahan Limbah Domestik dan Potensinya sebagai Bahan Baku *Biofuel*

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 : Ir. Dianursanti, M.T 

Penguji I : Dr. Ir. Sukirno, M.Eng 

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

Penguji III : Dr. Eng. Muhamad Sahlan, SSi., M.Eng 

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

Tanggal : 28 Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis kepada Tuhan Yang Maha Esa atas karuniaNya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Tugas Akhir dengan judul **”Pemanfaatan Mikroalga untuk Pengolahan Limbah Domestik dan Potensinya sebagai Bahan Baku”** disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan akademis dalam meraih gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Kimia FTUI.

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

1. Ibu Ir. Dianursanti, M.T selaku pembimbing, atas bimbingan yang telah diberikan.
2. Orang tua (L. Purba dan P.Ginting) dan kakak-adik tercinta (Rani, Fedrik, dan Ella) yang selalu setia memberikan dukungan baik secara spiritual maupun material.
3. Teman-teman di *Algae Group*; Irfan. Faris dan Tangguh, yang telah banyak memberi *support* pada saat penelitian berlangsung.
4. Teman-teman satu *Research Group*; Tating, Olan, Rudi, Toni, Edil, Antoni.
5. Teman-teman seangkatan Teknik Kimia Ekstensi 2008
6. Teman–teman yang telah telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Untuk itu, penulis mengharapkan saran dan kritik untuk memperbaiki penulisan di masa yang akan datang. Dan semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan kedepannya.

Depok, 11 Juli 2011

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Novida Theodora Purba

NPM : 0806368282

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

“Pemanfaatan Mikroalga untuk Pengolahan Limbah Domestik dan Potensinya sebagai Bahan Baku Biofuel”

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 11 Juli 2011

Yang menyatakan



(Novida Theodora Purba)

## ABSTRAK

Nama : Novida Theodora Purba  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Pemanfaatan Mikroalga untuk Pengolahan Limbah Domestik dan Potensinya sebagai Bahan Baku *Biofuel*

*Chlorella vulgaris* selain sebagai sumber nutrisi makanan dan anti oksidan, berpotensi juga untuk pengolahan limbah domestik karena memiliki kandungan nutrisi seperti fosfat dan amonia yang dibutuhkan sebagai substrat untuk fase pertumbuhan. Penelitian menunjukkan bahwa *Chlorella vulgaris* lebih menyukai kultur dengan medium limbah pada perbandingan volume 2:1 terhadap alga dibandingkan 1:1 dan 3:1. Hal ini ditinjau dari penurunan kualitas limbah yang menunjukkan bahwa *Chlorella vulgaris* memiliki kemampuan mendegradasi amonia nitrogen sebesar 95.5%. Sedangkan pada rasio 1:1, penurunan amonia nitrogen sebesar 92.17% dan pada rasio 3:1 sebesar 78.77%. Selain kemampuannya dalam mengolah limbah, *Chlorella vulgaris* menghasilkan kandungan lipid yang berpotensi sebagai bahan baku *biofuel*. Kandungan lipid paling tinggi ditemukan pada rasio volume 2:1, yaitu sebesar 44.3%, sedangkan kandungan lipid pada rasio 1:1 dan 3:1 adalah 39.56% dan 37.96% selama 204 jam lama kultivasi.

**Kata kunci** : biofuel, *Chlorella sp.*, lipid, limbah domestik, amonia nitrogen.

## ABSTRACT

Name : Novida Theodora Purba  
Study Program : Chemical Engineering  
Title : Utilizing Microalgae for Domestic Waste Treatment and its  
Potential as Feedstock of Biofuel

Besides as a source of food nutrient and anti-oxidant, *Chlorella vulgaris* potentially also for domestic waste treatment because of its nutrient contain such as phosphate and ammonia nitrogen which needed as a substrate for the growth phase. Research shows that *Chlorella vulgaris* prefers to waste medium with the volume ratio of 2:1 compared to algae than ratio 1:1 and 3:1. It is observed from waste degradation which shows that *Chlorella vulgaris* has the ability to degrade 95.5% of ammonia nitrogen . Whereas the ratio of 1:1 and 3:1 degrade 92.17% and 78.77% of ammonia nitrogen . In addition for its ability to treat waste, *Chlorella vulgaris* also produce lipid content that has potential as biofuel feedstock. The highest lipid content was found in the volume ratio of 2:1, that is equal to 44.3%, whereas the lipid content in 1:1 and 3:1 ratio are 39.56% and 37.96% for 204 hours long cultivation.

**Key word** : biofuel, *Chlorella sp.*, lipid, domestic waste, ammonia nitrogen.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.3.1 Tujuan Umum.....	5
1.3.2 Tujuan Khusus.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	6
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Mikroalga <i>Chlorella Vulgaris</i> .....	7
2.2 Taksonomi <i>Chlorella Vulgaris</i> .....	8
2.2.1 Morfologi <i>Chlorella Vulgaris</i> .....	8
2.2.2 Fase Pertumbuhan <i>Chlorella Vulgaris</i> .....	11
2.3 Fotosintesis Mikrolaga.....	12
2.3.1 Komponen Fotosintesis Mikroalga Hijau <i>Chlorella Vulgaris</i> .....	14
2.3.2 Reaksi Fotosintesis.....	18
2.3.3 Faktor Penentu Laju Fotosintesis.....	20

2.3.4 Fotosintesis pada <i>Chlorella sp.</i> .....	24
2.3.5 Asimilasi Nutrien.....	25
2.4 Manfaat <i>Chlorella Vulgaris</i> untuk Kesehatan.....	27
2.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan <i>Chlorella Vulgaris</i> pada Medium Terbatas.....	34
2.5.1 Jenis Medium.....	34
2.5.2 Pencahayaan.....	34
2.5.3 Pencahayaan Kontinu.....	35
2.5.4 Terang Gelap (Fotoperiodesitas).....	35
2.5.5 Alterasi.....	35
2.6 Inhibitor Substansi .....	36
2.7 Jenis Fotobioreaktor.....	36
2.7.1 Jenis Kolom Gelembung.....	37
2.8 Perpindahan Massa Fasa Gas ke dalam Fasa Cair di dalam Kolom Gelembung	37
2.8.1 Koefisien Perpindahan Massa Fasa Cair.....	37
2.9 Proses Biologis untuk Pengolahan Air Limbah Domestik.....	39
2.9.1 Parameter Limbah Cair dan Karakteristiknya.....	40
2.10 <i>State of The Art</i> .....	42
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b> .....	44
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	45
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	41
3.3 Variabel Penelitian.....	46
3.3.1 Variabel Bebas.....	46
3.3.2 Variabel Terikat.....	46
3.3.3 Variabel Tetap.....	46
3.4 Prosedur Penelitian.....	46
3.4.1 Studi Literatur.....	47
3.4.2 Persiapan Peralatan dan Medium.....	47
3.4.3 Pemiakan Kultur <i>Chlorella Vulgaris</i> dalam Medium <i>Benneck</i> .....	50
3.4.4 Penentuan Kerapatan Biomassa Inokulum <i>Chlorella Vulgaris</i> .....	51
3.4.5 Pelaksanaan Kegiatan.....	51

3.4.6 Pengambilan Data.....	52
3.4.7 Pengolahan Data Penelitian.....	53
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>56</b>
4.1 Pembahasan Umum.....	60
4.2 Data Penelitian.....	56
4.3 Penentuan Rasio Volume Terbaik yang Memberikan Laju Pertumbuhan Spesifik Paling Maksimum.....	60
4.4 Penentuan Rasio Volume Terbaik yang Memberikan persen Removal Nitrogen Paling Maksimum.....	64
4.5 Pengaruh Rasio Volume Limbah terhadap CTR dan q.....	65
4.6 Penentuan Rasio Volume Limbah Terbaik yang menghasilkan Persen Lipid Paling Maksimum.....	68
4.7 Pengaruh Rasio Volume Limbah terhadap Laju Penurunan Senyawa Bikarbonat	69
4.8 Pengaruh Rasio Volume Limbah terhadap Penurunan Parameter Kualitas Limbah	72
4.9 Pengaruh Medium Kultivasi dan Beberapa <i>Species</i> Alga terhadap Laju Pertumbuhan dan Kandungan Lipid.....	73
4.10 Perbandingan Hasil Kualitas Limbah Domestik dengan Menggunakan Mikroalga dan Tanpa Menggunakan Mikroalga.....	74
<b>BAB 5 KESIMPULAN.....</b>	<b>76</b>
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN.....	80

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Koloni <i>Chlorella vulgaris</i> .....	8
Gambar 2.2 Struktursel <i>Chlorella vulgaris</i> .....	9
Gambar 2.3 Kurva Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i> .....	11
Gambar 2.4 Penampung Daun.....	14
Gambar 2.5 Transfer Elektron pada Membran Thylakoid dalam Kloroplast.....	15
Gambar 2.6 Struktur Klorofil a dan Klorofil b.....	16
Gambar 2.7 Reaksi Fotokimia Utama pada Fotosistem II dan Fotosistem I.....	17
Gambar 2.8 Siklus Calvin untuk Reaksi Gelap.....	20
Gambar 2.9 Mekanisme Asimilasi Nitrogen di Air.....	26
Gambar 2.10 Reaksi Transesterifikasi dari Trigliserida dengan Alkohol.....	32
Gambar 2.11 Tahapan Reaksi Transesterifikasi.....	33
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	44
Gambar 3.2 Skema Alat Penelitian.....	48
Gambar 4.1 Hubungan X vs <i>time</i> pada [A] OD 0.4(1:2); [B] OD 0.2( <i>Benneck</i> sebagai <i>control</i> ); [C] OD 0.2(1:2); [D] OD 0.2(1:3); [E] OD 0.2(1:1)	60
Gambar 4.2 Hubungan $\mu$ vs <i>time</i> pada [A] OD 0.4(1:2); [B] OD 0.2( <i>Benneck</i> sebagai <i>control</i> ); [C] OD 0.2(1:2); [D] OD 0.2(1:1); [E] OD 0.2(1:3)	62
Gambar 4.3 Hubungan NH <sub>3</sub> vs Rasio Volume Limbah & perbandingannya terhadap standard PERGUB DKI JAKARTA No.122 tahun 2005...	64
Gambar 4.4 Hubungan CTR vs <i>time</i> pada [A] OD 0.4(1:2); [C] OD 0.2( <i>Benneck</i> sebagai <i>control</i> ); [B] OD 0.2(1:2); [D] OD 0.2(1:1); [E] OD 0.2(1:3)	66
Gambar 4.5 Hubungan q vs <i>time</i> pada [A] OD 0.2(1:2); [B] OD 0.2( <i>Benneck</i> sebagai <i>control</i> ); [C] OD 0.4(1:2); [D] OD 0.2(1:1); [E] OD 0.2(1:3)	67
Gambar 4.6 Hubungan <i>Lipid Content</i> vs Rasio Volume Limbah.....	68

Gambar 4.7 Hubungan  $\text{HCO}_3^-$  vs *time* pada [C] OD 0.2(1:2); [A] OD 0.2(*Benneck* sebagai *control*); [B] OD 0.4(1:2); [E] OD 0.2(1:1); [D] OD 0.2(1:3)71

Gambar 4.8 Hubungan Kualitas Limbah terhadap Rasio Volume Limbah dan perbandingannya terhadap Baku Mutu Limbah Domestik PERGUB DKI JAKARTA No 122 Tahun 2005..... 72

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Komposisi Air Limbah Domestik Jakarta.....	3
Tabel 2.1 Perbandingan Komposisi Nutrisi Medium Kultivasi <i>Chlorella vulgaris</i> .....	23
Tabel 2.2 Komposisi Nutrisi pada Medium Limbah Domestik di Asrama Gedung A....	24
Tabel 2.3 Komposisi Biomassa <i>Chlorella vulgaris</i> .....	29
Tabel 2.4 Komposisi Air Limbah Domestik Jakarta.....	40
Tabel 2.5 Baku Mutu Limbah Domestik.....	40
Tabel 2.6 <i>Road Map</i> Penelitian.....	42
Tabel 3.1 Bahan-bahan Pembuatan Medium <i>Benneck</i> .....	49
Tabel 4.1 Komposisi Air Limbah Domestik Gedung A Asrama Mahasiswa UI.....	57
Tabel 4.2 Pengaruh Medium terhadap Laju Pertumbuhan dan Kandungan Lipid.....	73
Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Kualitas Limbah Domestik dengan Menggunakan Mikro- alga dan Tanpa Menggunakan Mikroalga.....	75

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Data Hasil Penelitian.....	80
Lampiran B. Perbandingan Komposisi Nutrisi Medium Kultivasi <i>Chlorella vulgaris</i> ...	90
Lampiran C. Peralatan Penelitian.....	93
Lampiran D. Penentuan Kla Udara.....	97
Lampiran E. Kalibrasi Flowmeter.....	100
Lampiran F. Analisa Limbah Domestik.....	101

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

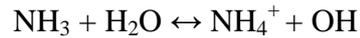
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Alga atau ganggang merupakan sekelompok organisme autotrof yang tidak memiliki organ dengan perbedaan fungsi yang nyata, bahkan dapat dianggap tidak memiliki organ seperti yang dimiliki tumbuhan seperti akar, batang, daun, dll. Meskipun demikian, pemanfaatan alga ternyata sangatlah luas. Alga dapat digunakan sebagai pakan ternak dan kerang laut, pupuk dan penyubur tanah, pewarna kimia, zat stabilisator pada susu, dan pengendali polutan, kemampuan dalam mengubah gas karbon dioksida menjadi oksigen. Selain itu, pemanfaatan alga yang paling dikembangkan saat ini adalah kemampuannya sebagai sumber makanan tambahan dan sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil seperti biodiesel.

Mikroalga dapat digunakan untuk pengolahan tersier limbah karena kapasitas mereka untuk menyerap nutrisi. pH meningkat (dimediasi oleh pertumbuhan alga juga) menyebabkan presipitasi fosfor dan *stripping* ammonia keudara dan bertindak juga sebagai desinfektan pada air limbah.

Limbah domestik sendiri adalah medium yang cocok untuk pertumbuhan mikroalga termasuk *Chlorella vulgaris* Buitenzorg, karena limbah domestik mengandung bahan organik dan nutrisi berupa nitrogen dan fosfor yang penting untuk pertumbuhan mikroalga. Nitrogen dalam air limbah memiliki efek sebagai polutan yang khusus karena nitrogen dapat menggunakan kebutuhan oksigen dan menstimulasi terjadinya eutrofikasi. Sembilan puluh persen dari kandungan nitrogen di dalam air limbah domestik biasanya berada dalam bentuk senyawa amonia. Amonia adalah suatu produk hasil penguraian senyawa organik. Amonia yang terlarut dalam air adalah toksik untuk kehidupan di air pada konsentrasi beberapa ppm. Konsentrasi pastinya bergantung pada pH dan temperatur dari air yang mana mempengaruhi proporsi dari amonia bebas dalam ekuilibrium dengan ion amonium :



Penggunaan mikroalga sebagai pengolah limbah juga memiliki keuntungan lain yaitu biomasa yang dihasilkannya dapat diekstraksi untuk menjadi minyak biodiesel. Alga yang digunakan dalam produksi minyak biodiesel biasanya adalah alga hijau uniseluler. Alga tipe ini adalah alga eukariotik fotosintetik yang dikarakterkan oleh tingkat pertumbuhan yang tinggi dan kerapatan populasi yang tinggi pula. Sebagai tambahan alga hijau dapat memiliki kandungan lipid yang tinggi, biasanya diatas 50% (Chisti, 2007; Schneider, 2006; Campbell, 2008 hal 4).

Proporsi dari amonia bebas meningkat seiring dengan meningkatnya pH dan temperatur. Kandungan amonia dari air limbah yang dibuang ke lingkungan diatur dengan peraturan yang ketat untuk melindungi badan air penerima. Maksimum konsentrasi biasanya dibawah  $10 \text{ g/m}^3$  (sebagai nitrogen) dan sering dibawah 3 atau  $4 \text{ g/m}^3$  (Winkler, 1981, p 29). Limbah domestik biasanya mengandung amonia sebesar  $35 \text{ g/m}^3$ . Oksigen yang dibutuhkan untuk nitrifikasi  $35 \text{ g/m}^3$  amonia adalah sekitar  $150 \text{ g/m}^3$ , jadi total oksigen yang dibutuhkan menjadi  $300\text{-}500 \text{ g/m}^3$ , yang mana 30-40% nya karena keberadaan amonia (p. 230).

Namun besarnya konsentrasi amonia dalam air limbah dapat menjadi faktor penghambat dalam pengolahan limbah berbasis pengolahan biologis. Pada konsentrasi tertentu amonia dapat menjadi toksik terhadap makhluk hidup, termasuk mikroorganisme pengolah limbah seperti mikroalga. Penelitian Abeliovich dan Azov (1975) menunjukkan bahwa konsentrasi amonia diatas 2 mM dan pH diatas 8 dapat menghambat pertumbuhan dan fotosintesis dari *Scenedesmus obliquus*, suatu spesies yang dominan dalam pond oksidasi limbah. Fotosintesis dari alga lain seperti *Chlorella pyrenoidosa*, *Anacystis nidulans* dan *Plectonema boryanum* juga terhambat pada konsentrasi amonia yang sama.

Konsentrasi nitrogen adalah salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan kandungan lipid dari mikroalga. Produksi lipid dari suatu jenis mikroalga dipengaruhi oleh faktor lingkungannya. Faktor lingkungan, khususnya cahaya, temperatur, status nutrien, dan salinitas, tidak hanya mempengaruhi

fotosintesis dan produktivitas dari biomassa sel, tapi juga mempengaruhi pola, jalur dan aktivitas dari metabolisme selular dan komposisi sel dinamik (Hu dalam Richmond, 2007).

Aktivitas *chlorella vulgaris* pada media limbah domestik dapat digunakan sebagai *optional treatment*. Selain pengolahan terpusat pada waduk setia budi, air limbah domestik dari rumah tangga lainnya umumnya di tampung dalam *septic tank* atau langsung dibuang ke sungai dan kanal. *Septic tank* jarang dipelihara dengan baik, menyebabkan *overflow* yang mengkontaminasi sumber air tanah, termasuk sumur dangkal dimana kebanyakan rumah tangga perkotaan menggunakannya sebagai sumber air minum, bahkan lumpur dari tangki septik sebagian besar dikumpulkan dan dibuang ke sungai atau kanal (Bank dunia, 1994; Chalik, 2004). Komposisi dari air limbah domestik Jakarta secara umum menurut PD PAL jaya dalam BPPT (2010) adalah sebagai berikut:

Tabel 1.1 Komposisi Air Limbah Domestik Jakarta

No	Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu
1	BOD	mg/l	27.61 - 190.59	50
2	COD	mg/l	138.68 - 591.24	80
3	Angka permanganat (KMNO <sub>4</sub> )	mg/l	64.6 - 256.49	85
4	Amoniak (NH <sub>3</sub> )	mg/l	12.5 – 63.62	10
5	pH	mg/l	6.06 – 6.99	6 – 9
6	Minyak dan lemak	mg/l	0.8 – 12.7	10

Sumber: BPPT, 2010; Peraturan Pemerintah DKI Jakarta no. 122 tahun 1995

Guna menurunkan kandungan parameter-parameter dalam air limbah agar memenuhi baku mutu lingkungan maka perlu dilakukan pengolahan terhadap air limbah tersebut sebelum dibuang ke lingkungan. Sebuah penelitian di negara Skandinavia menunjukkan bahwa pengolahan air limbah berbasis mikroalga memiliki tingkat pelanggaran prinsip-prinsip sosial ekologi yang lebih sedikit daripada pengolahan air limbah konvensional, dan pengolahan konvensional yang

digunakan bersama-sama dengan lahan basah buatan (Groenlund *et al.*, 2004; Kryder, 2007, p.4).

Peluangnya untuk Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia adalah beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan produksi *biomassa Chlorella vulgaris*. Penelitian tersebut sebelumnya menggunakan medium *Benneck*, namun pada penelitian ini, medium yang digunakan dengan memanfaatkan medium limbah domestik dalam pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris*.

## 1.2. Perumusan masalah

Limbah domestik adalah salah satu sumber pencemar perairan karena air limbah domestik mengandung bahan organik dan nutrisi yang tinggi, yang dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi dalam badan air penerima. Tingginya kandungan bahan *organic* dan nutrisi dalam air limbah domestik membuat air limbah domestik ini cocok untuk menjadi medium pertumbuhan mikroalga.

Kultivasi mikroalga yang terintegrasi dengan pengolahan limbah harus memperhatikan kandungan nutrisi terutama nitrogen yang berada dalam air limbah tersebut. Sembilan puluh persen nitrogen dalam air limbah domestik berada dalam bentuk amonia. Amonia sendiri pada konsentrasi tertentu dapat menjadi toksik untuk pertumbuhan mikroalga. Setiap mikroalga memiliki ketahanan yang berbeda terhadap kandungan amonia. Kadar amonia awal air limbah akan mempengaruhi kandungan lipid dari mikroalga. Sampai saat ini belum dilakukan penelitian tentang kemampuan hidup dan penurunan amonia oleh *C. vulgaris* Buitenzorg dalam air limbah domestik serta kandungan lipidnya yang dapat dimanfaatkan untuk bahan minyak biodiesel.

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka dapat dibuat pertanyaan penelitian sebagai

berikut:

1. Apakah mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg mampu menurunkan kandungan nitrogen amonia dalam air limbah domestik sampai memenuhi baku mutu lingkungan?

2. Bagaimana kemampuan pertumbuhan dari *Chlorella vulgaris* yang dibiakkan dalam limbah domestik dengan kandungan awal amonia yang berbeda?
3. Berapa total lipid yang dihasilkan yang dihasilkan dan apakah perbedaan konsentrasi amonia awal akan memberikan pengaruh terhadap total lipid yang dihasilkan?
4. Bagaimana kualitas limbah domestik yang diperoleh setelah kultivasi?

### **1.3. Tujuan penelitian**

#### **1.3.1. Tujuan umum**

Tujuan umum dari penelitian ini adalah mengatasi pencemaran perairan yang diakibatkan oleh air limbah domestik dengan menggunakan pengolahan biologis yang pengolahannya berbasis mikroalga.

#### **1.3.2. Tujuan khusus**

1. Mengetahui besarnya penurunan nitrogen ammonia dalam setiap variasi penelitian
2. Mengetahui besarnya laju pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dalam setiap variasi penelitian.
3. Mengetahui besarnya lipid yang dihasilkan pada setiap variasi penelitian.
4. Mengetahui parameter limbah domestik yang memenuhi baku mutu limbah domestik untuk setiap variasi penelitian.

### **1.4. Manfaat penelitian**

1. Memperkaya khasanah ilmu pengetahuan tentang kultivasi mikroalga khususnya kemampuan pertumbuhan *C. vulgaris* Buitenzorg dalam limbah domestik
2. Memberikan informasi tentang kemampuan penurunan amonia dari air limbah domestik oleh *Chlorella vulgaris*.
3. Informasi yang diperoleh dapat dijadikan data awal untuk penelitian lebih lanjut khususnya pemanfaatan *Chlorella vulgaris* sebagai pengolah limbah dan penghasil biodiesel jika ditumbuhkan pada kondisi lapangan.

## 1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

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

### BAB I PENDAHULUAN

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

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

### BAB III METODE PENELITIAN

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

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

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

### BAB V KESIMPULAN

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

### DAFTAR PUSTAKA

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dibahas mengenai tinjauan pustaka yang menjadi referensi penelitian. Sub bab yang akan dibahas yaitu mengenai *Chlorella sp.*, fotosintesis dan faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan produksi biomassa *Chlorella sp.* pada medium terbatas dan fotobioreaktor.

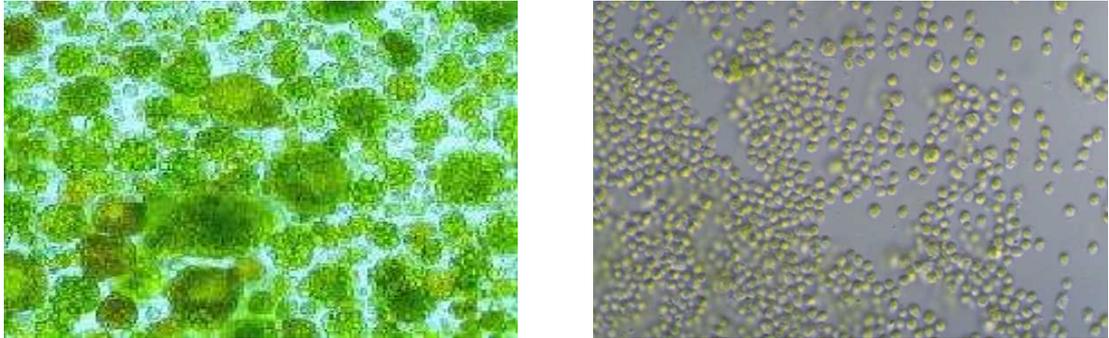
#### **2.1 Mikroalga *Chlorella vulgaris*.**

*Chlorella vulgaris* merupakan mikroalga yang termasuk dalam golongan alga hijau (*Chlorophyta*) dengan bentuk tubuh bulat, bulat lonjong dengan garis tengah sel antara 2 – 8  $\mu\text{m}$ . 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, 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, 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 berikut :



Gambar 2.1. Koloni *Chlorella vulgaris*.

( [nies.go.jp/biology/mcc/images/PCD5008/0384L.jpg](http://nies.go.jp/biology/mcc/images/PCD5008/0384L.jpg), 2008.)

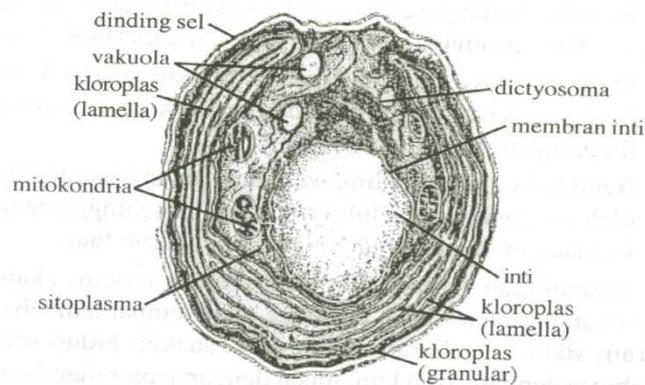
## 2.2. Taksonomi *Chlorella vulgaris*.

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.)

### 2.2.1. Morfologi *Chlorella vulgaris*.

*Chlorella vulgaris* adalah organisme bersel tunggal atau *uniselular*. Struktur sel dari *Chlorella vulgaris* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Struktur Sel *Chlorella vulgaris*.

(merops.sanger.ac.uk, 2008.)

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

#### 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. Kloroplast.

Kloroplast merupakan jaringan berbentuk cangkik 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.)

### 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.)

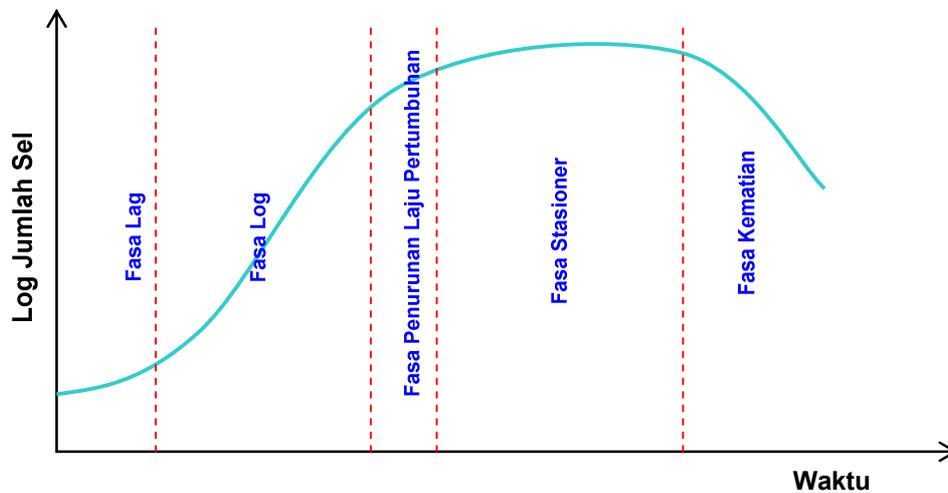
### 4. Dinding Sel.

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.)

### 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)

## 2.2.2 Fase Pertumbuhan *Chlorella*



Gambar 2.3. Kurva Pertumbuhan *Chlorella sp.*

(Sumber : Wirosaputro,2002)

### 1. Fase tunda (*lag phase*)

Lag phase adalah suatu tahap setelah pemberian inokulum ke dalam media kultur dimana terjadi penundaan pertumbuhan yang dikarenakan *Chlorella vulgaris* memerlukan penyesuaian dengan lingkungan yang baru sebelum memulai pembelahan. Penyesuaian disini merupakan suatu masa ketika sel-sel kekurangan metabolit dan enzim akibat dari keadaan tidak menguntungkan dalam pembiakan terdahulu.

### 2. Fase Pertumbuhan Logaritmik (*log phase*)

Pada fase ini, sel-sel membelah dengan cepat dan terjadi pertambahan jumlah sel dengan kecepatan yang konstan. Selama fase ini, sel-sel berada dalam keadaan yang stabil. Bahan sel baru terbentuk dengan konstan tetapi bahan-bahan baru itu bersifat katalitik dan massa bertambah secara eksponensial. Hal ini bergantung hingga satu dari dua hal terjadi, yaitu kalau tidak satu atau lebih zat makanan dalam pembenihan habis maka tentu hasil metabolisme beracun akan tertimbun dan menghambat pertumbuhan.

### 3. Fase Penurunan Laju Pertumbuhan

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

### 4. Fase Stasioner

Pada fase ini, jumlah sel cenderung konstan. Hal ini disebabkan oleh habisnya zat makanan atau menumpuknya hasil metabolisme yang beracun dalam medium sehingga mengakibatkan pertumbuhan berhenti. Akan tetapi, dalam kebanyakan kasus, pergantian sel terjadi dalam fase stasioner, yaitu adanya kehilangan sel yang lambat karena kematian yang diimbangi oleh pembentukan sel-sel yang baru melalui pertumbuhan dan pembelahan. Bila hal ini terjadi, jumlah seluruh sel akan bertambah secara lambat meskipun jumlah sel yang hidup akan konstan.

### 5. Fase Kematian

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

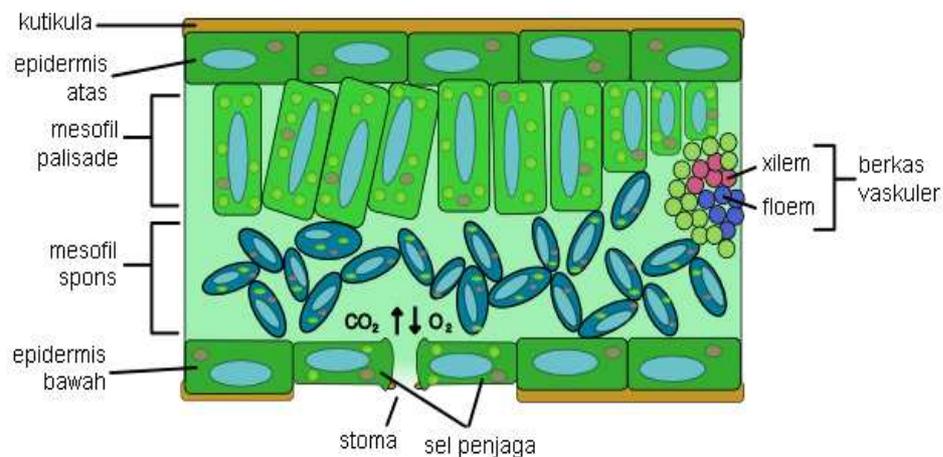
## 2.3 Fotosintesis mikroalga

Fotosintesis adalah suatu proses biokimia yang dilakukan tumbuhan, alga, dan beberapa jenis bakteri untuk memproduksi nutrisi dengan memanfaatkan energi cahaya. Hampir semua makhluk hidup bergantung dari energi yang dihasilkan dalam fotosintesis. Akibatnya fotosintesis menjadi sangat penting bagi kehidupan di bumi. Fotosintesis juga berjasa menghasilkan sebagian besar jumlah oksigen yang terdapat di atmosfer bumi. (<http://id.wikipedia.org/.../f/o/t/Fotosintesis.html>, April 2008). Fotosintesis merupakan salah satu cara asimilasi karbon karena dalam fotosintesis karbon

bebas dari (CO<sub>2</sub>) diikat (difiksasi) menjadi gula sebagai molekul penyimpan energi.

Energi cahaya yang digunakan dapat dari cahaya alami yang sumbernya yaitu matahari yang memiliki spektrum cahaya infra merah (tidak kelihatan), merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, ungu dan ultra ungu (tidak kelihatan). Yang digunakan dalam proses fotosintesis adalah spektrum cahaya tampak, dari ungu sampai merah sedangkan infra merah dan ultra ungu tidak digunakan dalam fotosintesis. Dalam fotosintesis, dihasilkan karbohidrat dan oksigen yang mana oksigen sebagai hasil sampingan dari fotosintesis.

Fotosintesis hanya berlangsung pada sel yang memiliki pigmen fotosintetik. Di dalam daun terdapat jaringan pagar dan jaringan bunga karang, dimana pada keduanya mengandung kloroplast yang mengandung klorofil/pigmen hijau yang merupakan salah satu pigmen fotosintetik yang mampu menyerap energi cahaya matahari. Dilihat dari strukturnya, kloroplast terdiri atas membran ganda yang melingkupi ruangan yang berisi cairan yang disebut stroma. Membran tersebut membentuk suatu sistem membran tilakoid yang berwujud sebagai suatu bangunan yang disebut kantung tilakoid. Kantung-kantung tilakoid tersebut dapat berlapis-lapis dan membentak apa yang disebut grana. Klorofil terdapat pada membran tilakoid dan perubahan energi cahaya menjadi energi kimia berlangsung dalam tilakoid, sedang pembentukan glukosa sebagai produk akhir fotosintesis berlangsung di stroma (<http://bebas.vlsm.org/biologi/biologi3.htm>, April 2008).



Gambar 2.4 Penampang daun

(Sumber : <http://www.e-smartschool.com>)

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap pembentukan klorofil antara lain (<http://bebas.vlsm.org/biologi/biologi3.htm>, April 2008 ) :

1. Gen

Bila gen untuk klorofil tidak ada maka tanaman tidak akan memiliki klorofil.

2. Cahaya

Beberapa tanaman dalam pembentukan klorofil memerlukan cahaya.

3. Unsur N, Mg, Fe

Merupakan unsur-unsur pembentuk dan katalis dalam sintesis klorofil.

4. Air

Bila kekurangan air akan terjadi desintegrasi klorofil.

### 2.3.1 Komponen Fotosintesis Mikroalga Hijau *Chlorella vulgaris*

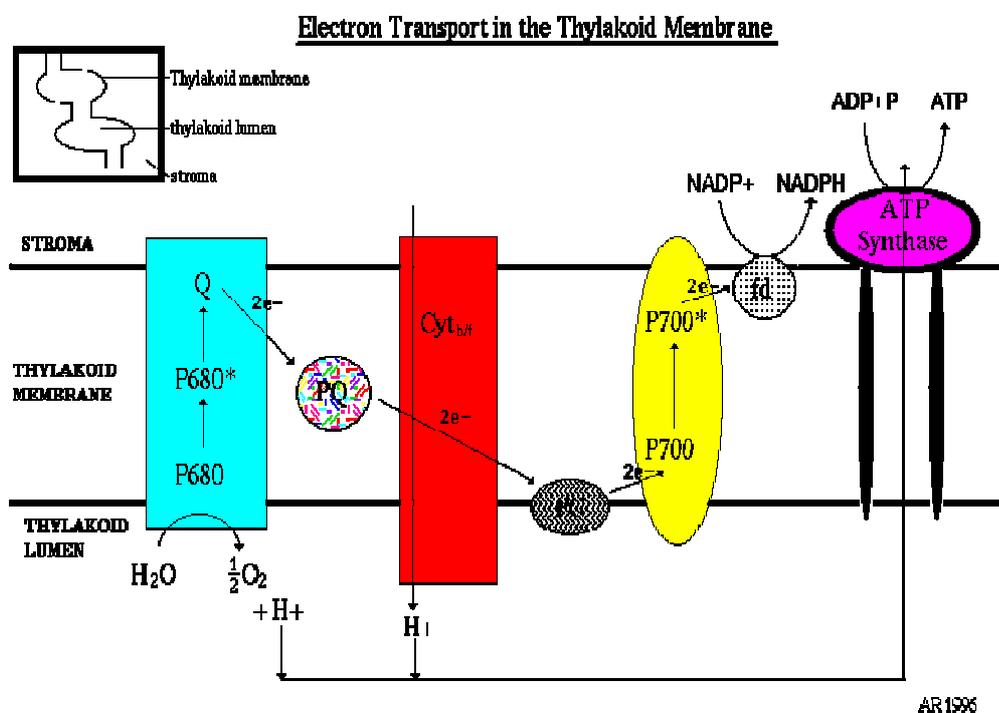
Komponen-komponen yang berperan dalam proses fotosintesis *Chlorella* adalah kloroplas, sistem antenna penyerapan cahaya dan pusat reaksi fotokimia utama.

a) Kloroplas

Proses fotosintesis pada *Chlorella* terjadi di dalam kloroplas, dimana organela-organela ditemukan di dalam sel. Kloroplas menyediakan energi dan karbon tereduksi yang diperlukan untuk pertumbuhan *Chlorella* dan

perkembangannya, sementara itu media hidupnya menyediakan CO<sub>2</sub>, air, nitrogen, senyawa organik dan mineral-mineral yang penting yang diperlukan oleh kloroplas untuk biogenesis (<http://www.life.ui.ac.edu/govindjee/paper/gov.html>).

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



Gambar 2.5 Transfer Elektron Pada Membran Thylakoid dalam Kloroplas

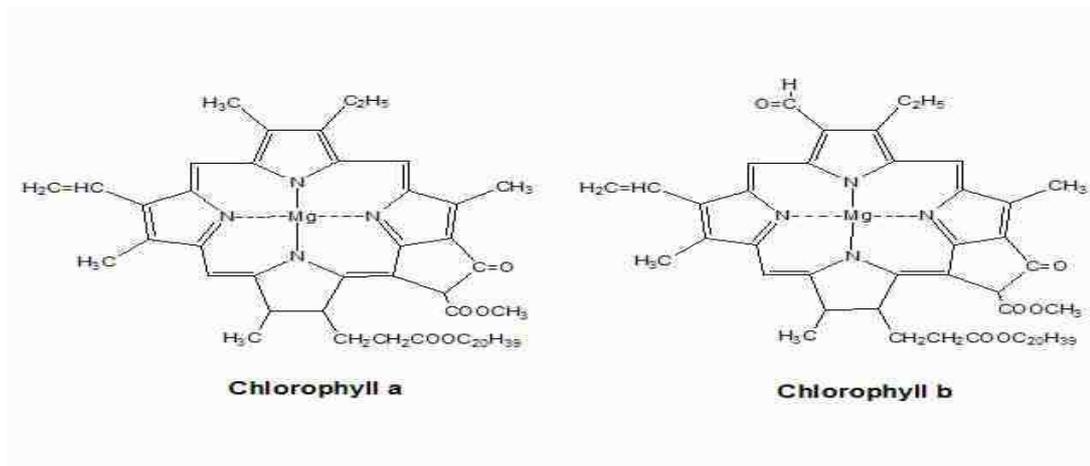
([www.sciencegateway.org](http://www.sciencegateway.org))

Masing-masing kloroplas dibentuk dari lapisan dalam dan luar envelope membrane dan berbentuk seperti lensa *konveks meniscus* dengan diameter 5-10 mikron. *Envelope membrane* bagian dalam berfungsi sebagai barrier untuk mengontrol fluks organik dan bertanggung jawab atas molekul yang keluar masuk kloroplas. Air dapat dengan bebas melalui *envelope membrane*, juga bagi molekul netral seperti CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>.

b) Sistem antena penyerapan cahaya

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

Struktur kimia dari klorofil a dan b dapat dilihat pada gambar. Pada klorofil b,  $\text{CH}_3$  pada cincin II digantikan oleh grup CHO. *Chlorella* akan kelihatan hijau dikarenakan klorofil yang dimilikinya.



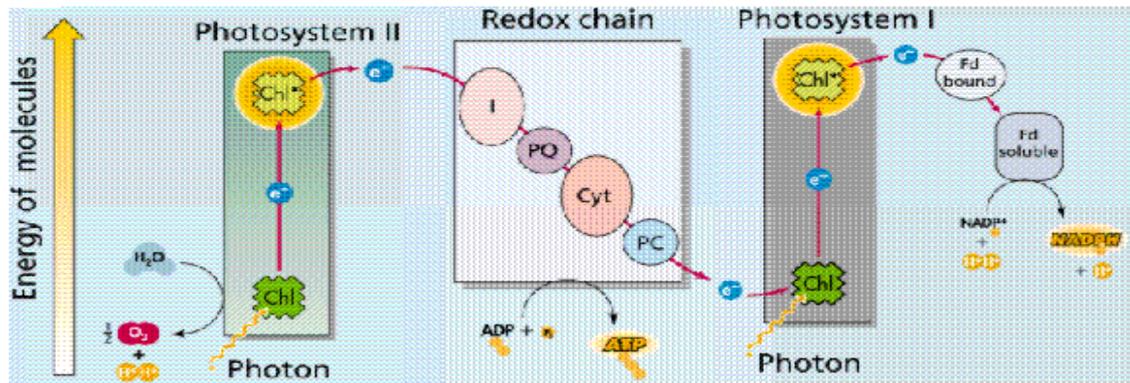
Gambar 2.6 Struktur Klorofil a dan Klorofil b

([www.benbest.com/nutrceut/phytochemicals.html](http://www.benbest.com/nutrceut/phytochemicals.html))

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

c) Pusat reaksi fotokimia utama

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



Gambar 2.7 Reaksi Fotokimia Utama Pada Fotosistem II dan Fotosistem I

([http://www.biology.arizona.edu/the\\_biology\\_project/the\\_biology\\_project.html](http://www.biology.arizona.edu/the_biology_project/the_biology_project.html))

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

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

### 2.3.2 Reaksi Fotosintesis

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

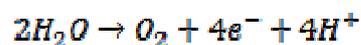
Reaksi fotosintesis secara umum dibagi menjadi dua tahap, yaitu reaksi terang dan reaksi gelap. Pada reaksi terang terjadi reaksi transfer elektron dan foton, sedangkan pada reaksi gelap terjadi reaksi biosintesa karbohidrat dari CO<sub>2</sub>. Reaksi terang menghasilkan sintesis ATP dan NADPH untuk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

#### a) Reaksi Terang

Reaksi terang berlangsung pada system membran kompleks/grana yang tersusun dari protein kompleks, elektron *carrier* dan molekul lemak. Reaksi terang mengkonversi energi menjadi berbagai produk (<http://www.biology.arizona.edu/>). Pada langkah pertama adalah konversi foton menjadi bentuk elektron tereksitasi pada molekul antenna pigmen yang terdapat pada sistem antenna. Baik molekul donor maupun molekul akseptor akan melekat pada protein kompleks pusat reaksi (<http://www.life.ui.ac.edu/govindjee/paper/gov.html>).

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

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



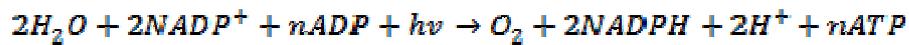
2. Reduksi NADP<sup>+</sup>, menurut persamaan :



3. Sintesis ATP, menurut persamaan :



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



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

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

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

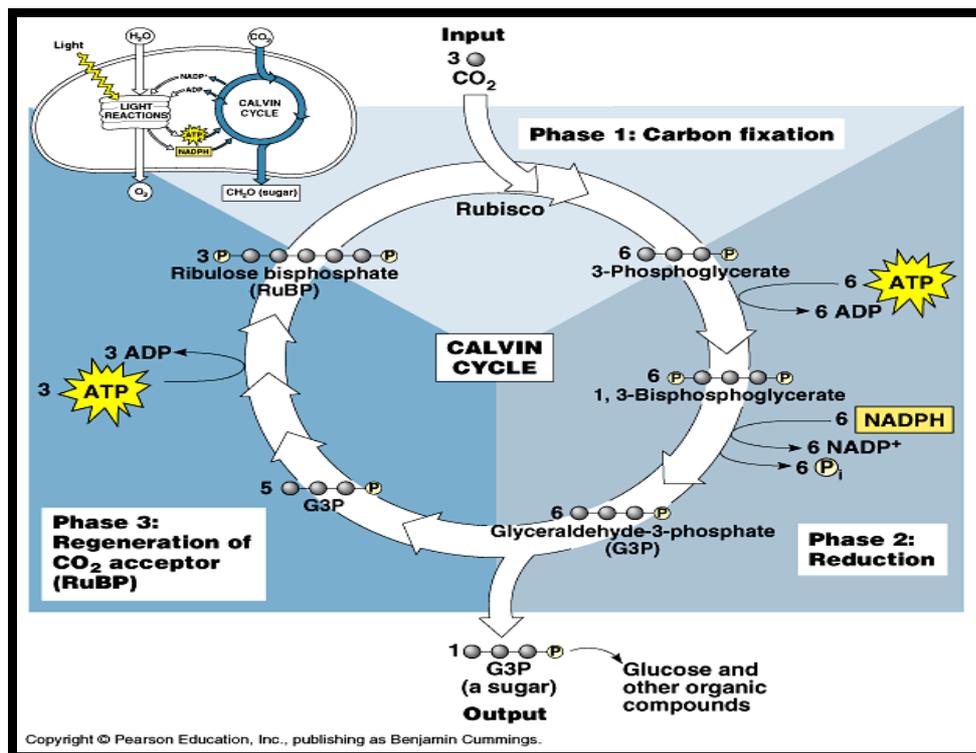
NADPH dan ATP yang terbentuk pada reaksi terang menyediakan energi untuk reaksi gelap fotosintesis, yang dikenal sebagai siklus Calvin atau siklus fotosintetik reduksi karbon (<http://www.life.ui.ac.edu/govindjee/paper/gov.html>).

#### b) Reaksi Gelap

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

*Chlorella* menghilangkan  $CO_2$  dari lingkungan dan mereduksinya menjadi karbohidrat melalui siklus Calvin. Proses ini merupakan serangkaian reaksi biokimia yang mereduksi karbon dan menyusun ulang ikatan menghasilkan karbohidrat dari molekul  $CO_2$ . Untuk fiksasi karbon (fiksasi gas  $CO_2$  yang bebas berdifusi menjadi bentuk yang non-

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



Gambar 2.8 Siklus Calvin untuk Reaksi Gelap

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

### 2.3.3 Faktor Penentu Laju Fotosintesis.

Berikut adalah beberapa faktor utama yang menentukan laju fotosintesis :

#### 1. Intensitas cahaya

Laju fotosintesis maksimum ketika banyak cahaya. Intensitas cahaya berperan penting namun kebutuhannya tergantung dari kedalaman dan kepadatan kultur alga. Pada kedalaman dan kepadatan kultur yang tinggi, intensitas cahaya yang

diberikan harus ditingkatkan agar dapat menembus kultur dan menghindari adanya efek *self shading*. Cahaya yang digunakan dapat berupa pencahayaan alami (sinar matahari) untuk kultivasi outdoor dan pencahayaan buatan (lampu TL) dalam kultivasi indoor/skala lab. Pada skala Lab, penggunaan lampu TL/fluorescent sebagai pengganti cahaya matahari didasarkan pada kebutuhan cahaya yang dapat diatur sesuai dengan volum, kedalaman serta kepadatan dari kultur mikroalga. Pengaturan cahaya ini bertujuan untuk menghindari intensitas cahaya yang terlalu tinggi pada kultur mikroalga sehingga menghambat pertumbuhan mikroalga. Selain itu, alasan penggunaan tabung fluorescent ini adalah karena tabung jenis ini mampu memancarkan spektrum biru atau lampu merah dengan baik .

## 2. Konsentrasi karbon dioksida

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

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

## 3. Suhu

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

Kisaran temperatur yang optimal bagi perkembangan *Chlorella* adalah antara 25-30 °C. Temperatur mempengaruhi proses fisika, kimia, biologi yang berlangsung dalam sel mikroalga. Peningkatan temperatur hingga batas tertentu akan merangsang aktifitas molekul, meningkatkan laju difusi, dan juga laju fotosintesis.

## 4. Aerasi/Pencampuran

Penggunaan sistem aerasi ini bertujuan untuk menghindari sedimentasi pada kultur mikroalga dan untuk memastikan bahwa semua sel-sel dalam populasi mikroalga mendapat cahaya dan nutrisi secara merata. Selain itu aerasi juga

bertujuan untuk menghindari stratifikasi termal dan meningkatkan pertukaran gas antara medium dan udara. Pencampuran yang digunakan harus berada dalam keadaan optimum agar tingkat pertumbuhan mikroalga baik. Sistem aerasi yang terlalu besar akan menghambat pertumbuhan mikroalga karena adanya efek *shear stress* pada kultur mikroalga. Selain itu, tidak semua jenis alga dapat mentolerir pencampuran kuat. Jenis sistem aerasi yang digunakan tergantung dari kedalaman, kepadatan kultur mikroalga serta fotobioreaktor atau sistem kultur yang digunakan.

#### 5. Derajat keasaman (pH)

Nilai pH medium kultur merupakan faktor pengontrol yang menentukan kemampuan biologis mikroalga dalam memanfaatkan unsure hara. Nilai pH yang tinggi akan mengurangi aktifitas fotosintesis mikroalga. Menurut Round (1973), pH media berkisar antara 7.0 – 8.0 cukup baik digunakan dalam kultur alga di laboratorium. *Chlorella vulgaris* sendiri memiliki daya tahan terhadap lingkungan yang asam dengan pH mencapai 2.

#### 6. Medium

Medium yang diperlukan untuk perkembangan *Chlorella* relatif lebih sederhana dan hanya memerlukan jenis nutrisi yang lebih sedikit dibandingkan dengan medium untuk jenis alga lainnya. Medium yang digunakan oleh mikroalga mengandung unsur-unsur makro seperti N, K, Mg, S, P dan Cl. Sedangkan unsur mikronya adalah seperti Cu, Fe, Zn, Mn, B dan Mo. Unsur hara tersebut diperoleh dalam bentuk dengan persenyawaan lain. Tiap unsur hara memiliki fungsi-fungsi khusus yang tercermin dalam pertumbuhan dan kepadatan yang dicapai oleh organisme tanpa mengesampingkan pengaruh dari lingkungan.

Ada beberapa medium yang biasanya digunakan untuk pembiakan *Chlorella*. Yaitu *Benneck*, *Detmer*, Pupuk komersial dan *Walne*. Komposisi untuk masing-masing medium ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.1. Perbandingan Komposisi Nutrisi Medium Kultivasi *Chlorella vulgaris*

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

(Sumber :Wirosaputro, 2002)

Sedangkan untuk media limbah, komposisi nutrisi yang dapat digunakan untuk pembiakan *Chlorella vulgaris* dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.2 Komposisi nutrisi pada medium limbah *domestic* di Asrama Gedung A

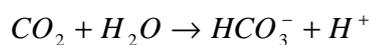
NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL ANALISA
1	Ammonia (NH <sub>3</sub> )	mg/L	108
2	Fosfat (PO <sub>4</sub> )	mg/L	72.7

Hasil analisa Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan, 2011

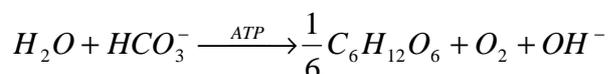
Penggunaan limbah sebagai media pertumbuhan akan mengurangi biaya operasional untuk pembuatan media. Salah satu media yang digunakan adalah limbah *domestic*. Berbeda dengan kultur murni, penggunaan limbah *domestic*, selain mengurangi biaya operasional juga memberikan keuntungan buat lingkungan, yaitu didapatkannya air limbah yang telah memenuhi baku mutu untuk dibuang ke lingkungan.

### 2.3.4 Fotosintesis pada *Chlorella sp.*

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



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

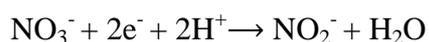


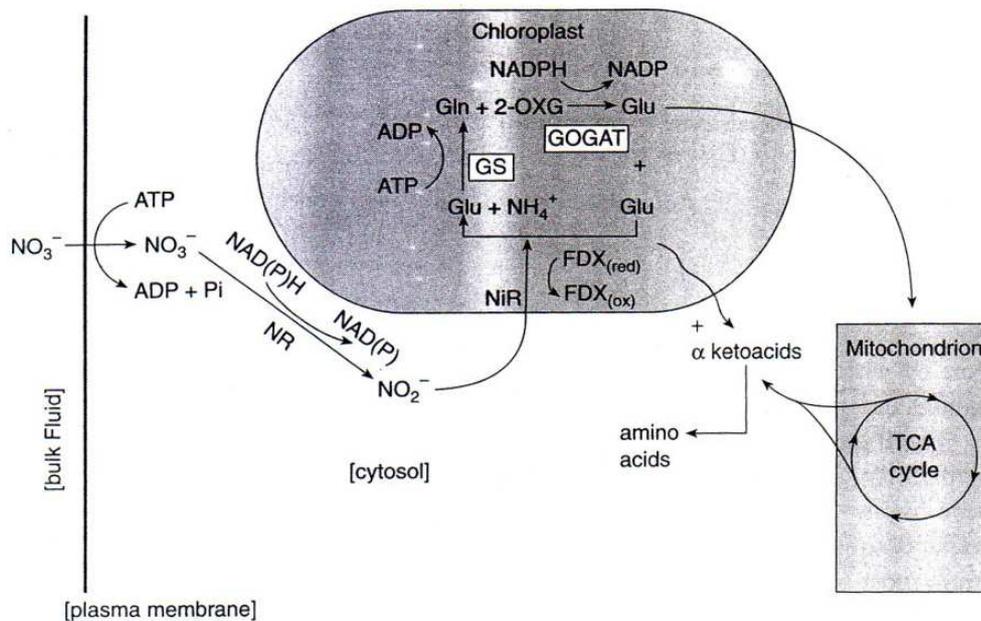
Sehingga diketahui bahwa hasil fotosintesis dari *Chlorella sp.* adalah ion OH<sup>-</sup>, oksigen molekular, dan senyawa organik (karbon) yang akan digunakan sebagai cadangan makanan/*carbon source*, apabila tidak mendapatkan cahaya dan CO<sub>2</sub> yang cukup untuk pertumbuhan dan pembelahan selnya.

### 2.3.5 Asimilasi Nutrien

Sintesis asam amino memerlukan *incorporation* nitrogen dalam bentuk amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) menjadi kerangka karbon (Syrett 1981). Dua asam amino esensial serta beberapa lipid memerlukan penurunan belerang. Asam nukleat dan nukleotida memerlukan fosfat dan nitrogen. Jadi, selain karbon, ada tiga *macronutrients* penting lain yang diperlukan untuk pertumbuhan sel: N, P, dan S. Selain itu, beberapa aspek elemen-elemen dalam kaitannya dengan biosintesis dan fotosintesis.

Untuk semua eukariotik *photoautotrophs*, satu-satunya bentuk nitrogen anorganik yang secara langsung dapat diasimilasi adalah nitrat, nitrit dan amonium. Bentuk yang lebih tinggi teroksidasi, nitrat, adalah bentuk paling stabil secara termodinamika dalam lingkungan perairan teroksidasi, dan karena bentuknya dominan, nitrogen tetap dalam ekosistem perairan sebagian besar (meskipun tidak selalu yang paling tersedia). Berikut, translokasi di plasmalemma (yang merupakan proses yang tergantung pada energi), dimana asimilasi  $\text{NO}_2^-$  membutuhkan pengurangan kimia untuk  $\text{NH}_4^+$  (Gambar 2.9). Proses ini dimediasi oleh dua enzim, yaitu, reduktase nitrat dan reduktase nitrit (Berges, Harrison 1995; Eppley 1978; Falkowski 1983a, Morris, Syrett 1965). Reduktase Nitrat terletak di sitosol dan menggunakan NAD (P) H untuk mengkatalisis transfer elektron dua :

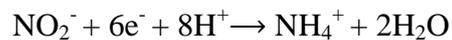




Gambar 2.9 Mekanisme Asimilasi Nitrogen di Air

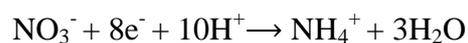
(Paul et al., 1997)

Pada *cyanobacteria*, reduktase nitrat akan cenderung digabungkan dengan oksidasi ferredoxin daripada piridin nukleotida (Flores, Herrero 1994). Pembentukan reduktase nitrit oleh reduktase nitrat berkurang dalam reaksi enam transfer elektron:



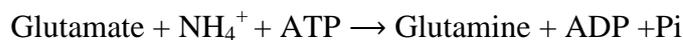
Reduktase nitrit menggunakan ferredoxin dalam alga baik *cyanobacteria* dan eukariotik, dalam kedua enzim terlokalisir di kloroplas. Dalam ganggang baik *cyanobacteria* dan eukariotik, aliran elektron fotosintesis merupakan sumber penting untuk pengurangan nitrit (Raven 1976a).

Stoikiometri keseluruhan untuk reduksi nitrat amonium yang dapat ditulis sebagai:



Dengan asumsi semua elektron untuk pengurangan ini berasal dari air, perubahan energi bebas dari proses ini membutuhkan 288 kJ per mol  $\text{NH}_4^+$  terbentuk. *Incorporation* dari amonium menjadi asam amino dibawa oleh tahapan berurutan dari sintetase glutamin (GS) dan glutamin 2-oxoglutarate aminotransferase (GOGAT) (Falkoski, Rivkin 1976; Lea, Miflin 1974; Zehr, Falkowski 1988).

Asimilasi amonium oleh GS membutuhkan glutamat sebagai substrat dan ATP, dan mengkatalisis reaksi ireversibel :



Nitrogen amido glutamin selanjutnya ditransfer ke 2-oxoglutarate (yang dihasilkan oleh siklus Krebs, yang akan kita bahas saat ini), dan mengurangi, membentuk dua mol glutamat:



Dalam beberapa spesies ganggang dan tumbuhan tingkat tinggi reaksi reduktif ini digabungkan ke ferredoxin daripada piridin nukleotida. Kedua GS dan GOGAT ditemukan di kloroplas, meskipun *isozymes* pada kedua enzim juga dapat dilokalisasi dalam sitosol. Dimanapun lokasi enzim, bagaimanapun juga glutamat harus diekspor dari kloroplas ke sitosol dimana reaksi transaminasi dapat dilanjutkan, sehingga memfasilitasi sintesis asam amoni lainnya.

#### 2.4 Manfaat Chlorella untuk kesehatan

Secara garis besar, chlorella sp terdiri dari 5 komponen utama yaitu dinding sel, klorofil, beta karoten, CGF, dan protein. Berikut diuraikan manfaat masing-masing komponen (Sargowo dan Ratnawati, 2005):

##### 1. Dinding sel

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

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

- Merangsang produksi sel-sel kekebalan saluran cerna sehingga tidak mudah terserang infeksi saluran cerna atau diare.

## 2. Klorofil

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

- Menghambat pertumbuhan bakteri jahat di dalam saluran cerna dan merangsang pertumbuhan bakteri yang berguna untuk pencernaan makanan sehingga tidak mudah sariawan dan diare.
- Bersifat deodoran, sehingga dapat mengurangi bau badan, bau mulut, bau nafas, juga bau yang berasal dari gas perut (flatulensi).
- Merangsang tumbuhnya fibroblast sehingga dapat mempercepat penyembuhan luka.
- Memperbaiki fungsi hati sehingga dapat menjalankan fungsi metabolisme makanan dan detoksifikasi racun.
- Merangsang pembentukan sel darah merah (eritrosit)
- Mencegah dan memperbaiki pengerasan pembuluh darah, untuk mencegah tekanan darah tinggi, penyakit reumatik dan jantung.
- Memperlancar aliran darah.
- Bersifat anti-proteolitik, untuk mencegah penyakit alergi, dan tumor atau kanker.
- Bersifat antioksidan sehingga dapat mengikat radikal bebas.

## 3. Beta karoten

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

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

#### 4. CGF (*Chlorella Growth Factor*)

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

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

#### 5. Protein

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

Tabel 2.3 Komposisi Biomassa *Chlorella vulgaris*.

Komponen		
Protein	g/100g	33-45
Lemak	g/100g	6.9-16.1
Air	g/100g	4-5
Klorofil	g/100g	0.7-2.7
Komponen		
Sumber Mineral	g/100g	6.5-10.5
Lipid	g/100g	6.5-12.5
Rohfaser	g/100g	6.6-7.5
Ballaststoffe	g/100g	27.1-32.5
Karbohidrat	g/100g	0.9-2

Mineral		
Kalsium	mg/100g	321-604
Magnesium	mg/100g	273-325
Seng	mg/100g	4-6
Besi	mg/100g	40-70
Kalium	mg/100g	1000-2900
Iodium	mg/100g	< 0.0005
Selenium	µg/100g	2-10
Vitamin:		
Betakaroten	mg/100g	3.3-11.2
Vitamin B1	mg/100g	0.5-1.0
Vitamin B2	mg/100g	3.2-3.8
Vitamin B6	mg/100g	0.3-3.7
Vitamin B12	mg/100g	0.2-1.0
Vitamin E	mg/100g	3.6-10.0
Vitamin C	mg/100g	13-20
Vitamin K1	mg/100g	0.2-0.8

(Sumber : [www.gtamart.com](http://www.gtamart.com))

## 6. Lipid

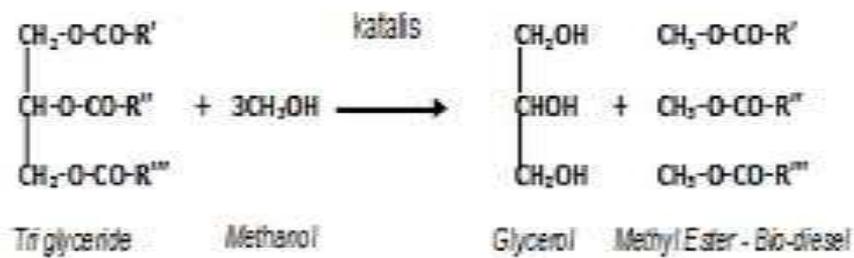
Lipid adalah senyawa organik yang diperoleh dari proses dehidrogenasi endotermal rangkaian hidrokarbon. Lipid bersifat amfifilik, artinya lipid mampu membentuk struktur seperti vesikel, liposom, atau membran lain dalam lingkungan basah. Lipid biologis seluruhnya atau sebagiannya berasal dari dua jenis subsatuan atau "blok bangunan" biokimia: gugus ketoasil dan gugus isoprena. Dengan menggunakan pendekatan ini, lipid dapat dibagi ke dalam delapan kategori: asam lemak, gliserolipid, gliserofosfolipid, sfingolipid,

sakarolipid, dan poliketida (diturunkan dari kondensasi subsatuan ketoasil); serta lipid sterol dan lipid prenol (diturunkan dari kondensasi subsatuan isoprena). Suatu molekul dikategorikan dalam lipid apabila :

- Mempunyai kelarutan yg rendah di dalam air
- Larut dalam pelarut organik (eter, kloroform)
- Terdiri dari C, H, O

*Chlorella sp.* memiliki berbagai jenis asam lemak bebas termasuk rantai-sedang asam lemak (C10-C14), rantai panjang asam lemak (C16-C18), dan rantai asam lemak yang lebih panjang (>C20). Akan tetapi pada kondisi tertentu, misalnya stres, beberapa jenis mikroalga akan mengubah jalur biosintetik lipidnya menjadi lemak-lemak netral (20- 50%) dan TGs. Umumnya komposisi asam lemak dari mikroalga merupakan campuran dari asam lemak tak jenuh (*unsaturated fatty acids*) seperti: Asam Palmitoleat (C16:1), Asam Oleat (C18:1), Asam Linoleat (C18:2) and Asam Linolenat (C18:3). Asam lemak-asam lemak jenuh seperti Asam Palmitat (C16:0) dan Asam Stearat (C18:0) juga ditemukan dalam jumlah kecil. Akan tetapi proses *freeze drying* yang umum dilakukan pada proses ekstraksi minyak dari mikroalga dapat merusak 5,8,11,14-*Eicosatetraenoic (Arachidonic Acid C20:4)* (Orchidea, 2010). Menurut penelitian Lee (2010), 28 persentase *fatty acid* terbesar yang dimiliki oleh *Chlorella sp.* yaitu C18:2 sebesar 79.4% dan C18:1 sebesar 16.3%.

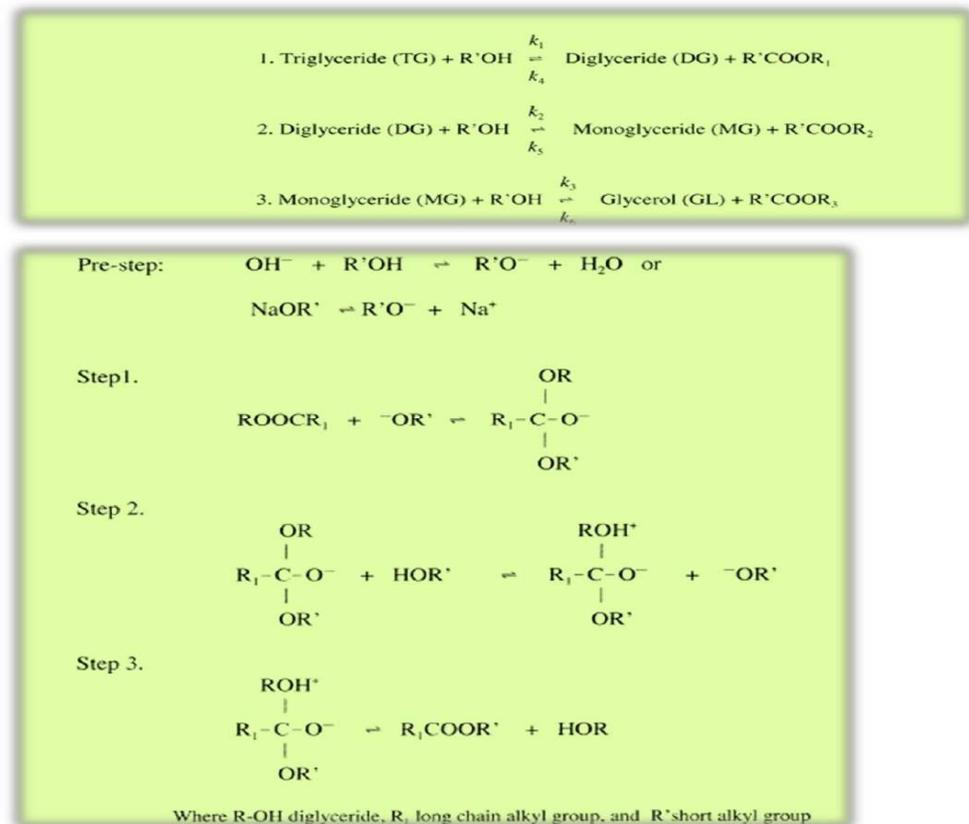
Oleh karena kandungan esensial diatas, maka *Chlorella vulgaris* merupakan potensi sumber bahan baku untuk proses sintesis biodiesel. Biodiesel dihasilkan dari proses transesterifikasi. Transesterifikasi (disebut juga alkoholisis) adalah antara lemak atau minyak nabati dengan alkohol untuk membentuk ester dan gliserol. Reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metal ester dapat dilihat pada gambar 2.10



Gambar 2.10 Reaksi Transesterifikasi dari trigliserida dengan alkohol  
(Surendro, 2010)

Transesterifikasi terdiri dari beberapa reaksi reversibel. Trigliserida akan diubah menjadi digliserida, kemudian direaksikan menjadi monogliserida dan gliserol. Menurut Eckey, mekanisme reaksi esterifikasi dibagi menjadi tiga tahap :

1. Tahap pertama, yaitu penyerangan gugus karbonil dari molekul trigliserida oleh anion alkohol (ion metoksida) untuk membentuk *intermediate tetrahedral*
2. Tahap kedua, yaitu reaksi antara alkohol dengan *intermediate* untuk meregenerasi anion alkohol (ion metoksida)
3. Tahap ketiga, yaitu penyusunan kembali ester asam lemak dan gliserida



Gambar 2.11 Tahapan reaksi transesterifikasi

<http://www.scribd.com/doc/35909452/Partial-Hydrogenation-Reaction-to-Increase-Oxidative-Stability-of-Biodiesel>

## 7. B 12

Vitamin B12 memiliki struktur *chemical* paling kompleks dari semua vitamin, dan tidak tersedia dalam makanan. Hal ini ditemukan dalam jumlah yang besar di hati sapi dan daging otot dan dalam jumlah yang lebih kecil dalam susu dan keju. *Chlorella* merupakan sumber yang dapat dipercaya B12, karena memiliki lebih banyak vitamin daripada hati. Satu sendok makan *chlorella* menyediakan 333 persen dari B12 RDA untuk orang dewasa. Hal ini merupakan berita baik untuk vegetarian murni (vegan), yang sering kekurangan B12 dan oleh karena itu mengalami pengembangan *pernicious anemia*. Selain itu, B12 dengan asam folat berfungsi dalam menjaga sel-sel sehat, dan jumlah yang cukup dari nutrisi meningkatkan rasa kesejahteraan. Dr Anthony Helmen dan rekan-rekannya di *University of Sydney* di Australia meneliti 60 pria dan 60 wanita yang telah menjadi vegetarian. Ditemukan bahwa 5

persen dari laki-laki dan 27 persen dari wanita kekurangan zat besi, dan bahwa semua relawan telah batas tingkat rendah vitamin B12.

## **2.5 Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga *Chlorella* sp. pada medium terbatas**

Organisme *autotrophic* seperti mikroalga hijau *Chlorella* sp. membutuhkan cahaya, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, nutrien, dan *trace* element untuk pertumbuhannya ([www.nhm.ac.uk](http://www.nhm.ac.uk)). Berikut akan diuraikan beberapa faktor lain yang berhubungan dengan hal-hal tersebut yang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan mikroalga hijau *Chlorella* sp. pada medium terbatas. (Wirosaputro, 2002)

### **2.5.1 Jenis medium**

Ada banyak jenis medium yang dapat digunakan sebagai medium hidup mikroalga hijau *Chlorella* sp., seperti N-8 Medium, Beneck, BG-11, M4N, ASN III, MN Medium, Fitzgerald Medium, dan lain sebagainya. Semua jenis medium yang telah disebutkan diatas, memiliki kandungan unsur hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroalga hijau *Chlorella* sp. menurut Smith (1950), secara garis besar terbagi dua, yaitu unsur hara mikro dan unsur hara makro. Unsur hara makro terdiri dari N, P, K, S, Na, Si, dan Ca. Sedangkan unsur hara mikro terdiri dari Fe, Zn, Mn, Cu, Mg, Mo, Co, B, dan lainnya. Setiap unsur hara memiliki fungsi khusus, seperti N, P, dan S berfungsi untuk pembentukan protein, sedangkan Na dan Fe untuk pembentukan klorofil dan sebagainya. Faktor jenis medium ini memiliki pengaruh cukup penting, karena masing-masing jenis medium memiliki kelebihan-kelebihan tersendiri pada kandungan unsur hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroalga hijau *Chlorella* sp. oleh karena itu, laju pertumbuhan mikroalga hijau *Chlorella* sp. akan berbeda-beda untuk setiap jenis medium yang digunakan ([www.nhm.ac.uk](http://www.nhm.ac.uk)).

### **2.5.2 Pencahayaan**

Cahaya merupakan faktor utama yang mempunyai peranan penting untuk pertumbuhan mikroalga hijau *Chlorella* sp. untuk melakukan fotosintesis berkisar

antara 2-3 klux. Cahaya lampu yang diperlukan oleh mikroalga hijau *Chlorella* sp. dapat diganti dengan lampu TL (Wirosaputro, 2002).

Faktor pencahayaan terbagi menjadi tiga bagian, yaitu pencahayaan secara kontinu, gelap terang (fotoperiodesitas), dan alterasi. Sebenarnya faktor pencahayaan ini juga dapat dibagi lagi menjadi pencahayaan dengan panjang gelombang tertentu dan pencahayaan dengan intensitas tertentu. Tetapi pada kesempatan ini bagian yang akan dibahas mengenai pencahayaan dengan intensitas tertentu.

### **2.5.3 Pencahayaan kontinu**

Pencahayaan kontinu adalah *Chlorella* sp. diiluminasi dengan cahaya tampak (370-900 nm) secara terus menerus sampai mencapai fase stasionernya. Dimana menurut penelitian yang sudah dilakukan, perlakuan ini memberikan hasil laku pertumbuhan yang tinggi dibandingkan dengan perlakuan pencahayaan gelap terang.

### **2.5.4 Terang gelap (Fotoperiodesitas)**

Pencahayaan terang gelap adalah *Chlorella* sp. diiluminasi dengan cahaya tampak (370-900 nm) dengan mengatur kondisi terang selama 8 jam dan kondisi gelap selama 6 jam, seperti kondisi alami (periode cahaya matahari). Dari penelitian yang telah dilakukan, perlakuan ini memberikan efisiensi cahaya yang lebih besar dibandingkan dengan pencahayaan kontinu, namun laju pertumbuhannya masih dibawah iluminasi kontinu.

### **2.5.5 Alterasi**

Alterasi adalah perubahan perlakuan pencahayaan kontinu dengan memberikan intensitas makin tinggi seiring dengan penambahan jumlah sel dari *Chlorella* sp. Dari penelitian-penelitian sebelumnya diketahui bahwa semakin banyak jumlah sel biomassa dari *Chlorella* sp. maka kultur akan semakin pekat, sehingga cahaya yang diberikan tidak lagi diterima secara merata oleh semua sel (hanya terbatas oleh sel yang ada di depan sumber cahaya). Oleh karena itu perlu dilakukan peningkatan intensitas cahaya agar cahaya dapat masuk dan diterima oleh sel sampai sel yang berada paling akhir pada kultur. Usaha ini telah dibuktikan dapat meningkatkan laju pertumbuhan optimal dan menghasilkan

biomassa dengan jumlah yang lebih tinggi dibandingkan dengan pencahayaan kontinu tanpa alterasi pada *Cyanobacterium A. Cylindrica* (Wijanarko, A, 2003).

## 2.6 Inhibitor Substansi

Zat yang dapat bertindak sebagai penghambat pada fotosintesis dan pertumbuhan alga jika ada dalam konsentrasi terlalu tinggi. Contoh zat-zat tersebut adalah logam berat, herbisida, pestisida, zat dalam deterjen, produk pembersih rumah tangga dan produk perawatan pribadi. Konsentrasi tinggi amonia bertindak sebagai penghambat atas pertumbuhan alga pada pH tinggi, dan toksisitas ini diintensifkan pada suhu yang lebih tinggi ketika proporsi yang lebih tinggi dari amonia terjadi sehingga amonia bebas dapat dengan bebas menyebar lewat membran ke dalam sel. Seperti yang sudah disebutkan, konsentrasi amonium total tidak seharusnya melebihi 20 mg  $\text{NH}_4^+$ . Terlalu tinggi tingkat senyawa organik, dapat menghambat serapan hara oleh mikroalga, dan asetat dapat menjadi racun bagi beberapa spesies, karena tidak terionisasinya molekul, yang dapat menembus membran sel dan kerusakan di dalam sel oleh ionisasi. Beberapa ganggang juga menghasilkan zat-zat beracun untuk diri mereka sendiri dalam perjalanan metabolisme mereka. Ini akhirnya terakumulasi konsentrasi cukup tinggi untuk menghambat pertumbuhan; fenomena yang disebut *autoinhibition*.

## 2.7 Jenis Fotobioreaktor

Pemilihan desain dari sebuah fotobioreaktor akan sangat mudah mempengaruhi produksi dan efisiensi keseluruhan untuk memproduksi mikroorganisme yang berbasiskan produk. Dikarenakan sistem terbuka biasanya memiliki produktivitas yang kecil, sehingga untuk skala industri banyak digunakan sistem tertutup seperti tubular fotobioreaktor (*biocoil*, *biofence*, *ultrathin sheet*) (Gunther, 2000).

Ada beberapa jenis fotobioreaktor yang sering digunakan dalam kultivasi mikroorganisme, yaitu :

- *Tubular* fotobioreaktor

- *Conical* fotobioraktor
- *Plat-type* fotobioreaktor
- *Bubble column* fotobioreaktor

Jenis dari fotobioreaktor tersebut dibedakan berdasarkan bentuknya, *flow regime*, efisiensi energi cahaya, dan luas permukaan kontakannya.

### **2.7.1. Jenis Kolom Gelembung**

Kolom gelembung adalah salah satu alat yang berfungsi sebagai alat kontak antara fasa gas dan fasa cair. Prinsip kerja alat ini cukup sederhana, yaitu fasa gas naik ke atas sebagai gelembung-gelembung gas melalui aliran searah atau berlawanan arah terhadap fasa cair yang kontinyu. Kolom gelembung juga dapat berfungsi sebagai reaktor kimia. Di industri-industri seperti industri kimia dan petrokimia, kolom gelembung telah meluas digunakan sebagai suatu alat tempat berlangsungnya proses perpindahan massa gas ke dalam fasa cair. Keuntungan kolom gelembung diantaranya adalah sederhana dalam desain, mudah dalam pengoperasian dan pemeliharaan alat. Pencampuran yang terjadi antara gas-cairan diperoleh sendiri dari gerakan-gerakan gelembung gas sehingga dengan demikian tidak diperlukan lagi alat pengaduk.

## **2.8 Perpindahan Massa Fasa Gas ke dalam Fasa Cair di Dalam Kolom Gelembung**

Secara skematik proses perpindahan massa yang berlangsung di dalam kolom gelembung (aliran fluida searah dari bawah ke atas) dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Pada gambar tersebut, yang dipandang sebagai sistem adalah fluida cairnya sedangkan fluida gasnya masuk dari luar ke dalam zat cair. Gambar tersebut juga jelas menunjukkan adanya peristiwa perpindahan massa dari fasa gas ke fasa cair. Kontak antara fasa gas dan fasa cair yang berlangsung cukup lama dan adanya gaya pendorong menyebabkan terjadinya perpindahan massa tersebut.

### **2.8.1 Koefisien Perpindahan Massa Fasa Cair**

Koefisien perpindahan massa fasa cair ( $K_{La}$ ) adalah suatu besaran yang menyatakan banyaknya massa gas yang berpindah/terlarut ke dalam fasa cair per

satuan waktu. Perpindahan massa di dalam kolom gelembung dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti berikut :

a. Kecepatan Superfisial gas

Kenaikan kecepatan superfisial gas akan meningkatkan harga  $K_{La}$ . Biasanya peningkatan harga  $K_{La}$  adalah kira-kira secara linier terhadap kenaikan kecepatan superfisial gas. Dengan meningkatnya kecepatan superfisial gas, maka energi kinetik fasa gas makin bertambah sehingga memperbesar massa gas yang dapat terlarut dalam fasa cair.

b. Kecepatan superfisial fasa cair

Sebagian pakar menyimpulkan dari hasil penelitian mereka bahwa kecepatan superfisial cairan tidak mempengaruhi harga  $K_{La}$ , sebagian lagi menyimpulkan bahwa sampai pada kecepatan superfisial tertentu akan menurunkan harga  $K_{La}$  karena waktu tinggal fasa cair dalam kolom berkurang, dan mulai kecepatan tertentu akan kembali menaikkan harga  $K_{La}$  akibat efek turbulensi dari aliran fasa cair.

c. Ukuran gelembung gas

Hal ini ada kaitannya dengan distributor gas (*gas spargers*) yang digunakan, sehingga menghasilkan *gas hold up* yang berbeda dengan distribusi ukuran gelembung gas yang berbeda pula. Untuk ukuran gelembung yang kecil, akan cenderung meningkatkan harga  $K_{La}$  karena luas antarmuka yang makin meningkat. Ukuran gelembung juga dipengaruhi oleh sifat-sifat fisik fluida.

d. Konsentrasi elektrolit

Bila konsentrasi elektrolit dalam fasa cair bertambah maka harga  $K_{La}$  akan menurun. Hal ini dapat diterangkan dengan mengasumsikan adanya *electric double layer* pada permukaan gas-cair sehingga meningkatkan tegangan antar permukaan yang membuat perpindahan massa antar permukaan lebih sulit.

e. Temperatur Sistem

Kelarutan gas dalam fasa cair umumnya akan berkurang dengan naiknya temperatur sistem. Ini berarti kenaikan temperatur pada sistem gas-cair umumnya akan menurunkan harga  $K_{La}$ .

## 2.9 Proses Biologis untuk Pengolahan Air Limbah Domestik

Didalam proses pengolahan air limbah khususnya yang mengandung polutan senyawa organik, teknologi yang digunakan sebagian besar menggunakan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa polutan organik tersebut. Proses pengolahan limbah dengan aktivitas mikroorganisme biasa disebut dengan "proses biologis".

Proses pengolahan limbah secara biologis tersebut dilakukan pada kondisi aerob (dengan udara) dan anaerob (tanpa udara) atau kombinasi aerob dan anaerob. Proses biologis aerobik biasanya digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang tidak terlalu besar ( $< 3000$  ppm) sedangkan proses anaerobik digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD sangat tinggi ( $> 3000$  ppm).

Pengolahan air limbah secara biologis secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga, yakni

1. Proses biologis dengan biakan tersuspensi (*suspended culture*)

Merupakan sistem pengolahan dengan menggunakan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa polutan yang ada dalam air dan mikroorganisme yang dibiakkan secara tersuspensi didalam reaktor. Contoh sistem ini antara lain : proses lumpur aktif standard atau konvensional (*standard activated sludge*), *step aeration*, *contact stabilization*, *extended aeration*, *oxidation ditch*, dan lainnya.

2. Proses biologis dengan biakan melekat (*attached culture*)

Merupakan pengolahan limbah dimana mikroorganisme yang dibiakkan pada suatu media sehingga mikroorganisme tersebut melekat pada suatu media. Proses ini disebut juga proses *biofilm*. Contohnya adalah *rotating biological contactor* (RBC), *contact aeration/oxidation*, dan lainnya.

3. Proses pengolahan dengan sistem lagoon atau kolam.

Proses pengolahan air limbah secara biologis dengan lagoon atau kolam adalah dengan menampung air limbah pada suatu kolam yang luas dengan waktu tinggal yang cukup lama, sehingga aktivitas mikroorganisme tumbuh

secara alami. Contohnya antara lain : kolam aerasi atau kolam stabilisasi (*stabilization pond*)

Tabel 2.4 Komposisi Air Limbah Domestik Jakarta

No	Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu
1	BOD	mg/l	27.61 - 190.59	50
2	COD	mg/l	138.68 - 591.24	80
3	(KMNO <sub>4</sub> )	mg/l	64.6 - 256.49	85
No	Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu
4	Amoniak (NH <sub>3</sub> )	mg/l	12.5 – 63.62	10
5	pH	mg/l	6.06 – 6.99	6 – 9
6	Minyak dan lemak	mg/l	0.8 – 12.7	10

Sumber: BPPT, 2010; Peraturan Pemerintah DKI Jakarta no. 122 tahun 1995

Sedangkan baku mutu limbah cair domestik yang ditetapkan oleh Menteri Negara Lingkungan Hidup dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.5 Baku Mutu Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 - 9
BOD	mg/l	100
TSS	mg/l	100
Minyak dan Lemak	mg/l	10

Sumber: Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup no. 112 tahun 2003

### 2.9.1 Parameter Limbah Cair dan Karakteristiknya

Adapun parameter terkait limbah domestik adalah sebagai berikut

- BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

Adalah konsentrasi senyawa organik terlarut yang bisa didegradasi oleh mikroba dan dinyatakan dalam ukuran pemanfaatan oksigen oleh mikroba untuk mendegradasi material organik yang ada di limbah cair. Senyawa BOD jika dibuang ke perairan akan mengkonsumsi oksigen terlarut di air yang dapat menimbulkan kondisi septik (DO kecil) yang berbahaya bagi perikanan dan menimbulkan bau.

- COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Adalah konsentrasi senyawa organik dalam air yang dapat dioksidasi secara kimia menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  oleh zat pengoksidasi kuat. Semua senyawa organik yang tergolong BOD bisa dioksidasi secara kimia oleh zat pengoksidasi kuat.

- Derajat Keasaman (pH)

Adalah ukuran konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dalam larutan. Skala pH biasanya menunjukkan antara 1 sampai 14. Pengaturan pH sangat penting dalam pengolahan limbah cair karena aktivitas mikroorganisme hanya optimum pada selang pH tertentu, demikian juga dalam pengolahan secara fisika/kimia, reaksi dalam proses pengendapan hanya optimum pada selang pH tertentu. Jika di perairan pH asam atau alkali, akan mengganggu sistem buffer pH dan mengganggu keseimbangan ekologi.

- Nitrogen

Dalam air limbah, nitrogen dapat terjadi dalam 4 bentuk, organik nitrogen, amonia, nitrit dan nitrat. Organik nitrogen dalam pengolahan air akan diubah menjadi amonia dan seterusnya diubah menjadi nitrit lalu diubah menjadi nitrat jika kondisi proses dan aktivitas mikroba memungkinkan. Kandungan nitrogen total sering dinyatakan sebagai TKN (*Total Kjeldahl Nitrogen*). Jumlah nitrogen yang berlebihan di perairan akan menimbulkan pertumbuhan mikroba yang tidak terkendali.

- Phosphorus

Senyawa *phosphorus* merupakan elemen penting dalam pertumbuhan mikroba dan reproduksi. Jumlah phosphorus yang berlebihan di perairan akan menimbulkan pertumbuhan ganggang yang tidak terkendali.

### 2.10 State of The Art

Berikut ini adalah rangkuman penelitian yang telah dilakukan di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia yang bertujuan untuk meningkatkan produksi biomassa dan kandungan pada *Chlorella vulgaris*. Adapun teknik-teknik peningkatan yang telah diteliti dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.6 Road Map Penelitian

Peneliti (tahun)	Fokus Penelitian					
	Sumber Karbon	Kandungan Esensial	CO <sub>2</sub> Tidak Kontinyu	Uji Kandungan	Medium Kultivasi	CO <sub>2</sub> Kontinyu
Yeoung sang Yun et al (1997)					Fiksasi CO <sub>2</sub> oleh alga dengan memanfaatkan nutrisi limbah	
S. Nandini (2004)			Sumber dari udara (CO <sub>2</sub> )			
Woertz et al (2008)		Produksi lipid dari medium limbah				
Senthil et al (2009)						Pengaruh konsentrasi CO <sub>2</sub>
Cynthia herdiana (2011)				Teknik pemecahan dinding sel pada ekstraksi lipid		
Nia (2011)					Limbah domestik	

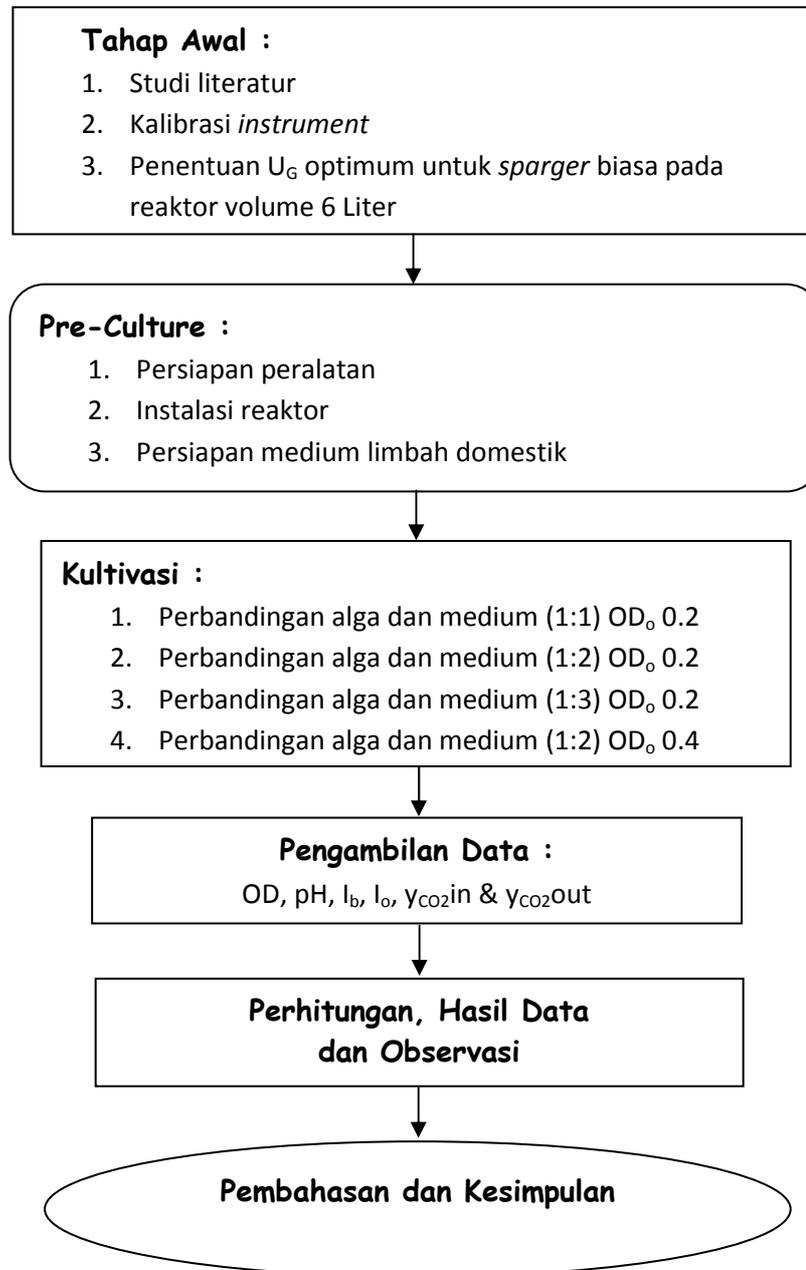
Pada penelitian sebelumnya (Nia, 2011) membahas tentang peranan *Chlorella vulgaris* dalam pengelolaan lingkungan dengan menurunkan kandungan nitrogen amonia pada air limbah domestik sebesar 86.6 % (konsentrasi amonia awal adalah 13.1 mg/l). Hal ini disebabkan karena *Chlorella vulgaris* lebih menyukai amonia sebagai sumber nitrogen daripada karbon yang tersedia (tanpa *extra* sumber karbon/tanpa supply CO<sub>2</sub>).

Di sisi lain, penurunan amonia menyebabkan peningkatan pertumbuhan *Chlorella vulgaris* (berdasarkan nilai optikal densitas) hingga mencapai 0.795 (optikal densitas awal adalah 0.438) pada jam ke-52 dengan hasil lipid diperoleh sebesar 56.18 % pada jam ke 48 (potensi biodiesel). Oleh karena itu, hasil peningkatan biomassa yang diikuti juga dengan peningkatan lipid, dapat dijadikan kajian lebih lanjut pada penelitian sekarang dengan penambahan CO<sub>2</sub> sebagai tambahan sumber karbon (*inorganic carbon*).

## BAB III METODE PENELITIAN

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

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir Penelitian

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

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

Pada penelitian ini akan digunakan peralatan-peralatan sebagai berikut :

1. Satu buah fotobioreaktor dengan volume total 6 dm<sup>3</sup> dengan bahan dasar kaca transparan yang dilengkapi dengan aliran *input* dan *output* gas dan udara yang mengandung CO<sub>2</sub>.
2. *Air Flow* kapasitas 140 L/m merek resun LP-100
3. Tabung CO<sub>2</sub> yang dilengkapi dengan regulator
4. Flowmeter udara dan flowmeter CO<sub>2</sub>
5. Lampu Philips Halogen 20W/12V/50Hz (sebagai sumber pencahayaan) dan transformator 220 V primer/12 V sekunder.
6. T-septum yang terbuat dari bahan gelas (sebagai titik indikator konsentrasi CO<sub>2</sub> input fotobioreaktor).
7. Peralatan *glassware* yang terdiri dari Erlenmeyer 100 cm<sup>3</sup> (sebagai discharge gas CO<sub>2</sub> dan udara output fotobioreaktor), pipet ukur 5 cm<sup>3</sup>, pipet *Pasteur*, gelas ukur 10 cm<sup>3</sup> dan 100 cm<sup>3</sup> botol sampel sel dan *beaker glass* 20 cm<sup>3</sup> dan 100 cm<sup>3</sup>.
8. Selang silikon dan selang plastik (sebagai rangkaian peralatan dan konektor rangkaian).
9. Syringe 1001 RT Hamilton 1 cm<sup>3</sup> (*inlet-outlet*)(untuk mengambil sampel dari *input* dan *output* CO<sub>2</sub>)
10. Set *Lightmeter* LT lutron LX-107 (sebagai penghitung kekuatan intensitas cahaya, dengan satuan Lx ataupun *Foot-Candle*).
11. pH meter HANNA Model HI 8014 dan WTW *Wissenschaftlich* Multi 340i/SET
12. *Spectro UV-VIS RS Spectrometer*, LaboMed. Inc (untuk menghitung OD/absorbansi pada 600 nm).
13. Unit Gas *Chromatography* TCD Shimadzu GC-8A (untuk mengukur konsentrasi gas CO<sub>2</sub> input dan output fotobioreaktor), *Recorder* C-R6A Chromatopac (untuk mendapatkan *print out* dari hasil GC), tabung gas (*carrier gas*) Helium.

Sedangkan untuk bahan penelitian yang digunakan adalah :

1. *Starter* mikroalga hijau *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan usia  $\pm$  60 jam yang telah dihitung kerapatannya (berat kering/volume) dengan menggunakan spektrofotometer pada 600 nm.
2.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$  untuk membuat medium *Benneck*
3. *Aquadest* (sebagai bahan medium dan mencuci alat seperti gelas, pipet ukur dan lain-lain)
4. Limbah *domestic* yang berasal dari *septic tank* Gedung A asrama putri Universitas Indonesia

### **3.3 Variabel Penelitian**

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

#### **3.3.1. Variabel Bebas**

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

#### **3.3.2. Variabel Terikat**

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

#### **3.3.3. Variabel Tetap**

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

### **3.4 Prosedur Penelitian**

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

### 3.4.1. Studi Literatur

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

### 3.4.2. Persiapan Peralatan dan Medium

Peralatan seperti fotobioreaktor kolom gelembung (aquarium), filter udara, filter biomassa, *sparger*, dan media *Benneck* yang akan digunakan disterilisasi terlebih dahulu dalam panci bertekanan tinggi dalam selang waktu 1-2 jam.

#### a) Pembuatan Rangkaian Peralatan

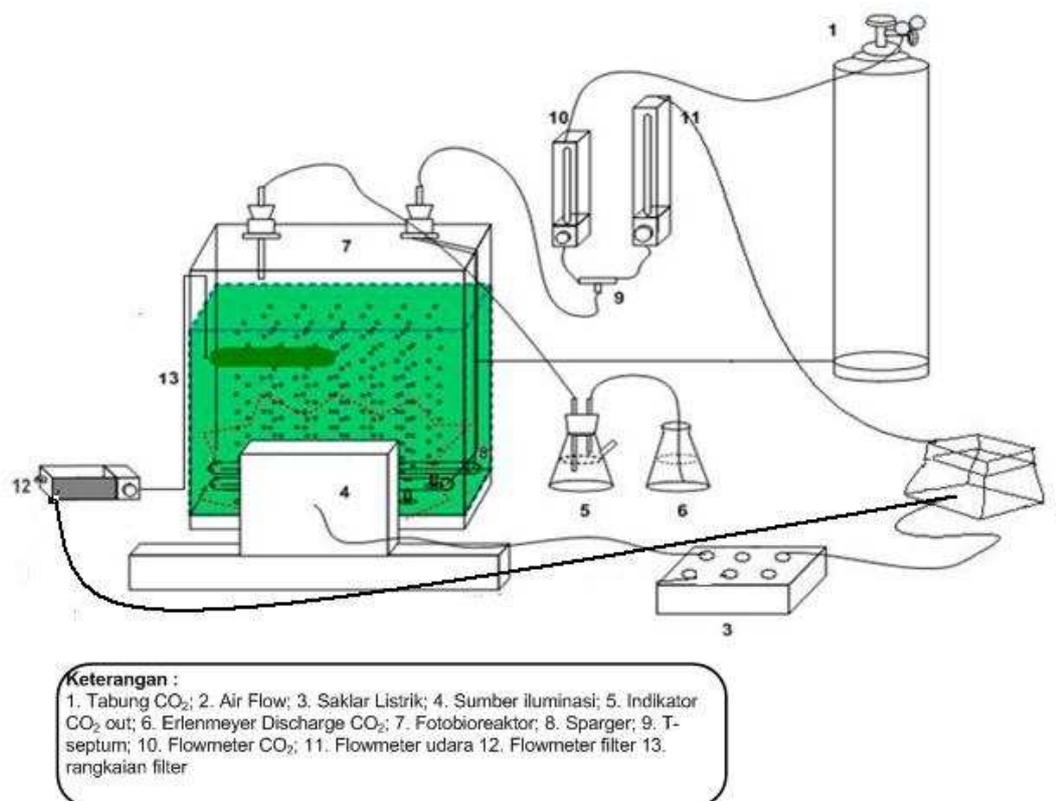
Reaktor yang berukuran 6 L dirangkai seperti pada gambar skema alat penelitian. Reaktor yang digunakan dihitung nilai  $\alpha_{\text{kaca}}$ -nya sebagai fungsi dari intensitas. Nilai  $\alpha_{\text{kaca}}$  ini digunakan untuk mengetahui hambatan cahaya dari reaktor dikarenakan ukurannya dan tebalnya yang berbeda-beda sehingga pada perhitungan dapat diketahui jumlah cahaya yang digunakan mikroalga untuk pertumbuhannya dengan tepat.

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

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

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

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



**Gambar 3.2.** Skema Alat Penelitian

b) Sterilisasi Peralatan

Sebelum digunakan, seluruh peralatan untuk riset dibersihkan terlebih dahulu kemudian dikeringkan langsung dengan *Chlorella* dibersihkan terlebih dahulu untuk meminimalisir kontaminan yang menjadi inhibitor pertumbuhan *Chlorella*.

Langkah-langkah sterilisasi alat :

1. Pencucian Alat

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

2. Pengeringan

Peralatan yang telah dicuci kemudian dibilas sampai bersih, selanjutnya dikeringkan menggunakan tisu kering atau dengan kompresor udara. Kemudian semua peralatan kaca yang memiliki rongga ditutup dengan *aluminium foil* untuk mencegah masuknya kontaminan setelah dibersihkan.

### 3. Penyimpanan

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

#### c). Pembuatan Medium *Benneck*

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

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

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

Pertimbangan penggunaan medium ini antara lain karena stok *Chlorella vulgaris* Buitenzorg murni yang didapat dengan menggunakan medium ini mudah dibuat. Hal lain yang menjadi pertimbangan adalah kandungan nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg terdapat pada medium ini. Penggunaan medium ini juga mengacu pada hasil riset-riset sebelumnya yang menggunakan medium ini dan cukup baik untuk digunakan sebagai media hidup *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.

Cara membuat satu liter medium :

1. Menyiapkan bahan-bahan di atas : MgSO<sub>4</sub> 100 mg, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 200 mg, NaNO<sub>3</sub> 500 mg, FeCl<sub>3</sub> 3-5 mg. Lalu keempat bahan tersebut dilarutkan dalam 1 dm<sup>3</sup> aquadest, diaduk sampai seluruh bahan larut.
2. Medium disterilisasi menggunakan *autoclave* selama ±1,5 jam, lalu didinginkan. Lakukan pemanasan sebanyak ±3 kali untuk memastikan medium benar-benar steril. Cara membuka *autoclave* harus menunggu suhu dan tekanan *autoclave* turun agar tidak berbahaya.
3. Medium yang telah steril dan dingin dapat disimpan dalam lemari yang telah disterilisasi dengan UV atau lemari pendingin bila tidak langsung

digunakan. Apabila terdapat endapan pada dasar medium, harus dipisahkan terlebih dahulu sebelum disimpan.

Setelah memperoleh stok *Chlorella vulgaris* dalam jumlah yang banyak, kemudian *Chlorella vulgaris* dibiakkan di media limbah agar mampu beradaptasi hidup dan bertumbuh pada saat kultivasi selama 200 jam dengan menggunakan medium limbah domestik.

### 3.4.3 Pembiakan Kultur *Chlorella vulgaris* dalam Medium *Benneck*

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

Cara pembiakan medium kultur murni :

1. Menyiapkan medium serta peralatan pembiakan (wadah, selang udara, tutup wadah) lalu disterilkan terlebih dahulu.
2. *Stock* murni *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dimasukkan kedalam wadah bersih dan dicampur dengan medium *Benneck*. Perbandingan antara jumlah *stock Chlorella* dengan medium dapat diatur sesuai kebutuhan riset. Pindahan ini harus dijaga tetap bersih agar meminimalisasi kontaminan. Lalu medium kultur tersebut di-*bubbling* dengan menggunakan kompresor udara. Pada tahap ini juga harus diberikan cahaya namun dengan intensitas  $\pm 5000$  lx.
3. Pembiakan dapat dilakukan selama satu minggu atau lebih bila bertujuan untuk memperbanyak stok yang ada, tetapi jika hanya untuk melewati *lag time* dapat dilakukan selama 2-3 hari atau  $\pm 60$  jam, tergantung jumlah selnya.

#### 3.4.4. Penentuan Kerapatan Biomassa Inokulum *Chlorella vulgaris*

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

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

#### 3.4.5. Pelaksanaan Kegiatan Riset

Pada eksperimen kali ini dilakukan dengan cara menyaipkan stok *chlorella vulgaris* atau alga yang sudah dibiakkan dengan menggunakan limbah domestik. Volume alga yang ditambahkan masing-masing sesuai dengan variasi OD awal dan perbandingan atau rasio alga dan media yang telah ditentukan dari diagram alir penelitian.

Untuk perbandingan volume alga dan media 1:2 dengan OD awal 0.2 dan 0.4 dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan besarnya biomassa yang diperoleh dengan OD awal yang berbeda namun rasio alga dan media tetap. Sedangkan untuk OD awal yang sama (OD awal adalah 0.2) namun rasio volume alga dan media limbah yang berbeda (1:1; 1:2; 1:3) dengan tujuan untuk mengetahui ketahanan atau kemampuan alga beradaptasi pada lingkungan dan dilihat juga peningkatan biomasanya.

Setelah alga ditambahkan kedalam media limbah sesuai dengan variasinya, udara dan CO<sub>2</sub> dialirkan atau *di bubbling* secara merata dengan menggunakan *sparger* biasa pada laju alir 4 liter/menit untuk udara dan untuk 5% dari laju udara

untuk laju CO<sub>2</sub>. Sedangkan untuk proses fotosintesis, diberikan cahaya sebesar ± 5000 lux.

### 3.4.6. Pengambilan Data

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

- pH kultur media dalam fotobioreaktor
- Intensitas cahaya dibalik reaktor/I<sub>b</sub> (Lx)
- Kerapatan biomassa dalam kultur media dalam fotobioreaktor (g/L)
- Kerapatan biomassa yang terperangkap dalam filter (g/L)
- Konsentrasi gas CO<sub>2</sub> dalam udara input dan output (y<sub>CO<sub>2</sub></sub>)
- Lipid total dan biomassa

Perhitungan total lipid dan biomassa dilakukan dengan menggunakan 10 ml sampel untuk masing-masing lipid dan biomassa. Biomassa dihitung dengan menggunakan metode *centrifuge* sampel sampai didapat endapan. Endapan yang didapatkan kemudian dikeringkan dengan Oven pada suhu 105 °C sampai airnya menguap kemudian ditimbang. Lipid *chlorella vulgaris* didapatkan dengan metode *centrifuge* sampai diperoleh endapan. Endapan yang diperoleh tersebut kemudian ditambahkan dengan 1 ml kloroform dan 2 ml metanol kemudian divorteks. Setelah sampel tercampur merata lalu ditambahkan 1 ml kloroform dan 1 ml air kemudian divorteks kembali. Sampel yang telah selesai divortex disentrifus kembali sampai didapatkan tiga lapisan, dengan menggunakan pipet tetes ambil lipidnya dan keringkan diruang asam kemudian ditimbang. Total lipid dihitung dengan rumus:

$$\% \text{ lipid} = \frac{\text{Berat residu lipid}}{\text{Berat kering sel}} \times 100\%$$

Langkah-langkah pengambilan data :

1. Sampel diambil dari kultur media dalam reaktor untuk diukur kerapatan biomassa dalam kultur media/absorbansinya (X/OD) bersamaan dengan mengambil nilai pH, konsentrasi gas CO<sub>2</sub> dalam udara input dan output (y<sub>CO<sub>2</sub></sub>) dan intensitas cahaya yang ditransmisikan ke belakang reaktor (I<sub>b</sub>).

2. Bersamaan dengan perlakuan di atas, biomassa yang terperangkap dalam filter juga diambil dengan cara memindahkannya dari media kultur ke dalam wadah berisi medium Benneck melalui proses pemerasan sebelum diukur kerapatan biomassa dalam kultur media/absorbansinya (X/OD) dari media kultur tersebut.
3. Langkah-langkah pengambilan data diulangi setiap interval waktu yang telah ditetapkan (untuk sampel dari media kultur, selama 6 jam sekali).

### 3.4.7. Pengolahan Data Penelitian

Variabel penelitian yang diambil yaitu OD<sub>600</sub>, pH dan I<sub>b</sub> akan diolah menggunakan beberapa metode perhitungan, antara lain :

#### a) Pengolahan Data OD<sub>600</sub>

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

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

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

dimana :

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

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

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

t = waktu (h)

## b) Pengolahan Data pH

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

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

Dimana :

$P_T$  = tekanan operasi (atm)

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

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

$H_{CO_2}$  = 2900 KPa/mol

$T$  = temperatur operasi

$T_0$  = temperatur standar

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

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

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

dimana :

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

$\Delta y_{CO_2}$  = selisih antara konsentrasi  $CO_2$  pada gas keluaran dan gas masukan bioreaktor tembus cahaya

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

Dalam penelitian ini :

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

$$\alpha_{CO_2} = \frac{85.8 \text{ dm/h} \cdot 3,2824 \text{ dm}^2 \cdot 44 \text{ g/mol} \cdot 1 \text{ atm}}{6 \text{ dm}^3 \cdot 0,082 \text{ L atm/mol}^\circ\text{K} \cdot 302^\circ\text{K}}$$

$$\alpha_{CO_2} = 83.4 \text{ g/dm}^3 \cdot \text{h}$$

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

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

d) Pengolahan Data I

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

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

Sedangkan total energi cahaya yang terserap selama kultivasi adalah :

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

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

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

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

t = waktu (jam)

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

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

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

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

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

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

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

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

#### **4.1. Pembahasan Umum**

Pada penelitian ini, mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dikultivasi dalam sebuah fotobioreaktor kolom gelembung volume 6 Liter dengan reaktor didesain memiliki ukuran yang sangat tipis, hal ini bertujuan untuk membantu cahaya mudah tembus hingga ke belakang reaktor dan menghindari terjadinya *self-shading* (peristiwa penutupan satu sel oleh sel lain yang menyebabkan tidak meratanya cahaya dan CO<sub>2</sub> yang didapatkan oleh alga) saat kultur sudah semakin padat. Penggunaan kolom gelembung tembus cahaya dilakukan karena kolom ini merupakan peralatan yang sesuai untuk budidaya mikroorganisme fotosintesa karena maksimalisasi peningkatan produksi dan penyediaan cahaya yang secara simultan memberikan laju produksi volumetrik yang tinggi dapat dilakukan pada reaktor ini (Wijanarko, 2006).

Media kultivasi yang digunakan adalah media dengan memanfaatkan limbah domestik sebagai media kultur. Media ini digunakan sebagai pengganti media *Benneck* yang biasanya digunakan. Pemilihan media limbah domestik sebagai pengganti media *Benneck* disebabkan karena pada media limbah mengandung substrat yang dapat dijadikan sebagai salah satu sumber nutrisi bagi alga seperti fosfat dan ammonia. Limbah yang digunakan pada penelitian ini bersumber dari gedung A asrama mahasiswa Universitas Indonesia. Adapun komposisi awal dari limbah domestik (*septic tank*) dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.1 Komposisi Air Limbah Domestik Gedung A asrama mahasiswa UI

No	PARAMETER	SATUAN	HASIL ANALISA
1	Ammonia (NH <sub>3</sub> )	mg/L	108
2	Fosfat (PO <sub>4</sub> )	mg/L	72.7
3	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	448
4	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	103.75
5	pH		7.72

Nutrisi nitrogen dipilih pada penelitian ini karena perannya bagi pertumbuhan dan pembentukan kandungan esensial yang sangat penting. Selain itu, pemanfaatan nutrisi nitrogen pada limbah akan mengalami penurunan karena adanya konsumsi oleh alga sebagai sumber nutrisi, dimana penurunan tersebut akan dimanfaatkan sebagai pengolahan atau *treatment* pada pengolahan limbah domestik sehingga limbah tersebut memenuhi nilai ambang batas atau baku mutu yang aman bagi lingkungan hidup.

Nutrisi nitrogen merupakan unsur kimia anorganik pembentuk kimia organik seperti protein, klorofil, lipid. Ketiga kandungan esensial tersebut dipilih karena konsentrasinya dari biomassa *Chlorella vulgaris* yang cukup tinggi. Namun, tidak semua bentuk dan konsentrasi nutrisi nitrogen dapat memberikan hasil kandungan esensial yang baik bagi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Oleh karena itu, jenis nutrisi nitrogen yang digunakan pada pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dijadikan sebagai variabel bebas.

Pada tahap awal penelitian, medium yang akan digunakan dipersiapkan terlebih dahulu. Medium yang digunakan adalah medium *Benneck* dengan menggunakan senyawa MgSO<sub>4</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, FeCl<sub>3</sub>, dan NaNO<sub>3</sub> sebagai sumber nutrisi nitrogennya. Komposisi dalam medium *Benneck* dipilih karena senyawa yang digunakan tersebut mempunyai nutrisi mikro maupun makro yang dibutuhkan dalam pertumbuhan mikroalga.

Untuk mengembangbiakan *Chlorella vulgaris* ini diperlukan sejumlah energi. Energi yang dibutuhkan adalah energi cahaya yang digunakan sel untuk

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

Sebelum dilakukannya percobaan, terlebih dahulu dilakukan membersihkan alat-alat yang terbuat dari gelas dilakukan pembasuhan menggunakan air panas selama beberapa kali setelah tahap pencucian untuk meminimalisasi kontaminan. Masalah kontaminan ini amat penting untuk diperhatikan mengingat amat rentannya *Chlorella vulgaris* Buitenzorg ini pada kontaminan dalam bentuk apapun. Keberadaan kontaminan dalam reaktor nantinya akan membunuh sel perlahan-lahan yang ditandai dengan menurunnya nilai *optical density* dari waktu ke waktu. Saat reaktor sudah dimasuki kontaminan maka seluruh sel yang ada tidak dapat diselamatkan lagi dan penelitian harus diulang kembali. Hal ini disebabkan karena kontaminan yang ada tidak dapat dipisahkan dari sel dan medium.

Pada tahap awal penelitian, dilakukan penentuan kurva OD<sub>600</sub> Vs X. Penentuan kurva OD<sub>600</sub> Vs X ini bertujuan untuk memudahkan perhitungan terhadap berat kering sel selama masa kultivasi sehingga untuk mengetahui jumlah sel serta berat kering dari sampel cukup dengan mengetahui tingkat absorbansinya yang kemudian dihubungkan dengan kurva OD<sub>600</sub> Vs X. Hal ini membuat prosedur perhitungan maupun pengukuran yang dilakukan tidak membutuhkan waktu yang relatif lama. Kurva OD<sub>600</sub> Vs X yang digunakan pada penelitian ini merupakan kurva hasil penelitian Cynthia Herdiana (2011). Panjang gelombang yang digunakan dalam pengukuran absorbansi adalah 600 nm, karena absorbansi dari *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada panjang gelombang ini paling tinggi jika dibandingkan pada panjang gelombang cahaya tampak lainnya.

Tahapan penelitian berikutnya adalah kultur terhadap *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dalam medium *Benneck*. Medium ini dipilih sebagai medium kultur *Chlorella vulgaris* Buitenzorg karena dalam medium ini banyak terdapat senyawa

makro yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg secara optimal dalam fotobioreaktor, seperti  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{MgSO}_4$  dan  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .  $\text{Mg}^{2+}$  diperlukan dalam mengontrol proses pembelahan sel, sedangkan  $\text{PO}_4^{3-}$  dan  $\text{NO}_3^-$  sangat penting dalam pembentukan nukleat dan protein selama pertumbuhan sel. Selain itu, dipilihnya *Benneck* sebagai medium dalam penelitian ini karena *Benneck* telah terbukti mampu memberikan asupan nutrisi kepada *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada penelitian-penelitian sebelumnya. Namun setelah memiliki *stock* alga yang cukup, alga akan dikultur pada media limbah dengan tujuan untuk membiasakan alga hidup dan tumbuh kembang, selain itu tujuannya adalah untuk menghindari *shock culture*. *Pre-culture* dilakukan untuk mempersiapkan mikroalga berada pada fase pertumbuhan eksponensial atau telah melewati fase adaptasi (*lag phase*) serta untuk membiasakan mikroalga pada kondisi operasi yang akan digunakan pada penelitian ini. Waktu *pre-culture* untuk tiap jenis mikroorganisme berbeda-beda, untuk *Chlorella vulgaris* adalah selama 48 jam (Wijanarko, 2006). Proses ini dilakukan dalam fotobioreaktor berukuran kecil dengan intensitas penyinaran yang cukup serta aliran udara tanpa  $\text{CO}_2$  tambahan.

Pembuatan inokulum awal dari mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dilakukan dengan menuangkan *Chlorella* dari hasil *pre-culture* kemudian ditambahkan dengan medium limbah dengan rasio volume yang menjadi varian (terlampir diagram alir percobaan pada bab 3). Dengan adanya variasi rasio volume medium dan alga serta *optical density* awal, dapat dilihat ketahanan alga terhadap konsentrasi medium limbah, pertumbuhan yang dapat dilihat dari kenaikan *optical density*, kandungan esensial yaitu lipid dan juga pengaruhnya terhadap kualitas limbah domestik.

Alga yang sudah tersuspensi dalam medium limbah kemudian dialirkan ke reaktor udara yang telah dicampur dengan  $\text{CO}_2$  sebesar 5%.  $\text{CO}_2$  inilah yang dibutuhkan pada proses fotosintesis. Jika jumlah  $\text{CO}_2$  yang diberikan ini terlalu banyak maka akan berdampak buruk pada sel. Sel-sel akan mengalami *shear stress*, namun jika jumlah yang diberikan terlampaui sedikit maka kita akan sulit mendeteksinya dengan *Gas Chromatography*. Besar kecepatan *superficial* ini juga menentukan pertumbuhan sel dalam reaktor, jika terlalu besar maka sel-sel akan

sulit untuk menangkap gas yang dilewatkan, namun jika terlalu lambat akan membuat medium jenuh akan  $\text{CO}_2$ .

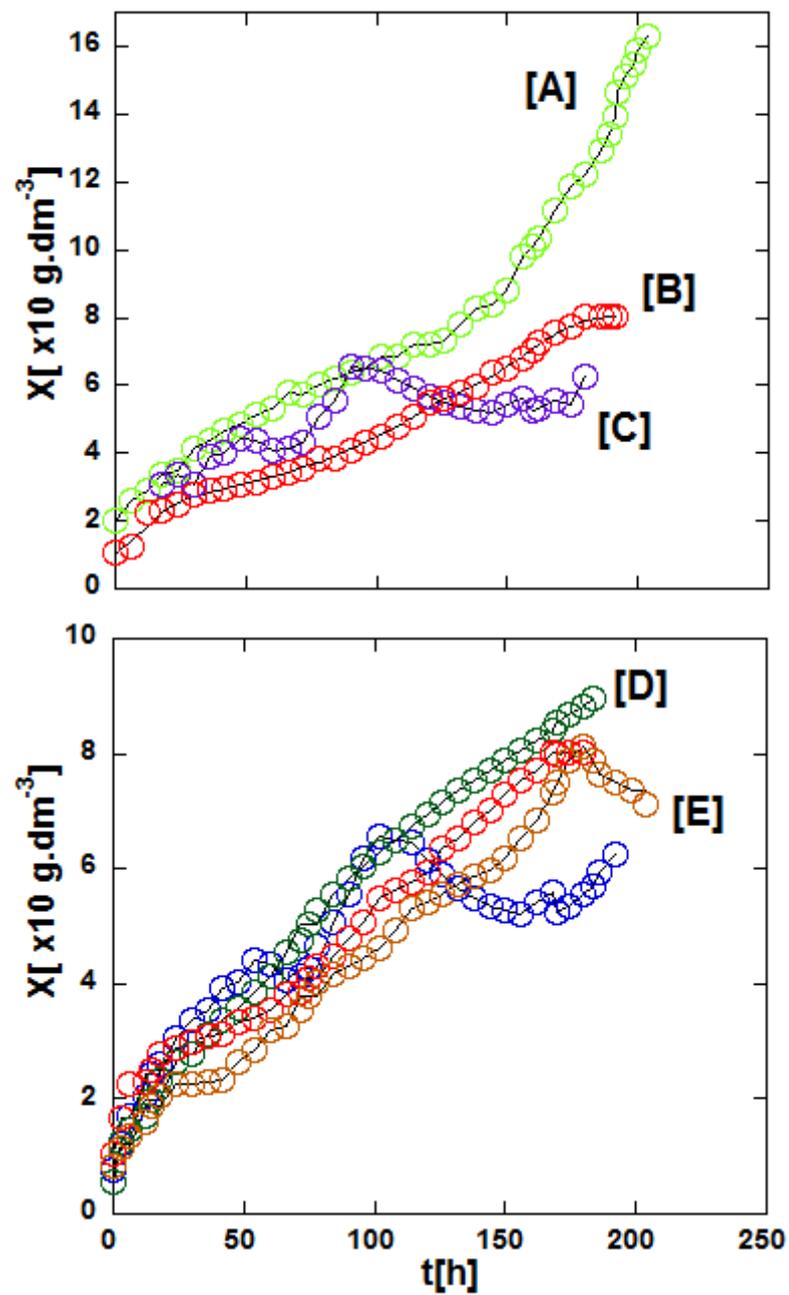
Data yang diambil mencakup  $\text{OD}_{\text{sel}}$ , pH,  $I_{\text{back}}$ ,  $y_{\text{CO}_2\text{in}}$  dan  $y_{\text{CO}_2\text{out}}$  untuk rentang waktu selama 6 jam sekali. pH digunakan untuk melakukan perhitungan terhadap konsentrasi substrat  $\text{HCO}_3^-$  yang terdapat dalam medium, sedangkan untuk mengetahui besarnya energi cahaya yang tersedia dan dikonversi untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg digunakan data  $I_0$  dan  $I_{\text{back}}$ , data  $y_{\text{CO}_2\text{in}}$  dan  $y_{\text{CO}_2\text{out}}$  digunakan untuk mengetahui seberapa besar  $\text{CO}_2$  yang terfiksasi oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.

#### **4.2. Data Penelitian**

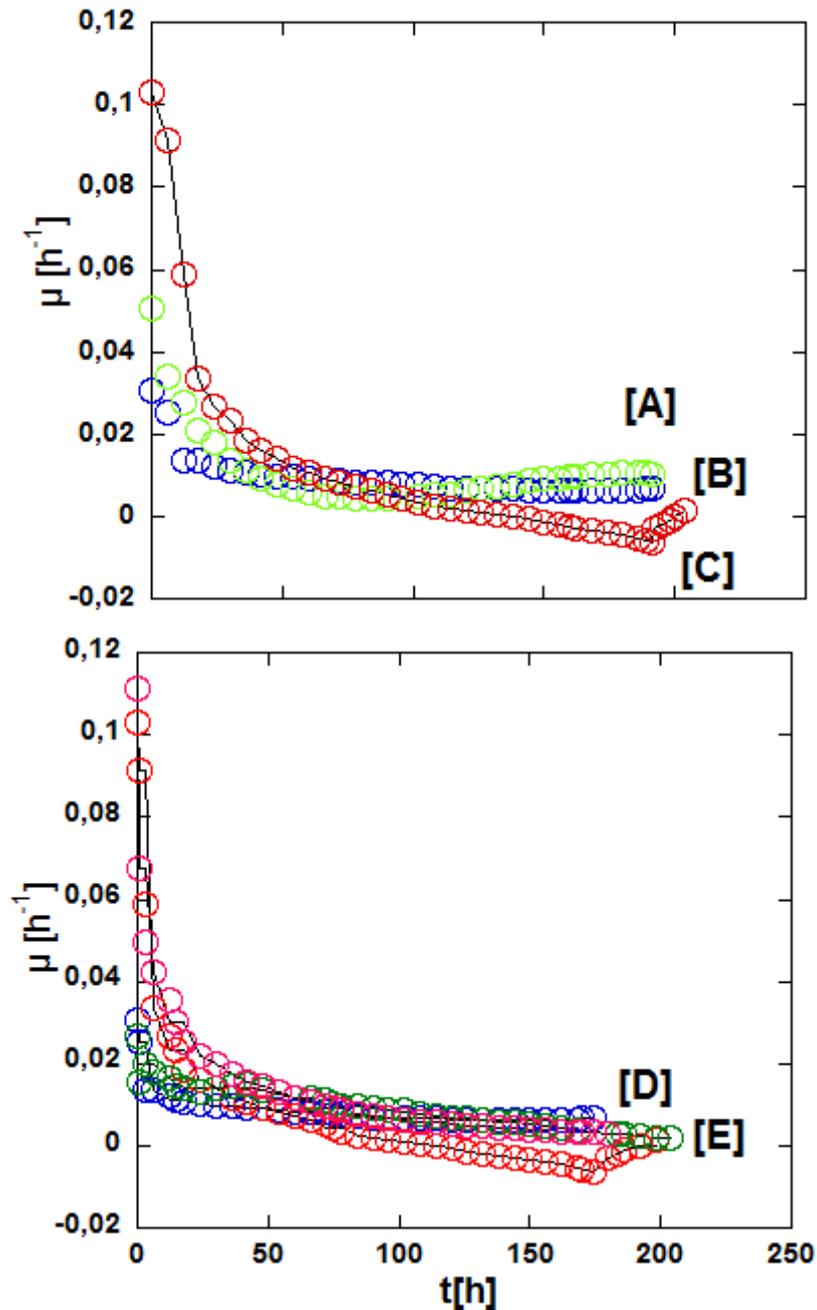
Data hasil pengamatan yang didapat dari penelitian ini disajikan dalam dua bentuk yaitu data dalam bentuk angka dan data dalam bentuk grafik. Adapun data dalam bentuk angka akan disajikan dalam lampiran pada bagian akhir skripsi ini.

#### **4.3 Penentuan Rasio Volume Limbah Terbaik yang Memberikan Laju Pertumbuhan Spesifik Paling Maksimum**

Berikut adalah data grafik yang didapat dari pengamatan X dan  $\mu$  dengan variasi konsentrasi limbah terhadap alga:



Gambar 4.1 Hubungan  $X$  (berat kering) vs *time* pada [A] OD 0.4(1:2); [B] OD 0.2(*Benneck* sebagai *control*); [C] OD 0.2(1:2); [D] OD 0.2(1:3); [E] OD 0.2(1:1)



Gambar 4.2 Hubungan  $\mu$  (laju pertumbuhan spesifik) vs *time* pada [A] OD 0.4(1:2); [B] OD 0.2(*Benneck* sebagai *control*); [C] OD 0.2(1:2); [D] OD 0.2(1:1); [E] OD 0.2(1:3)

Pada awal penelitian, variasi yang pertama dilakukan adalah rasio volume alga dan medium limbah 1:2 dengan *optical density* (OD) 0.4 seperti yang telah diuji pada penelitian sebelumnya, Kurniati Fitri (2011). Dari grafik dapat dilihat bahwa kenaikan pertumbuhan yang linier terhadap kenaikan OD berada diatas pertumbuhan *control* yang menggunakan medium *Benneck*. Hal ini dikarenakan

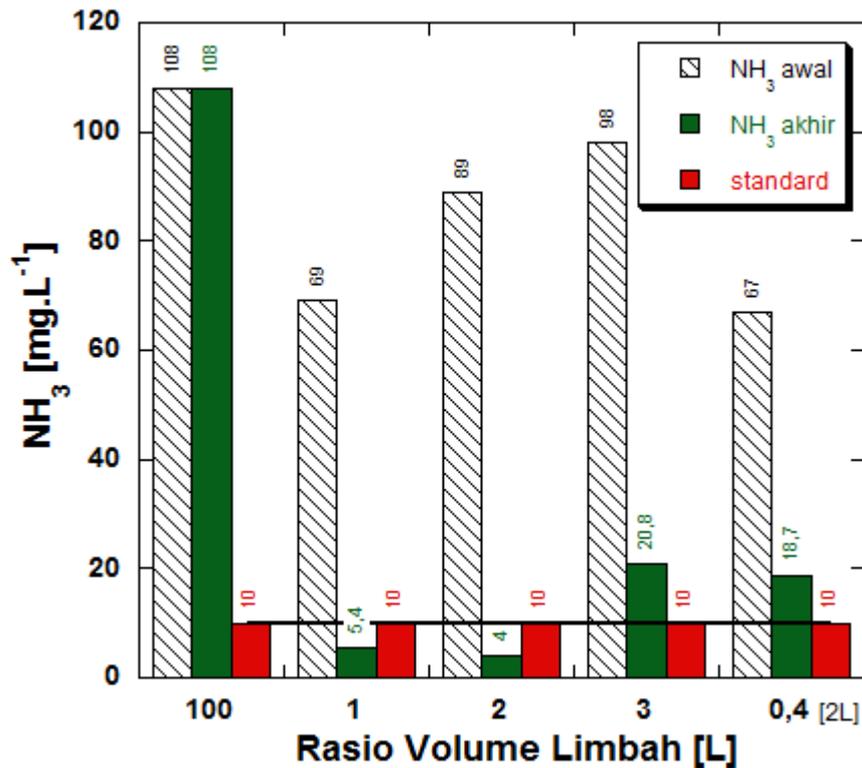
selain karena jumlah sel pada inokulum dengan medium limbah lebih tinggi daripada jumlah sel pada inokulum dengan medium *Benneck*, alga lebih menyukai amonia yang ada pada medium limbah daripada nitrat yang ada pada medium *Benneck* sebagai sumber nitrogen (Yun *et al*). Penelitian lain yang mendukung hasil ini yaitu penelitian yang dilakukan Ogbonna, Yoshizawa dan Tanaka (2000) menunjukkan bahwa ketika amonia dan nitrat keduanya terdapat dalam air limbah, mikroalga seperti *Chlorella sorokiniana*, *Spirulina platensis* dan *Rhodobacter sphaeroides* yang termasuk mikroalga fotosintetik, lebih memilih menggunakan nitrogen amonia.

Sedangkan untuk ketahanan alga terhadap limbah domestik dengan menggunakan kerapatan alga awal yang lebih rendah yaitu pada OD 0.2 dapat dilihat bahwa alga dapat bertahan hidup bahkan menunjukkan adanya pertumbuhan dari kenaikan nilai OD, namun hanya selama 132 jam atau sekitar 5.5 hari. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk mengetahui ketahanan alga dan pertumbuhannya terhadap variasi rasio konsentrasi media limbah dengan alga dengan OD awal yang sama (0.2), yaitu 1:1 dan 1:3.

Dengan OD awal yang sama, dapat dilihat bahwa pada rasio 1:3 merupakan medium dimana alga tidak hanya saja dapat bertahan namun dapat bertumbuh dengan optimal dibandingkan 2 medium dengan rasio berbeda lainnya. Hal ini disebabkan karena pada medium dengan rasio volume konsentrasi 1:3, amonia sebagai sumber nitrogen, tersedia lebih banyak, sehingga ketersediaan substrat tercukupi. Namun, konsentrasi amonia yang terlalu tinggi dapat menjadi *inhibitor* bagi pertumbuhan alga. Limit toleransi alga terutama *Chlorella vulgaris* terhadap amonia bebas menurut Kriens (1994); Straus *et al.*, (2001) adalah 6 mg/l  $\text{NH}_3\text{-N/l}$ . Keberadaan amonia ( $\text{NH}_3^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) dalam media pertumbuhan alga selama tidak berada dalam batas toksik ataupun konsentrasi yang dapat menyebabkan inhibisi pada pertumbuhan alga, akan menguntungkan untuk pertumbuhan alga. Pada limbah domestik yang digunakan, konsentrasi amonia sebesar 108 mg/l atau amonia bebas sekitar 4.578 mg/l untuk limbah murni, sehingga aman untuk dikonsumsi alga.

#### 4.4 Penentuan Rasio Volume Limbah Terbaik yang Memberikan Persen *Removal* Nitrogen Paling Maksimum

Penurunan konsentrasi nitrogen amonia dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.3 Hubungan  $\text{NH}_3$  vs Rasio Volume Limbah & perbandingannya terhadap standard PERGUB DKI JAKARTA No.122 tahun 2005

Dari grafik dapat dilihat bahwa penurunan nitrogen paling efektif pada rasio 1:1 dan 1:2, hal ini disebabkan karena pada rasio 1:1 dan 1:2 konsentrasi amonia bebas dalam limbah lebih rendah dibandingkan rasio 1:3 dan OD 0.4 (rasio 1:2). Selain itu, nilai OD akan mempengaruhi penyerapan gas  $\text{CO}_2$ , semakin kecil OD maka semakin besar penyerapan gas  $\text{CO}_2$ . Besarnya penyerapan gas  $\text{CO}_2$  akan menyebabkan nilai pH turun, sehingga amonia bebas yang terdapat dalam media kultur semakin rendah. Hal ini juga dikemukakan oleh Azov dan Goldman, 1982; Abeliovich dan Vanshok, 1993; Craggs, 2005) dengan pendapatnya bahwa konsentrasi amonia nitrogen berhubungan dengan pH dan temperatur, dimana keduanya mempengaruhi konsentrasi amonia bebas didalam air. Amonia dengan konsentrasi tinggi dapat menghambat fotosintesis dengan mengganggu fungsi

kloroplas sel alga. Konsentrasi amonia nitrogen sebesar 36 g/m<sup>3</sup> dapat menurunkan pertumbuhan alga jika pH meningkat diatas 8 dan dapat menurunkan fotosintesis alga sebesar 50% pada pH 9.5 pada temperatur 25 °C.

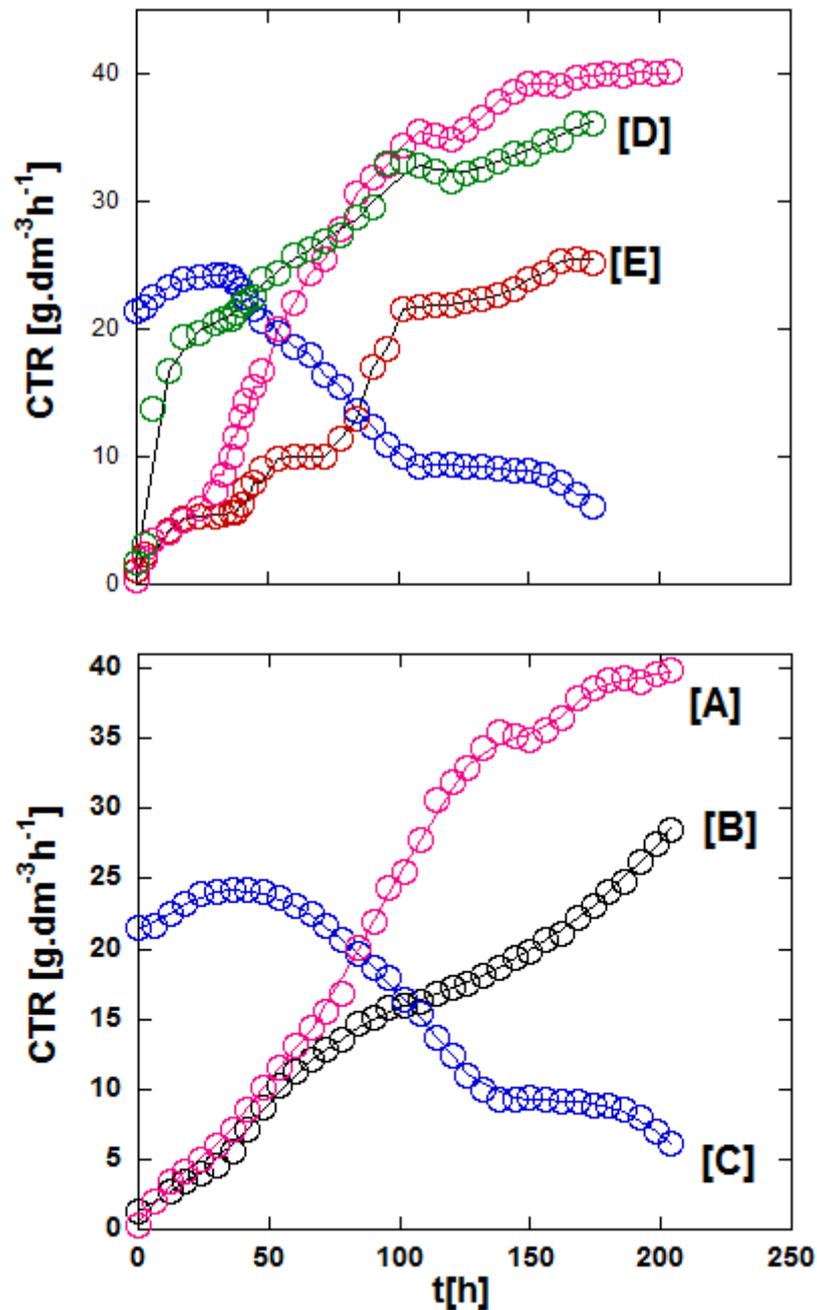
#### 4.5 Pengaruh Rasio Volume Limbah terhadap CTR dan q

Sedangkan untuk CTR (*Carbon Transfer Rate*) merupakan banyaknya gas CO<sub>2</sub> yang ditransferkan dalam suatu volume medium kultur yang dibutuhkan oleh metabolisme sel selama satu satuan waktu tertentu (Wijanarko *et al*, 1997). Nilai CTR didapatkan dari selisih konsentrasi CO<sub>2</sub> masukan dan keluaran ( $\Delta y_{CO_2}$ ) dikalikan dengan koefisien transfer spesifik dari CO<sub>2</sub> ( $\alpha_{CO_2}$ ). Nilai CTR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

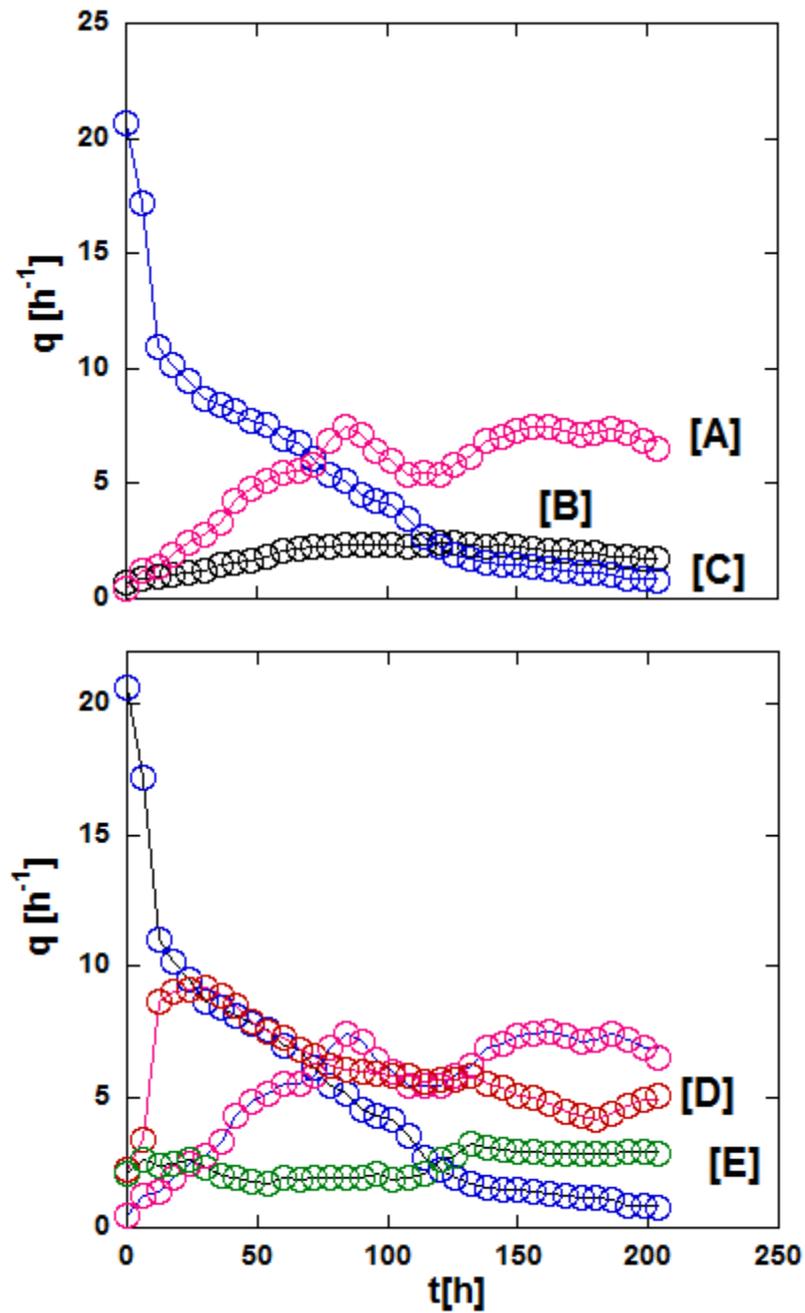
$$CTR = \Delta y_{CO_2} \cdot \alpha_{CO_2}$$

Transfer atau konsumsi gas CO<sub>2</sub> ke dalam medium oleh mikroalga digunakan untuk keperluan metabolisme sel. Nilai CTR berbanding lurus dengan  $\Delta y_{CO_2}$ , sehingga seiring dengan pertambahan waktu nilai CTR cenderung turun akibat tidak seimbangnya peningkatan jumlah sel dengan besarnya fiksasi konsentrasi CO<sub>2</sub>. Medium lama-kelamaan akan jenuh dengan CO<sub>2</sub> terlarut karena sel dapat memproduksi sumber karbonnya sendiri. Gas CO<sub>2</sub> yang dialirkan tidak lagi terserap oleh alga dan sebagian besar lewat begitu saja menuju *outlet*. Dari grafik dapat dilihat bahwa semakin besar volume limbah (raso 1:3) yang ditambahkan kemedium, maka CTR akan semakin kecil, karena konsentrasi NH<sub>3</sub> semakin besar yang akan menyebabkan nilai pH tinggi dan mempengaruhi penyerapan CO<sub>2</sub>. Hal tersebut juga dikemukakan oleh Azov dan Shelef (1987); Moersidik (1988) mengemukakan bahwa pH memiliki pengaruh langsung yang disebut pengaruh minor, namun yang paling penting adalah pengaruh tidak langsung yang menentukan rasio karbonat serta penguraian nitrogen dalam air. Pertumbuhan alga dipengaruhi oleh pH dengan menentukan konsentrasi CO<sub>2</sub> bebas dalam air, dalam hal ini menentukan karbon anorganik terlarut dalam air untuk fotosintesis.

Kurva kecenderungan CTR sebagai fungsi waktu dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.4 Hubungan CTR (*Carbon Transfer Rate*) vs *time* pada [A] OD 0.4(1:2); [C] OD 0.2(*Benneck* sebagai *control*); [B] OD 0.2(1:2); [D] OD 0.2(1:1); [E] OD 0.2(1:3)



Gambar 4.5 Hubungan  $q$  vs  $time$  pada [A] OD 0.2(1:2); [B] OD 0.2(Benneck sebagai *control*); [C] OD 0.4(1:2); [D] OD 0.2(1:1); [E] OD 0.2(1:3)

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa CTR dipengaruhi oleh banyaknya ammonia yang didegradasi oleh mikroalga. Pada rasio 1:2, persen removal ammonia nitrogen paling tinggi, sehingga menyebabkan pH cenderung semakin

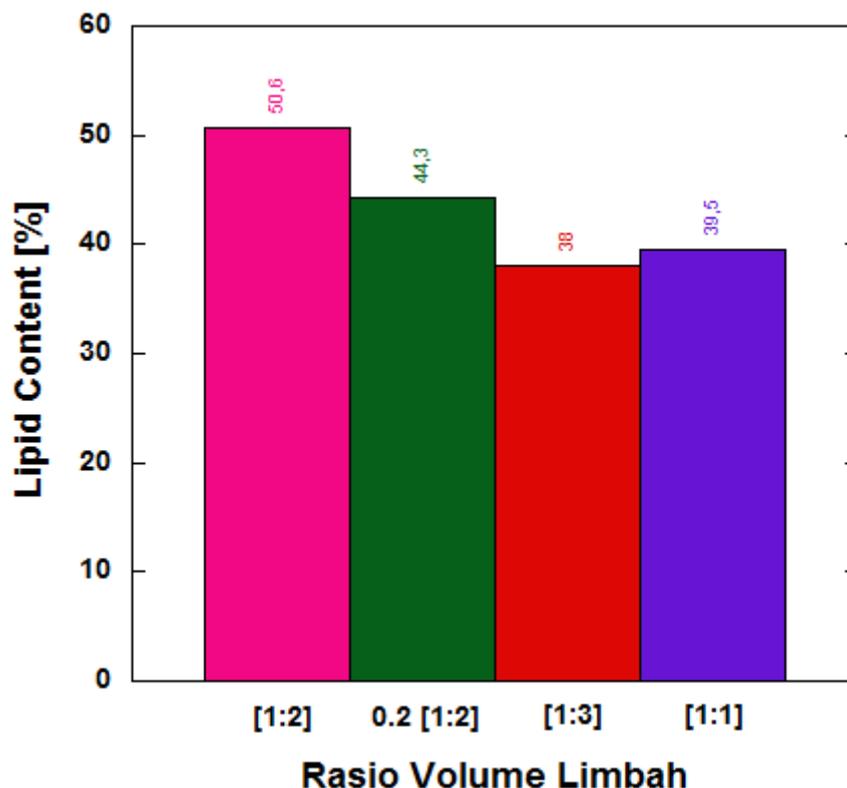
turun selama kultivasi. Penurunan pH menyebabkan CO<sub>2</sub> yang terikat semakin besar, sehingga CTR semakin besar juga.

Sedangkan pada OD yang berbeda, CTR lebih dominan dipengaruhi oleh banyaknya sel pada kultur. Semakin banyak jumlah sel pada kultur, maka kebutuhan CO<sub>2</sub> semakin besar pula, sehingga nilai CTR semakin besar.

Untuk nilai qCO<sub>2</sub>, dari grafik dapat dilihat bahwa nilai qCO<sub>2</sub> dipengaruhi oleh besarnya CTR dan besarnya *biomass* yang terbentuk. Pada variasi OD dengan volume limbah tetap, dapat dilihat bahwa pada qCO<sub>2</sub> pada OD 0.2 paling tinggi dibandingkan *control* dan OD 0.4, hal ini dikarenakan karena *biomass* yang terbentuk pada OD 0.2. Begitu juga untuk variasi volume limbah untuk OD yang sama.

#### 4.6 Penentuan Rasio Volume Limbah Terbaik yang Menghasilkan Persen Lipid Paling Maksimum

Untuk kandungan esensial yaitu lipid, dapat dilihat dari grafik dibawah ini:



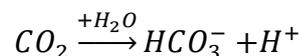
Gambar 4.6 Hubungan *Lipid Content* vs Rasio Volume Limbah

Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa semakin besar nilai OD dan volume limbah yang ditambahkan, maka kandungan lipid yang terbentuk semakin tinggi pula. Hal ini disebabkan karena pada volume limbah yang besar, maka komponen pembentuk lipid yaitu nitrogen juga semakin besar.

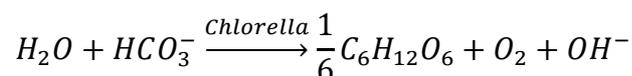
Sedangkan pada *control*, lipid yang terbentuk lebih kecil dibandingkan lipid yang dihasilkan dari medium limbah. Hal ini disebabkan medium limbah memiliki ion ammonium sehingga dapat diasimilasi langsung tanpa perlu dirubah terlebih dahulu. Hal tersebut membuat ATP dan NADPH<sub>2</sub> yang terbentuk pada proses fotosintesis dapat langsung digunakan seluruhnya dan senyawa organik seperti protein dapat dihasilkan lebih banyak. Pada medium yang menggunakan NaNO<sub>3</sub> sebagai sumber nutrisi nitrogennya, ATP dan NADPH<sub>2</sub> yang dihasilkan digunakan terlebih dahulu untuk merubah nitrat menjadi amonium.

#### 4.7 Pengaruh Rasio Volume Limbah terhadap Laju Penurunan Senyawa Bikarbonat

Perhitungan terhadap [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] bertujuan untuk mengetahui jumlah [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] yang tersedia dan dapat dikonsumsi oleh sel *Chlorella vulgaris* untuk metabolismenya. Ion ini terbentuk karena adanya reaksi antara CO<sub>2</sub> yang terlarut dalam larutan medium dengan air. [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] dihitung dari perubahan pH kultur yang terjadi sebagai akibat adanya aktivitas pertumbuhan sel *Chlorella vulgaris*.. Pada saat gas CO<sub>2</sub> mengalir ke dalam kultur, proses yang terjadi adalah pembentukan senyawa bikarbonat seperti pada reaksi berikut :



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



Dengan menggunakan pendekatan hukum Henry, dapat dicari besarnya [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] yang terbentuk dalam kultur yaitu:

$$[HCO_3^-] = \left( \frac{K_{CO2,0}}{H_{CO2,0}} \right) \times \left( \frac{y_{CO2} P_T}{10^{-pH}} \right) \times \left( \frac{\text{EXP} \left[ A_K \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_K \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) + C_K \left( \frac{T}{T_0} - 1 \right) \right]}{\text{EXP} \left[ A_H \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_H \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) + C_H \left( \frac{T}{T_0} - 1 \right) \right]} \right)$$

Dengan nilai :

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

$$y_{CO2} = 0.05$$

$$K_{CO2,0} = 4.38 * 10^{-7}$$

$$H_{CO2,0} = 2900 \text{ (kPa.kg/mol)}$$

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

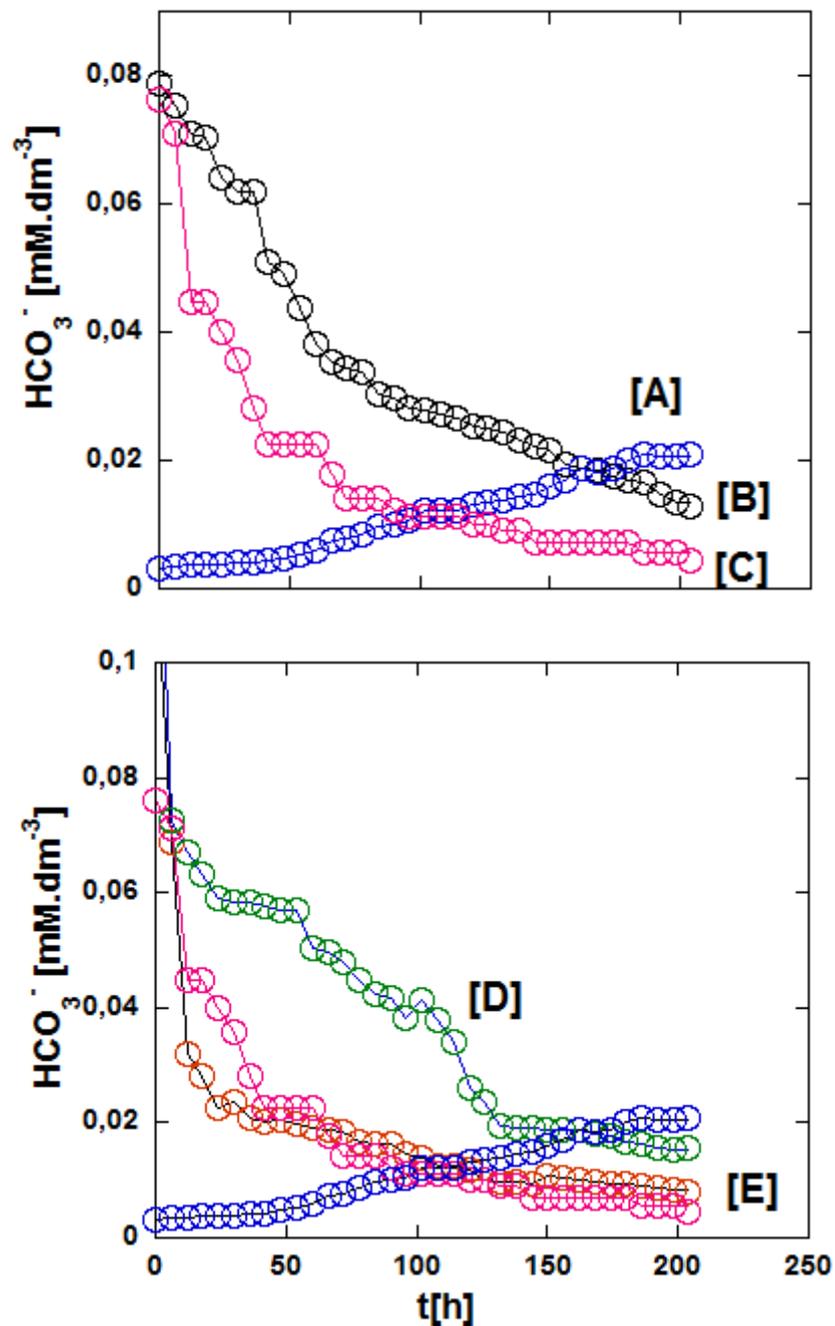
$$T_0 = 298.15 \text{ }^\circ\text{K}$$

dan konstanta pada persamaan *Handerson-Hasellbach* ini:

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

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

Grafik hubungan antara  $[HCO_3^-]$  terhadap waktu yang didapat dari penelitian ini sebagai berikut :



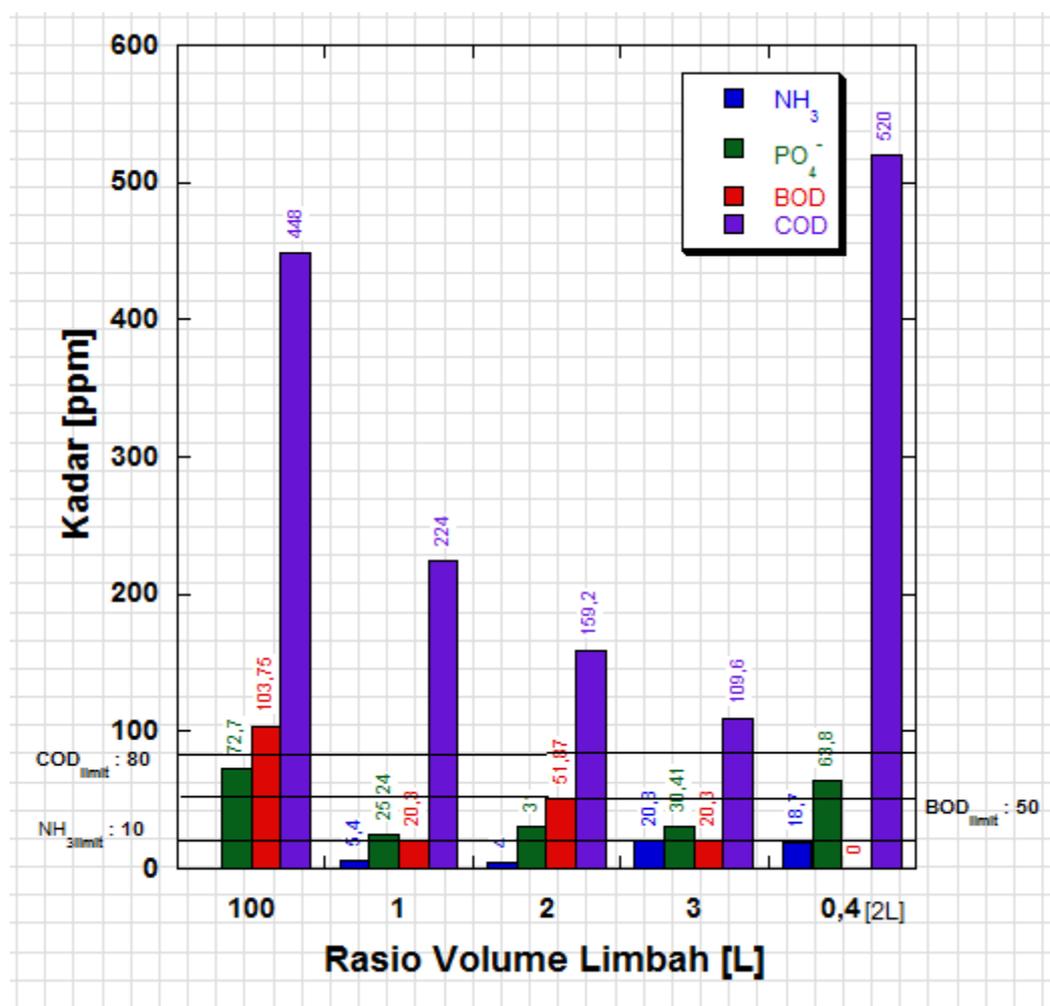
Gambar 4.7 Hubungan  $\text{HCO}_3^-$  vs *time* pada [C] OD 0.2(1:2); [A] OD 0.2(*Benneck* sebagai *control*); [B] OD 0.4(1:2); [E] OD 0.2(1:1); [D] OD 0.2(1:3)

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa peningkatan jumlah sel dalam kultur cenderung meningkatkan jumlah pH kultur. Namun tidak pada medium kultur limbah, pH akan semakin rendah selama waktu kultivasi, sehingga ketersediaan senyawa bikarbonat semakin rendah. Hal ini disebabkan karena terpakainya amonia sebagai substrat sehingga konsentrasi

amonia semakin rendah. Di lain sisi, konsumsi  $\text{CO}_2$  menyebabkan turunnya nilai pH, sehingga ketersediaan senyawa bikarbonat semakin rendah.

#### 4.8 Pengaruh Rasio Volume Limbah terhadap Penurunan Parameter Kualitas Limbah

Berikut grafik parameter kualitas limbah domestik yang menjadi polutan yang dihasilkan dari kultivasi setiap variasi.



Gambar 4.8 Hubungan Kualitas Limbah terhadap Rasio Volume Limbah dan perbandingannya terhadap Baku Mutu Limbah Domestik PERGUB DKI JAKARTA No 122 Tahun 2005

Berdasarkan baku mutu limbah domestik pada tabel 2.4, kualitas limbah domestik hasil kultivasi dengan menggunakan *Chlorella vulgaris* diperoleh yang

terbaik pada rasio volume 1:1. Hal ini disebabkan karena 2 dari 3 parameter yang menjadi rumusan masalah memenuhi baku mutu lingkungan hidup.

#### 4.9 Pengaruh Medium Kultivasi dan Beberapa *Species* Alga terhadap Laju Pertumbuhan dan Kandungan Lipid.

Salah satu kandungan esensial dari mikroalga adalah kandungan lipid. Berikut persen kandungan lipid dari beberapa jenis alga hijau dari beberapa jenis habitat.

Tabel 4.2 Pengaruh Medium terhadap Laju Pertumbuhan dan Kandungan Lipid

No	Alga Group	Microalgae Strain	Habitat	Biomass Production (g/L/day)	Lipid Content (% Biomass)
1	Green algae	<i>Chlorococcum sp. UMACC 112</i>	Fresh water	0.28	19.3
		<i>Scenedemus quadricauda</i>	Fresh water	0.19	18.4
		<i>Scenedemus F&amp;M-M19</i>	Fresh water	0.21	19.6
		<i>Scenedemus sp. DM</i>	Fresh water	0.26	21.1
		<i>T. suecica F&amp;M-M33</i>	Marine	0.32	8.5
		<i>Tetraselmis sp. F&amp;M-M34</i>	Marine	0.30	14.7
		<i>T. suecica F&amp;M-M35</i>	Marine	0.28	12.9
		<i>Ellipsoidion sp. F&amp;M-M31</i>	Marine	0.17	27.4
		<i>Monodus subterraneus UTEX 151</i>	Fresh water	0.19	16.1
		<i>Nannochloropsis sp. CS 246</i>	Marine	0.17	29.2
		<i>Chlorella vulgaris</i>	Domestic waste	-	50.6
2	Red Algae	<i>Porphyridium cruentum</i>	Marine	0.37	9.5

Sumber : Shakeel A Khan et al., 2009

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa jenis habitat mempengaruhi pembentukan lipid pada mikroalga. Hal ini disebabkan karena jenis habitat mempengaruhi ketersediaan substrat dan nutrisi.

Pada habitat *fresh water*, pembentukan lipid pada mikroalga sedikit lebih rendah daripada pembentukan lipid pada mikroalga yang hidup di habitat *marine*. Namun pembentukan lipid pada mikroalga yang hidup di habitat *domestic waste* mencapai nilai tertinggi dibandingkan pada habitat *marine* dan *fresh water*. Oleh karena itu, semakin kaya nutrisi pada habitat mikroalga maka pembentukan lipid semakin tinggi.

#### **4.10 Perbandingan Hasil Kualitas Limbah Domestik dengan Menggunakan Mikroalga dan Tanpa Menggunakan Mikroalga.**

Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa hasil kualitas limbah domestik tanpa menggunakan mikroalga memenuhi baku mutu Limbah Cair Domestik Pergub Provinsi DKI Jakarta No. 122 Tahun 2005, namun tidak pada hasil pengolahan limbah dengan menggunakan mikroalga. Hal ini disebabkan karena kualitas limbah *influent* pada Waduk jauh lebih rendah dibandingkan *influent* pada Fotobioreaktor mikroalga. Selain itu, kemungkinan dilakukan *pre-treatment* pada limbah domestik Waduk, sehingga kualitas *influent* pada Waduk lebih rendah dibandingkan limbah domestik murni.

Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Kualitas Limbah Domestik dengan Menggunakan Mikroalga dan Tanpa Menggunakan Mikroalga.

No	Parameter	Waduk		Mikroalga 1:1 (0.2)		Mikroalga 1:2 (0.2)		Mikroalga 1:3 (0.2)		Mikroalga 1:2 (0.4)		Baku Mutu
		<i>Influent</i>	<i>Effluent</i>	<i>Influent</i>	<i>Effluent</i>	<i>Influent</i>	<i>Effluent</i>	<i>Influent</i>	<i>Effluent</i>	<i>Influent</i>	<i>Effluent</i>	
1	pH	7.60	7.61	7.77	7.06	7.77	6.80	7.77	7.34	7.77	7.26	6 - 9
2	Zat Padat Tersuspensi	61.09	33.11	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	50
3	BOD	75.63	25.66	103.75	20.3	103.75	51.87	103.75	20.3	103.75	0	50
4	COD	112.48	69.08	448	224	448	159.2	448	109.6	448	520	80
5	Zat Organik	79.13	72.05	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	85
6	Ammonia	2.93	1.62	108	5.4	108	4	108	20.8	108	18.7	10
7	MBAS	1.02	0.46	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	2
8	Minyak dan Lemak	0.26	0.18	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	10

Sumber : Laporan Triwulan PD PAL Jaya Tahun 2010 dalam Nurhadi, 2010

## BAB V KESIMPULAN

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

1. Penurunan atau % *removal* nitrogen amonium oleh *Chlorella vulgaris* pada rasio 1:2 (OD 0.2) dengan persentase sebesar 95.50, pada rasio volume 1:3 (OD 0.2) sebesar 78.77%, pada rasio 1:2 (OD 0.4) sebesar 72.09% dan pada rasio 1:1 (OD 0.2) sebesar 92.17%.
2. Pada rasio volume limbah yang sama, OD 0.4 menghasilkan laju pertumbuhan sebesar 16.276 g/L, medium *control/Benneck* 8.0381g/L, laju pertumbuhan pada OD 0.2 sebesar 6.2462 g/L.
3. Pada OD yang sama yaitu OD 0.2 namun rasio volume berbeda, laju pertumbuhan pada rasio 1:3 sebesar 8.9468 g/L, laju pertumbuhan pada rasio 1:1 sebesar 7.1252 g/L, dan laju pertumbuhan untuk rasio 1:2 sebesar 6.2462 g/L.
4. Besarnya kandungan lipid yang dihasilkan dari rasio volume 1:2 (OD 0.4) sebesar 50.6% , pada rasio 1:3 sebesar 38%, pada rasio 1:1 sebesar 39.5% dan OD 0.2 (1:2) sebesar 44.3%
5. Parameter polutan limbah domestik seperti NH<sub>3</sub>, BOD dan COD pada hasil kultivasi dengan menggunakan *Chlorella vulgaris* diperoleh bahwa pada rasio volume 1:1 hanya parameter COD yang tidak memenuhi baku mutu, pada rasio 1:2 (OD 0.2) hanya parameter NH<sub>3</sub> saja yang memenuhi baku mutu, pada rasio 1:2 (OD 0.4) hanya parameter BOD saja memenuhi baku mutu, dan pada rasio 1:3 (OD 0.2) hanya parameter BOD saja yang memenuhi baku mutu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abeliovich, A dan Y. Azov. Toxicity of Ammonia to Algae in sewage oxidation ponds. *Applied and environmental microbiology* 31:6(1976):801-806.
- Agrawal, S.C. dan Manisha. Growth, survival, and Reproduction in *Chlorella vulgaris* and *Chlorella variegata* with Respect to Culture Age and Under Different Chemical Factor. *Folia Microbiol* 52:4:(2007): 399-406.
- Borowitzka, M.A. (2005). *Culturing Microalgae in Outdoor Ponds*. Ed. Robert Arthur Andersen. Algal Culturing Techniques. Academic Press. 205-218.
- BPPT. (2010, 22 Januari 2010). Strategi pengelolaan limbah domestik di provinsi DKI Jakarta. 1 September 2010. <http://www.kelair.bppt.go.id/Publikasi/BukuAirLimbahDomestikDKI/BAB2STRATEGI.pdf>.
- Bold, H.C. dan M.J. Wynne. *Introduction to The Algae Structure and Reproduction*. India: Prentice Hall
- Budihardjo. (2001). *Proses Biologis dalam Pengolahan Limbah Industri dan domestik*. Universitas Trisakti.
- Campbell, M.N.. Biodiesel: Algae as A Renewable Source for Liquid Fuel. *Guelph engineering journal* 1:(2008):2-7.
- Chalik, A.A. (2004, 10 Maret). Evaluasi Pembangunan Prasarana dan Sarana Air Limbah Domestik di Indonesia. 1 September 2010. [http://rudycr.com/PPS702ipb/08234/aa\\_chalik.htm](http://rudycr.com/PPS702ipb/08234/aa_chalik.htm).
- Chisti, Y. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology advances* 25: (2007): 294-306.
- Craggs, D. (2005). *Nutrients*. Ed. Andy N. Shilton. Pond Treatment Technology. London: IWA Publishing. 2005, 77-95.
- Davis, M.L dan D.A. Cornwell. (1998). *Introduction to environmental engineering*. (3 rd ed.). Boston: McGraw-Hill.
- Dodds, W.K. (2002). *Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications*. California: Academic Press.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius

- Fitri Kurniati. (2011). *Peran Chlorella Vulgaris dalam Pengelolaan Lingkungan*. Depok : Departemen Teknik Kimia-Universitas Indonesia
- Fogg, G.E. (1980). *Phytoplanktonic Primary Production*. Ed. RS K Barnes/KH Mann. Fundamentals of Aquatic Ecosystem. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1980. 24-45
- Graham L.E. dan Wilcox L.W. (2000). *Algae*. New Jersey: Prentice-Hall
- Grobbelaar, J.U. (2004). *Algal Nutrition: Mineral Nutrition*. Ed. Amos Richmond, A. Handbook of microalgal culture, Biotechnology and applied phycology. Oxford: Blackwell publishing, 2007. 97-115.
- Hendrawan, D. Kualitas air sungai dan situ di DKI Jakarta. *Makara Teknologi* 9:1(2005):13-19.
- Hossain, S. Dan A. Salleh. Biodiesel Fuel Production from Algae as Renewable Energy. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology* 4:3(2008): 250-254.
- Hu, Q. (2004). *Environmental effects on cell composition*. Ed. Amos Richmond, A. Handbook of microalgal culture, Biotechnology and applied phycology. Oxford: Blackwell publishing, 2007. 83-93.
- Isnansetyo, A dan Kurniastuty. (1995). *Teknik Kultur Phytoplankton dan Zooplankton*. Yogyakarta: Kanisius
- Kusnoputranto, H. (1997). *Toksikologi lingkungan*. Unpublish. Krisanti, M. (2003). *Peran Zeolit Sebagai Substrat dan Penyedia Unsur Hara Bagi Mikroalga*. Tesis. IPB Bogor.
- Kryder, L.R. (2007, November 2007). Microalgae for Wastewater Treatment and Reuse . 31 Maret 2010. C:\Inetpub\wwwroot\LCLC10\wwwroot\docs\MicroalgaeForWastewaterTreatmentAndReuse(1).doc
- Larsdotter, K. (2006). Wastewater Treatment with Microalgae-A Literature Review. *Vatten* 62: 31-38.
- Li, Y., M. Horsman, B. Wang, dan N. Wu., dan C.Q. Lan. Effect of nitrogen sources on cell growth and lipid accumulation of green alga *Neochloris oleoabundans*. *Appl. Microbiol biotechnol* 81:(2008):629-636.
- Londa, T.K. Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Pertumbuhan Alga Pada Kolam Oksidasi Arus Deras. *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan* 23: (2003):4: 261-272.
- Manahan, S.E. (1994). *Environmental Chemistry* (6 Ed). Boca Raton: Lewis Publisher.

- Mara, D. (2003). *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. London: Earthscan Publisher Metcalf dan Eddy. (2002). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*.
- Wijanarko, Anondo (2006). *Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella Vulgaris Buitenzorg dan Fiksasi CO<sub>2</sub> dalam Kolom Gelembung Seri dengan Pengaturan Cahaya*. Depok : Departemen Teknik Kimia-Universitas Indonesia.

## LAMPIRAN A

### DATA HASIL PENELITIAN

*a. Benneck (control)*

Data ke-	Waktu (jam)	OD	I <sub>o</sub> (lux)	I <sub>b</sub> (lux)	Y <sub>in</sub> (%)	Y <sub>out</sub> (%)	ΔY (%)	pH	X (g/L)	μ (h <sup>-1</sup> )	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] (M)	CTR (g/dm <sup>3</sup> .h)	q <sub>CO<sub>2</sub></sub> (h <sup>-1</sup> )
0	0	0.243	5196.7	1500.0	5.1867	2.9891	42.3699	6.63	0.1039	0.102410	0.0030328300	21.44173	206.30937
1	6	0.283	5196.7	1400.0	5.4988	3.1851	42.0765	6.69	0.1239	0.067992	0.0034821547	21.29323	171.88591
2	12	0.517	5196.7	1193.3	5.1398	2.8519	44.5134	6.71	0.2259	0.028839	0.0036462636	22.52647	99.72319
3	18	0.604	5196.7	893.3	5.7832	3.4078	41.0741	6.74	0.2293	0.021451	0.0039070418	20.78600	90.66957
4	24	0.615	5196.7	780.0	5.4437	3.0012	44.8684	6.72	0.2505	0.014502	0.0037311960	22.70611	90.64678
5	30	0.624	5196.7	603.3	5.7330	3.1005	45.9184	6.75	0.2683	0.009556	0.0039980485	23.23747	86.61647
6	36	0.627	5196.7	540.0	5.7911	3.0782	46.8460	6.77	0.2783	0.006927	0.0041864708	23.70692	85.17251
7	42	0.625	5260.0	470.0	5.3935	2.6823	50.2679	6.78	0.2977	0.005534	0.0042839862	25.43860	85.45907
8	48	0.491	5260.0	356.7	5.2746	2.6589	49.5905	6.83	0.3088	0.004903	0.0048067116	25.09578	81.26347
9	54	0.653	5350.0	323.3	5.4293	2.7312	49.6952	6.87	0.3119	0.006247	0.0052704544	25.14876	80.63860
10	60	0.559	5566.7	253.3	5.3978	2.7890	48.3308	6.93	0.3319	0.006778	0.0060512913	24.45831	73.68513
11	66	0.713	5850.0	240.0	5.4308	2.9412	45.8422	7.02	0.3423	0.005582	0.0074447147	23.19894	67.77371
12	72	0.680	5226.7	210.0	5.3813	3.0389	43.5285	7.04	0.3254	0.006671	0.0077955733	22.02806	67.69740
13	78	0.795	5773.3	186.7	5.6980	3.0074	47.2201	7.08	0.3837	0.007213	0.0085476762	23.89621	62.27675
14	84	0.800	5560.0	153.3	5.5813	3.1174	44.1456	7.13	0.3863	0.008100	0.0095906504	22.34036	57.83911
15	90	0.902	5453.3	133.3	6.5341	4.3290	33.7476	7.15	0.4378	0.008399	0.0100426439	17.07831	39.00850
16	96	0.913	4916.7	113.3	5.9932	4.0762	31.9863	7.17	0.4437	0.008598	0.0105159391	16.18698	36.47934
17	102	0.922	5340.0	113.3	5.8765	3.7450	36.2716	7.24	0.4480	0.008803	0.0123551511	18.35562	40.97693

18	108	0.925	5286.7	93.3	5.2599	3.5123	33.2250	7.23	0.4497	0.008588	0.0120739135	16.81384	37.39317
19	114	1.110	5200.0	83.3	5.5566	3.9367	29.1527	7.24	0.5435	0.008427	0.0123551511	14.75304	27.14600
20	120	1.123	5240.0	73.3	5.3560	4.0091	25.1475	7.27	0.5502	0.007913	0.0132387829	12.72615	23.12879
21	126	1.150	5356.7	60.0	5.8932	4.5985	21.9694	7.28	0.5638	0.007807	0.0135471538	11.11784	19.72087
22	132	1.177	5333.3	53.3	5.7633	4.6312	19.6433	7.29	0.5773	0.007628	0.0138627076	9.94068	17.21985
23	138	1.210	5186.7	50.0	5.5872	4.3421	22.2849	7.31	0.5942	0.007340	0.0145160368	11.27749	18.97960
24	144	1.203	5383.3	46.7	5.9240	4.7746	19.4024	7.32	0.5908	0.006706	0.0148541588	9.81880	16.61950
25	150	1.323	5750.0	40.7	5.5900	4.4398	20.5760	7.35	0.6517	0.006356	0.0159165179	10.41271	15.97875
26	156	1.383	5576.7	32.3	5.5928	4.8765	12.8075	7.38	0.6821	0.005813	0.0170548562	6.48139	9.50225
27	162	1.420	5660.0	28.0	5.5447	4.5533	17.8801	7.42	0.7007	0.005342	0.0187002779	9.04843	12.91360
28	168	1.473	5303.3	21.7	5.2170	4.1280	20.8741	7.41	0.7277	0.004777	0.0182746076	10.56354	14.51554
29	174	1.603	5460.0	20.0	4.9390	4.0905	17.1796	7.42	0.7937	0.004201	0.0187002779	8.69391	10.95406
30	180	1.617	5436.7	17.7	4.2036	3.2314	23.1278	7.45	0.8004	0.003641	0.0200377088	11.70406	14.62222
31	186	1.620	5196.7	16.0	4.2672	3.3267	22.0402	7.47	0.8021	0.003001	0.0209820570	11.15368	13.90525
32	192	1.617	5196.7	14.7	5.0305	4.3304	13.9171	7.46	0.8004	0.002450	0.0205044470	7.04290	8.79889
33	198	1.623	5196.7	14.0	5.3986	4.6730	13.4405	7.46	0.8038	0.001829	0.0205044470	6.80172	8.46185
34	204	1.623	5196.7	12.3	4.9976	4.3948	12.0618	7.47	0.8038	0.001162	0.0209820570	6.10399	7.59383

## b. Limbah 1:2 (OD 0.4)

Data ke-	Waktu (jam)	OD	Io (lux)	Ib (lux)	Yin (%)	Yout (%)	$\Delta Y$ (%)	pH	X (g/L)	$\mu$ (h <sup>-1</sup> )	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] (M)	CTR (g/dm <sup>3</sup> .h)	q <sub>co2</sub> (h <sup>1</sup> )
0	0	0.431	5383.3	582.0	5.1542	5.0707	0.0835	8.05	0.1989	0.050302	0.0788584182	1.35090	0.67905
1	6	0.555	5410.0	514.3	5.1513	5.0311	0.1202	8.03	0.2620	0.034172	0.0753092047	1.94667	0.74309
2	12	0.611	5473.3	469.7	5.1568	4.9902	0.1666	8.00	0.2902	0.027493	0.0710964738	2.69435	0.92835
3	18	0.704	5326.7	362.3	5.1435	4.9676	0.1759	8.00	0.3376	0.020999	0.0702826392	2.85256	0.84505
4	24	0.729	5340.0	284.0	5.1902	4.9390	0.2512	7.96	0.3504	0.017921	0.0640985288	4.03675	1.15201
5	30	0.854	5380.0	243.3	5.1721	4.8923	0.2798	7.94	0.4135	0.013428	0.0619224401	4.51112	1.09093
6	36	0.896	5386.7	192.0	5.1308	4.8510	0.2798	7.94	0.4350	0.011281	0.0619224401	4.54743	1.04529
7	42	0.960	4903.3	123.7	5.1724	4.7277	0.4447	7.86	0.4676	0.009292	0.0509152712	7.16981	1.53332
8	48	0.998	5230.0	151.7	5.1636	4.6893	0.4743	7.84	0.4867	0.007939	0.0491867425	7.66108	1.57406
9	54	1.053	5233.3	118.7	5.1472	4.5728	0.5744	7.79	0.5144	0.006736	0.0438377304	9.30706	1.80916
10	60	1.089	5193.3	97.0	5.1634	4.4664	0.6970	7.73	0.5329	0.005907	0.0381810671	11.25737	2.11243
11	66	1.176	5193.3	80.0	5.1628	4.3931	0.7697	7.70	0.5769	0.005049	0.0352247615	12.43355	2.15508
12	72	1.170	5480.0	73.0	5.1765	4.3838	0.7927	7.68	0.5739	0.004809	0.0343437775	12.77194	2.22547
13	78	1.226	5550.0	64.0	5.1243	4.3126	0.8117	7.68	0.6023	0.004465	0.0336393861	13.21003	2.19326
14	84	1.256	5310.0	55.3	5.1475	4.2446	0.9029	7.63	0.6176	0.004372	0.0304682887	14.62883	2.36870
15	90	1.296	5300.0	49.7	5.1430	4.2122	0.9308	7.62	0.6379	0.004378	0.0295697778	15.09336	2.36595
16	96	1.319	5373.3	45.3	5.1249	4.1532	0.9717	7.60	0.6492	0.004572	0.0283040160	15.81290	2.43560
17	102	1.393	5530.0	39.7	5.1134	4.1309	0.9825	7.60	0.6871	0.004694	0.0279800226	16.02492	2.33215
18	108	1.392	5640.0	38.0	5.1781	4.1695	1.0086	7.58	0.6863	0.005193	0.0272174893	16.24410	2.36677
19	114	1.455	5646.7	29.7	5.1412	4.1065	1.0347	7.57	0.7184	0.005547	0.0264757372	16.78485	2.33658
20	120	1.457	5675.0	29.7	5.1823	4.1104	1.0719	7.55	0.7195	0.006238	0.0254593940	17.25082	2.39761
21	126	1.480	5703.3	25.7	5.1678	4.0783	1.0895	7.55	0.7313	0.006937	0.0249947077	17.58315	2.40453

22	132	1.570	5455.0	37.3	5.1364	4.0226	1.1138	<i>0.7770</i>	0.007387	0.0243695810	18.08468	2.32750
23	138	1.665	5206.7	29.7	5.1738	4.0156	1.1582	<i>0.8249</i>	0.007866	0.0232727691	18.66893	2.26307
24	144	1.694	5213.3	18.7	5.1543	3.9560	1.1983	<i>0.8398</i>	0.008716	0.0223279094	19.38960	2.30889
25	150	1.773	5164.3	43.7	5.1574	3.9299	1.2275	<i>0.8797</i>	0.009358	0.0216694586	19.84957	2.25635
26	156	1.966	5155.3	32.3	5.1643	3.8257	1.3386	<i>0.9778</i>	0.009437	0.0193574462	21.61661	2.21081
27	162	2.079	4913.3	25.7	5.1714	3.8054	1.3660	<i>1.0352</i>	0.009599	0.0188299021	22.02997	2.12819
28	168	2.161	5210.0	13.3	5.1861	3.8086	1.3775	<i>1.0763</i>	0.009574	0.0186143580	22.15211	2.05827
29	174	2.244	5190.0	20.7	5.1735	3.7429	1.4306	<i>1.1186</i>	0.010247	0.0176542008	23.06109	2.06160
30	180	2.452	5180.0	15.3	5.1429	3.6612	1.4817	<i>1.2239</i>	0.010380	0.0167821679	24.02700	1.96315
31	186	2.588	5170.0	9.3	5.1734	3.6801	1.4933	<i>1.2932</i>	0.010846	0.0165900640	24.07339	1.86154
32	192	2.931	4966.7	8.7	5.1562	3.5357	1.6205	<i>1.4668</i>	0.010520	0.0146503521	26.21053	1.78692
33	198	3.085	5066.7	11.3	5.1473	3.4504	1.6969	<i>1.5449</i>	0.010463	0.0136096846	27.49344	1.77963
34	204	3.248	5093.3	13.0	5.1142	3.3644	1.7498	<i>1.6276</i>	0.010239	0.0129374314	28.53496	1.75319

## c. Limbah 1:2 (OD 0.2)

Data ke-	Waktu (jam)	OD	Io (lux)	Ib (lux)	Yin (%)	Yout (%)	$\Delta Y$ (%)	pH	X (g/L)	$\mu$ (h <sup>-1</sup> )	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] (M)	CTR (g/dm <sup>3</sup> .h)	q <sub>CO<sub>2</sub></sub> (h <sup>-1</sup> )
0	0	0.191	6020.0	1079.3	5.1345	5.1128	0.0217	8.03	0.0776	0.1029	0.07618	0.35279	0.45486
1	6	0.202	6236.7	1057.0	5.1867	4.9128	0.2739	8.00	0.0831	0.0914	0.07110	4.40445	5.29763
2	12	0.281	6193.3	816.3	5.1376	4.8828	0.2548	7.80	0.1232	0.0586	0.04486	4.13649	3.35754
3	18	0.440	6706.7	574.0	5.1876	4.8728	0.3148	7.80	0.2037	0.0336	0.04486	5.06122	2.48501
4	24	0.516	7126.7	395.0	5.1421	4.7728	0.3693	7.75	0.2422	0.0267	0.03998	5.98993	2.47293
5	30	0.553	7193.3	275.3	5.1890	4.7428	0.4462	7.70	0.2612	0.0233	0.03563	7.17174	2.74621
6	36	0.644	7213.3	190.7	5.1902	4.5628	0.6274	7.60	0.3071	0.0186	0.02830	10.08169	3.28255
7	42	0.704	7556.7	145.3	5.1890	4.2328	0.9562	7.50	0.3376	0.0159	0.02248	15.36857	4.55284
8	48	0.641	7850.0	108.0	5.1490	4.1113	1.0377	7.50	0.3054	0.0142	0.02248	16.80806	5.50416
9	54	0.811	8460.0	91.7	5.1123	3.8828	1.2295	7.50	0.3917	0.0118	0.02248	20.05758	5.12039
10	60	0.831	8150.0	63.0	5.1098	3.7623	1.3475	7.50	0.4018	0.0106	0.02248	21.99331	5.47370
11	66	0.908	8273.3	62.0	5.1432	3.6379	1.5053	7.40	0.4410	0.0091	0.01786	24.40927	5.53473
12	72	0.896	8330.0	49.3	5.1321	3.5676	1.5645	7.30	0.4349	0.0080	0.01419	25.42409	5.84596
13	78	0.839	5933.3	31.3	5.1376	3.4234	1.7142	7.30	0.4059	0.0070	0.01419	27.82695	6.85629
14	84	0.850	6326.7	34.3	5.1234	3.2399	1.8835	7.30	0.4118	0.0060	0.01419	30.65994	7.44607
15	90	0.884	5793.3	32.0	5.1134	3.1599	1.9535	7.23	0.4289	0.0053	0.01217	31.86159	7.42954
16	96	1.042	6010.0	28.3	5.1890	3.1436	2.0454	7.20	0.5088	0.0043	0.01127	32.87443	6.46104
17	102	1.137	5876.7	27.7	5.1412	3.0857	2.0555	7.20	0.5574	0.0034	0.01127	33.34427	5.98200
18	108	1.331	5246.7	27.3	5.1876	2.9845	2.2031	7.20	0.6558	0.0024	0.01127	35.41893	5.40104
19	114	1.316	5016.7	24.3	5.1521	2.9765	2.1756	7.20	0.6482	0.0019	0.01127	35.21676	5.43334

20	120	1.309	5320.0	36.0	5.0976	2.9663	2.1313	7.15	6.4455	<i>0.6446</i>	0.0014	0.01004	34.86851	5.40974
21	126	1.251	5390.0	38.3	5.1532	2.9543	2.1989	7.15	6.1495	<i>0.6150</i>	0.0009	0.01004	35.58633	5.78686
22	132	1.200	4900.0	55.7	5.1321	2.8847	2.2474	7.10	5.8936	<i>0.5894</i>	0.0004	0.00895	36.52078	6.19668
23	138	1.158	5476.7	43.3	5.1765	2.7635	2.4130	7.10	5.6778	<i>0.5678</i>	-0.0001	0.00895	38.87552	6.84693
24	144	1.123	5180.0	55.0	5.1290	2.7561	2.3729	7.00	5.5021	<i>0.5502</i>	-0.0007	0.00711	38.58351	7.01251
25	150	1.097	5093.3	13.0	5.1809	2.7461	2.4348	7.00	5.3665	<i>0.5367</i>	-0.0012	0.00711	39.19342	7.30335
26	156	1.078	4943.3	8.0	5.1678	2.7361	2.4317	7.00	5.2711	<i>0.5271</i>	-0.0018	0.00711	39.24275	7.44489
27	162	1.067	5083.3	9.3	5.1012	2.7111	2.3901	7.00	5.2157	<i>0.5216</i>	-0.0029	0.00711	39.07498	7.49180
28	168	1.107	5246.7	9.0	5.1456	2.7008	2.4448	7.00	5.4204	<i>0.5420</i>	-0.0034	0.00711	39.62438	7.31023
29	174	1.141	5263.3	9.0	5.1678	2.7002	2.4676	7.00	5.5944	<i>0.5594</i>	-0.0040	0.00711	39.82211	7.11821
30	180	1.074	5076.7	8.3	5.1890	2.7000	2.4890	7.00	5.2521	<i>0.5252</i>	-0.0046	0.00711	40.00366	7.61670
31	186	1.091	5250.0	10.3	5.1123	2.6990	2.4133	6.90	5.3358	<i>0.5336</i>	-0.0052	0.00565	39.36899	7.37827
32	192	1.134	5230.0	11.0	5.1963	2.6970	2.4993	6.90	5.5564	<i>0.5556</i>	-0.0030	0.00565	40.11285	7.21922
33	198	1.114	5513.3	9.0	5.1431	2.6990	2.4441	6.90	5.4550	<i>0.5455</i>	-0.0008	0.00565	39.63267	7.26538
34	204	1.270	5160.0	27.0	5.1987	2.6986	2.5001	6.80	6.2462	<i>0.6246</i>	0.0014	0.00449	40.10717	6.42105

## d. Limbah 1:1 (OD 0.2)

Data ke-	Waktu (jam)	OD	Io (lux)	Ib (lux)	Yin (%)	Yout (%)	$\Delta Y$ (%)	pH	X (g/L)	$\mu$ (h <sup>-1</sup> )	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] (M)	CTR (g/dm <sup>3</sup> .h)	q <sub>CO<sub>2</sub></sub> (h <sup>-1</sup> )
0	0	0.200	5198.7	863.3	5.1150	5.0041	0.1109	8.21	0.0820	0.0266	0.11399	1.80820	2.20646
1	6	0.345	5250.0	790.0	5.1276	4.9330	0.1946	7.99	0.1553	0.0178	0.06868	3.16575	2.03821
2	12	0.355	5333.3	718.0	5.1568	4.3029	0.8539	7.66	0.1606	0.0163	0.03213	13.81036	8.60137
3	18	0.440	5573.3	665.0	5.1655	4.1938	0.9717	7.60	0.2037	0.0138	0.02830	15.68862	7.70296
4	24	0.482	5510.0	555.7	5.1438	3.9522	1.1916	7.50	0.2250	0.0133	0.02248	19.32035	8.58797
5	30	0.433	5263.3	467.7	5.1571	4.0212	1.1359	7.53	0.2001	0.0140	0.02381	18.37013	9.17956
6	36	0.494	5483.3	397.0	5.1702	3.8998	1.2704	7.47	0.2312	0.0144	0.02074	20.49167	8.86356
7	42	0.495	4680.0	318.0	5.1798	3.8868	1.2930	7.46	0.2316	0.0149	0.02027	20.81857	8.99018
8	48	0.557	5130.0	241.3	5.1389	3.8572	1.2817	7.46	0.2630	0.0136	0.02050	20.80022	7.90853
9	54	0.597	4900.0	200.3	5.1542	3.8384	1.3158	7.45	0.2833	0.0130	0.01981	21.28987	7.51496
10	60	0.670	5683.3	197.3	5.1374	3.7874	1.3500	7.43	0.3203	0.0118	0.01914	21.91541	6.84172
11	66	0.684	5796.7	149.0	5.1623	3.7894	1.3729	7.42	0.3274	0.0117	0.01870	22.18003	6.77418
12	72	0.793	5926.7	145.0	5.1728	3.7769	1.3959	7.41	0.3829	0.0110	0.01827	22.50579	5.87818
13	78	0.796	5586.0	111.0	5.1477	3.6707	1.4770	7.38	0.3842	0.0097	0.01686	23.92909	6.22797
14	84	0.783	5760.0	107.7	5.1235	3.6232	1.5003	7.37	0.3775	0.0095	0.01648	24.42193	6.47007
15	90	0.891	5696.7	84.7	5.1343	3.6223	1.5120	7.36	0.4325	0.0092	0.01629	24.56051	5.67834
16	96	0.914	5216.7	60.7	5.1281	3.5100	1.6181	7.32	0.4441	0.0089	0.01468	26.31554	5.92599
17	102	0.949	5050.0	57.3	5.1717	3.5060	1.6657	7.30	0.4617	0.0086	0.01402	26.86185	5.81816
18	108	1.011	4906.7	48.7	5.1675	3.3935	1.7740	7.25	0.4934	0.0079	0.01264	28.63104	5.80292
19	114	1.127	5540.0	40.7	5.1321	3.3581	1.7740	7.25	0.5523	0.0073	0.01264	28.82853	5.21935
20	120	1.107	5270.0	28.7	5.1867	3.3519	1.8348	7.23	0.5422	0.0070	0.01194	29.50271	5.44130
21	126	1.138	5340.0	34.3	5.1423	3.1098	2.0325	7.15	0.5574	0.0067	0.00993	32.96371	5.91362

22	132	1.170	5490.0	33.0	5.1431	3.0981	2.0450	7.14	0.5739	0.0063	0.00981	33.16151	5.77827
23	138	1.218	5526.7	18.3	5.1955	3.1505	2.0450	7.14	0.5980	0.0060	0.00981	32.82706	5.48957
24	144	1.216	5110.0	21.3	5.1559	3.0732	2.0827	7.13	0.5972	0.0056	0.00948	33.68827	5.64075
25	150	1.260	5353.3	20.3	5.1505	3.2051	1.9454	7.18	0.6195	0.0052	0.01076	31.50122	5.08461
26	156	1.323	5343.3	20.0	5.1637	3.1686	1.9951	7.16	0.6517	0.0047	0.01028	32.22255	4.94469
27	162	1.388	4996.7	14.7	5.1568	3.1493	2.0075	7.16	0.6842	0.0042	0.01016	32.46715	4.74520
28	168	1.520	4940.0	11.7	5.1475	3.1025	2.0450	7.14	0.7514	0.0037	0.00981	33.13317	4.40947
29	174	1.594	5260.0	13.0	5.1485	3.0658	2.0827	7.13	0.7889	0.0032	0.00948	33.73669	4.27620
30	180	1.640	5393.3	14.3	5.1797	3.0844	2.0953	7.12	0.8123	0.0028	0.00937	33.73617	4.15337
31	186	1.543	5573.3	13.0	5.1476	3.0018	2.1458	7.10	0.7632	0.0027	0.00895	34.76541	4.55498
32	192	1.517	5580.0	11.0	5.1879	3.0167	2.1712	7.09	0.7497	0.0024	0.00875	34.90339	4.65559
33	198	1.493	5726.7	13.3	5.1331	2.9109	2.2222	7.07	0.7375	0.0020	0.00835	36.10445	4.89578
34	204	1.443	5423.3	12.0	5.1864	2.9386	2.2478	7.06	0.7125	0.0017	0.00816	36.14517	5.07286

## e. Limbah 1:3 (OD 0.2)

Data ke-	Waktu (jam)	OD	Io (lux)	Ib (lux)	Yin (%)	Yout (%)	$\Delta Y$ (%)	pH	X (g/L)	$\mu$ (h <sup>-1</sup> )	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] (M)	CTR (g/dm <sup>3</sup> .h)	q <sub>CO<sub>2</sub></sub> (h <sup>-1</sup> )
0	0	0.150	5006.7	786.0	5.1752	5.1021	0.0731	8.30	0.0567	0.1115	0.14186	1.17801	2.07616
1	6	0.222	5423.3	847.3	5.1563	5.0083	0.1480	8.01	0.0933	0.0676	0.07275	2.39378	2.56623
2	12	0.326	5800.0	742.3	5.1578	4.9444	0.2134	7.98	0.1460	0.0423	0.06712	3.45097	2.36400
3	18	0.373	5180.0	595.3	5.1555	4.8948	0.2607	7.95	0.1697	0.0355	0.06336	4.21752	2.48543
4	24	0.430	5250.0	549.0	5.1598	4.8417	0.3181	7.92	0.1986	0.0300	0.05914	5.14120	2.58898
5	30	0.496	5656.7	479.3	5.1601	4.8324	0.3277	7.92	0.2322	0.0254	0.05846	5.29648	2.28061
6	36	0.561	5526.7	368.7	5.1608	4.8331	0.3277	7.92	0.2652	0.0217	0.05846	5.29576	1.99704
7	42	0.589	5616.7	389.0	5.1611	4.8237	0.3374	7.91	0.2795	0.0200	0.05779	5.45130	1.95045
8	48	0.656	5636.7	265.7	5.1635	4.8165	0.3470	7.91	0.3132	0.0174	0.05713	5.60485	1.78943
9	54	0.705	5283.3	209.7	5.1742	4.8272	0.3470	7.91	0.3382	0.0157	0.05713	5.59325	1.65363
10	60	0.797	5100.0	174.3	5.1745	4.7200	0.4545	7.85	0.3849	0.0145	0.05033	7.32595	1.90334
11	66	0.857	5303.3	164.3	5.1788	4.7144	0.4644	7.85	0.4150	0.0131	0.04976	7.47908	1.80223
12	72	0.855	5333.3	143.3	5.1345	4.6403	0.4942	7.83	0.4141	0.0119	0.04807	8.02720	1.93828
13	78	0.976	5003.3	126.3	5.1343	4.5801	0.5542	7.80	0.4756	0.0105	0.04486	9.00290	1.89296
14	84	1.030	5610.0	96.0	5.1475	4.5427	0.6048	7.78	0.5028	0.0098	0.04235	9.79885	1.94893
15	90	1.082	5160.0	69.0	5.1284	4.5134	0.6150	7.77	0.5292	0.0091	0.04186	10.00067	1.88963
16	96	1.133	5293.3	61.7	5.1259	4.4289	0.6970	7.73	0.5550	0.0086	0.03818	11.33973	2.04327
17	102	1.132	5393.3	50.3	5.1771	4.5519	0.6252	7.77	0.5546	0.0079	0.04139	10.07067	1.81575
18	108	1.230	5423.3	47.0	5.1531	4.4458	0.7073	7.73	0.6043	0.0073	0.03774	11.44712	1.89428
19	114	1.276	5293.3	37.7	5.1632	4.3621	0.8011	7.68	0.6279	0.0069	0.03403	12.94057	2.06099
20	120	1.322	5296.7	36.0	5.1498	4.1020	1.0478	7.57	0.6507	0.0064	0.02611	16.96920	2.60768
21	126	1.365	5363.3	36.0	5.1678	4.0208	1.1470	7.52	0.6729	0.0060	0.02354	18.51120	2.75104

22	132	1.353	5146.7	31.3	5.1709	3.8323	1.3386	7.44	0.6665	0.0057	0.01936	21.58902	3.23936
23	138	1.448	5486.7	30.0	5.1835	3.8335	1.3500	7.43	0.7150	0.0053	0.01914	21.72050	3.03783
24	144	1.488	5400.0	28.3	5.1679	3.8156	1.3523	7.43	0.7350	0.0050	0.01909	21.82301	2.96920
25	150	1.525	5583.3	25.7	5.1790	3.8175	1.3615	7.43	0.7537	0.0047	0.01892	21.92379	2.90867
26	156	1.561	5386.7	28.7	5.1638	3.7909	1.3729	7.42	0.7723	0.0044	0.01870	22.17359	2.87118
27	162	1.596	5366.7	25.0	5.1291	3.7516	1.3775	7.42	0.7901	0.0042	0.01861	22.39829	2.83487
28	168	1.630	5460.0	26.7	5.1724	3.7696	1.4028	7.41	0.8072	0.0040	0.01815	22.61901	2.80216
29	174	1.662	5836.7	25.7	5.1216	3.6980	1.4236	7.40	0.8236	0.0037	0.01778	23.18176	2.81476
30	180	1.693	5880.0	22.3	5.1513	3.6743	1.4770	7.38	0.8392	0.0035	0.01686	23.91237	2.84929
31	186	1.723	5900.0	21.3	5.1476	3.6403	1.5073	7.36	0.8542	0.0034	0.01636	24.42123	2.85903
32	192	1.751	6203.3	16.3	5.1379	3.5813	1.5566	7.34	0.8684	0.0033	0.01559	25.26740	2.90965
33	198	1.777	5710.0	15.0	5.1895	3.6069	1.5826	7.33	0.8819	0.0031	0.01520	25.43318	2.88391
34	204	1.803	5513.3	13.0	5.1769	3.6179	1.5590	7.34	0.8947	0.0030	0.01555	25.11499	2.80715

## LAMPIRAN B

### Contoh Pengolahan Data

#### B.1. Pengolahan Data X

Pada penelitian sebelumnya telah didapatkan kurva kalibrasi antara X Vs OD untuk menentukan berat kering sel pada kepadatan tertentu.

Penentuan Berat Kering Sel (X)

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

$$y = -0.019478 + 0.50716x$$

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

Misal besar OD pada detik ke 0 sebesar 0,243. Maka :

$$y = -0.019478 + 0.50716x$$

$$y = 0.1039 \text{ gram/liter}$$

$$X = 0.1039 \text{ gram/liter}$$

#### B.2. Pengolahan Data $[\text{HCO}_3^-]$

Seperti telah dijelaskan pada bab 3 bahwa nilai pH dapat digunakan untuk menghitung  $[\text{HCO}_3^-]$ . Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$[\text{HCO}_3^-] = \left( \frac{K_{\text{CO}_2}}{H_{\text{CO}_2}} \right) \left( \frac{y_{\text{CO}_2} \cdot P_T}{10^{-\text{pH}}} \right) \left( \frac{\text{EXP} \left[ A_k \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_k \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) + C_k \left( \frac{T}{T_0} - 1 \right) \right]}{\text{EXP} \left[ A_h \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_h \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) + C_h \left( \frac{T}{T_0} - 1 \right) \right]} \right)$$

Dimana :

$P_T$  = tekanan operasi (atm)

$y_{\text{CO}_2}$  = konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  yang diumpankan (5%)

$K_{\text{CO}_2}$  =  $4.38 \times 10^{-7}$

$H_{\text{CO}_2}$  = 2900 KPa/mol

T = temperatur operasi

T<sub>0</sub> = temperatur standar

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

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

Konsentrasi bikarbonat [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] pada jam ke-0 didapatkan dengan memasukan nilai pH pada pengaturan kecepatan hisap jam ke-0 yaitu 6,39 ke dalam persamaan di atas dengan nilai variabel-variabel lain yang telah disebutkan diatas, sehingga akan didapatkan nilai [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] pada jam ke-0 adalah 1,76 mM

### B.3. Pengolahan Data CTR (Carbondioxide Transfer Rate)

Contoh perhitungan konsentrasi bikarbonat CTR pada penelitian ini :

Rumus yang digunakan :

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

Dalam penelitian ini :

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

$$\alpha_{CO_2} = \frac{85.8 \frac{dm}{h} \cdot 3.2824 \frac{dm^2}{dm^3} \cdot 44 \frac{g}{mol} \cdot 1 atm}{6 \frac{dm^3}{dm^3} \cdot 0.082 \frac{L atm}{mol \cdot K} \cdot 302 K}$$

$$\alpha_{CO_2} = 83.4 \frac{g}{dm^3 \cdot h}$$

CTR pada pengaturan kecepatan hisap jam ke-0 didapatkan dengan memasukan nilai  $\Delta y_{CO_2}$  pada pengaturan kecepatan hisap jam ke-0 yaitu 0.4236 ke dalam persamaan di atas, sebagai berikut :

$$CTR_{t=0} = 0.4236 \times 50,61 = 21.44173 \text{ g/dm}^3.h$$

### B.4. Pengolahan Data q<sub>CO2</sub>

Contoh perhitungan konsentrasi bikarbonat q<sub>CO2</sub> pada penelitian ini :

Rumus yang digunakan :

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

$q_{CO_2}$  pada pengaturan kecepatan hisap jam ke-0 didapatkan dengan memasukan nilai  $\Delta y_{CO_2}$  dan  $X$  pada pengaturan kecepatan hisap jam ke-0 yaitu 2,7 dan 0,098 g/dm<sup>3</sup>.h ke dalam persamaan di atas, sebagai berikut :

$$q_{CO_2} = \frac{0.4236 \cdot 50.61 \text{ g/dm}^3 \cdot h}{0.1039 \text{ g/dm}^3 \cdot h} = 206.3368 \text{ h}^{-1}$$

## LAMPIRAN C

### Peralatan Penelitian

#### a. Peralatan/Instrumen untuk Pengukuran

##### 1. Spektrofotometer



##### 2. Gas Kromatografi



## 3. pH meter



## 4. Neraca

**b. Peralatan Pendukung Analisa Kandungan Esensial (Lipid)***1. Microwave*

## 2. Sentrifuge

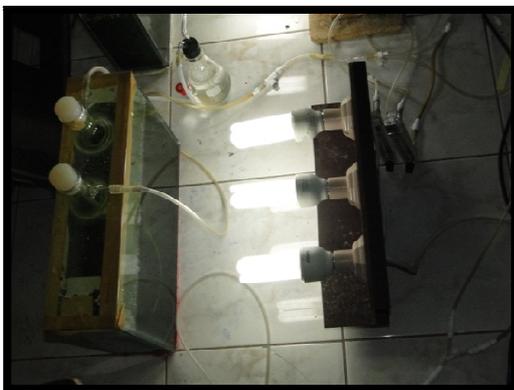


## c. Peralatan Pendukung Kultivasi

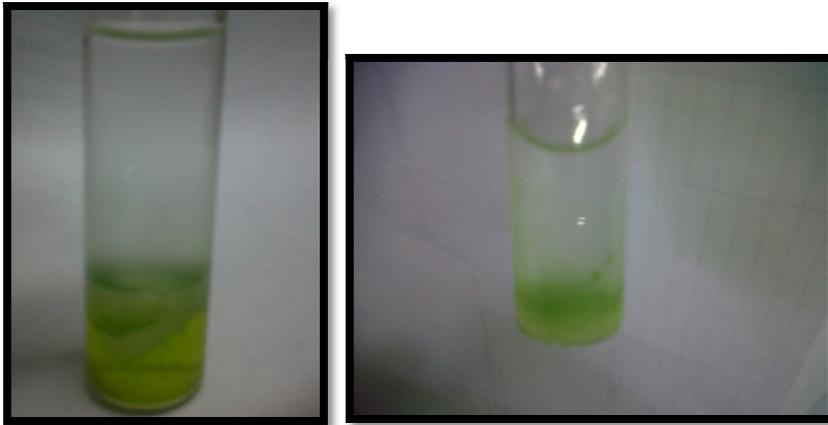
### 1. Kompresor



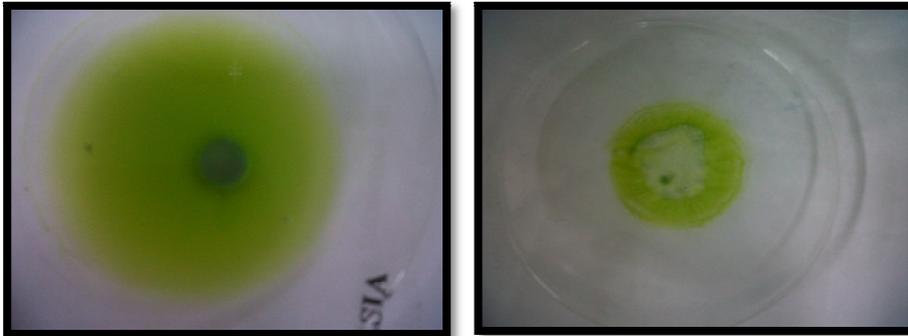
### 2. Fotobioreaktor



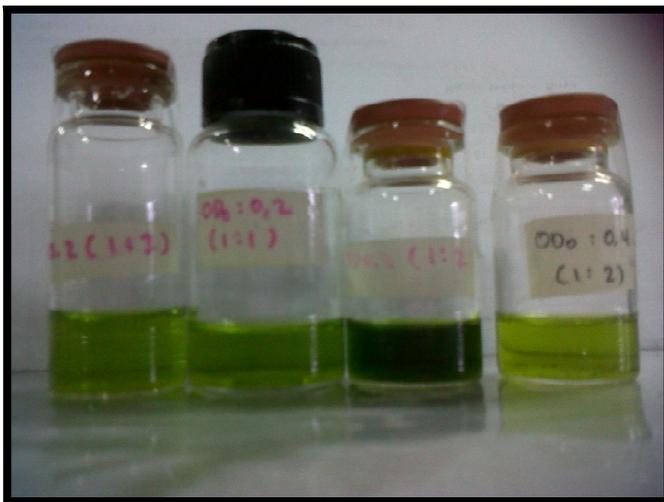
#### d. Ekstrak Lipid



a. Sebelum dan setelah campuran lipid dan kloroform diambil



b. Sebelum dan setelah kloroform menguap

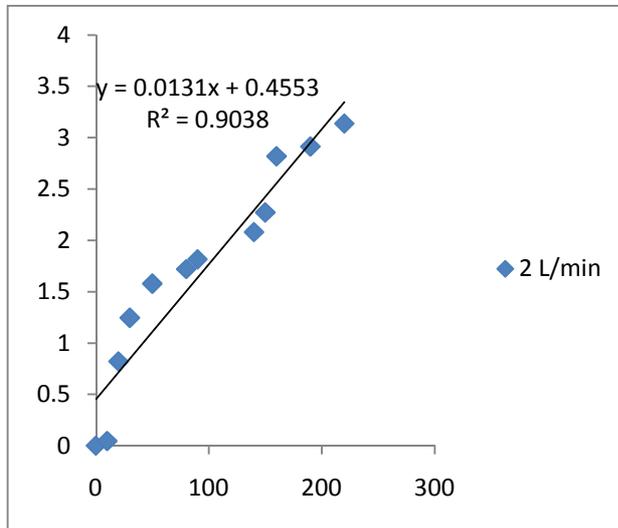


c. Lipid

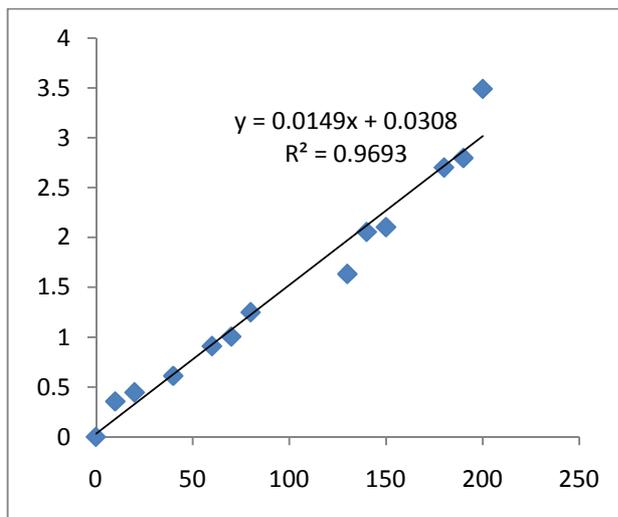
## LAMPIRAN D

### Penentuan nilai Kla Udara

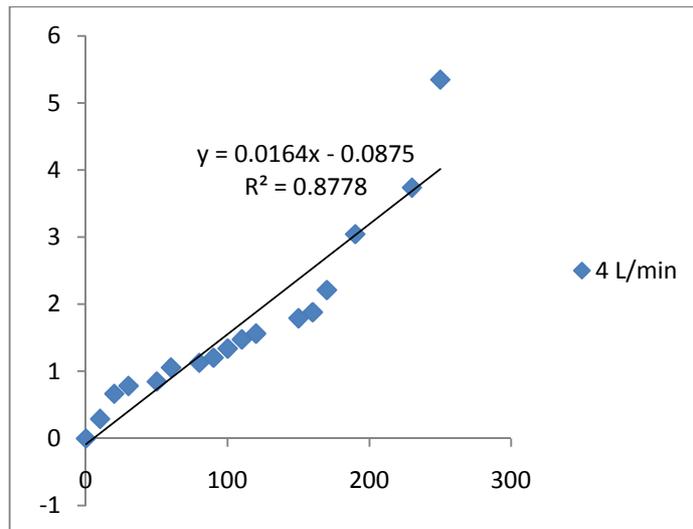
a. DO Vs t (dissolved oxygen, ppm) pada Q 2 L.m<sup>-1</sup>



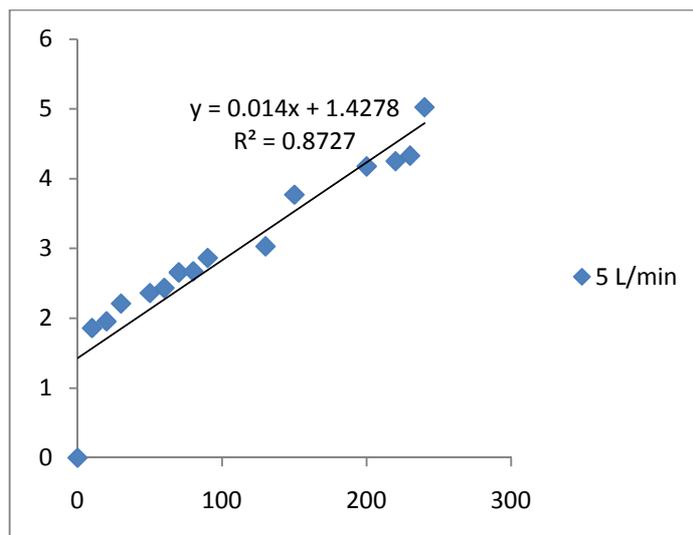
b. DO Vs t (dissolved oxygen, ppm) pada Q 3 L.m<sup>-1</sup>



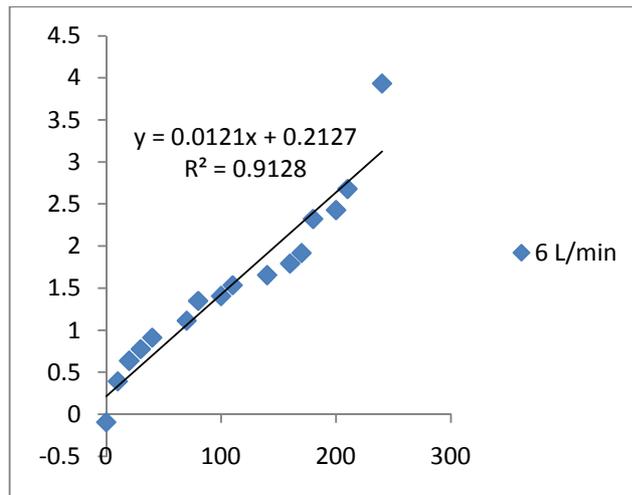
c. Do Vs t (dissolved oxygen, ppm) pada Q 4 L.m<sup>-1</sup>



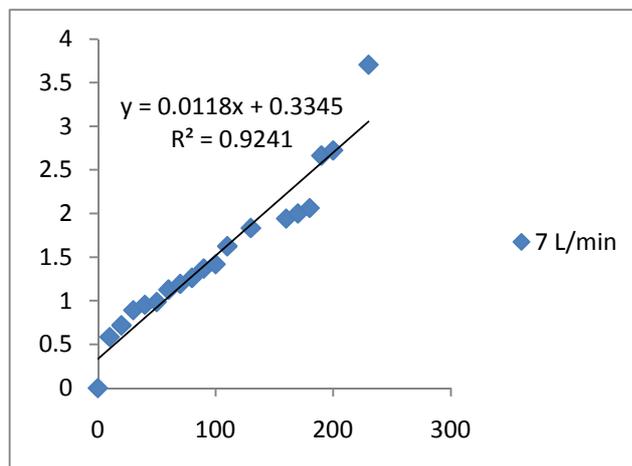
d. Do Vs t (dissolved oxygen, ppm) pada Q 5 L.m<sup>-1</sup>



e. Do Vs t (dissolved oxygen, ppm) pada Q 6 L.m<sup>-1</sup>



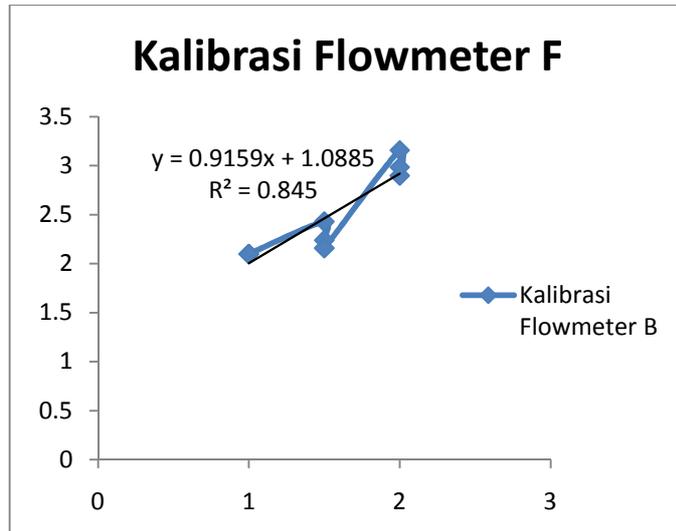
f. Do Vs t (dissolved oxygen, ppm) pada Q 7 L.m<sup>-1</sup>



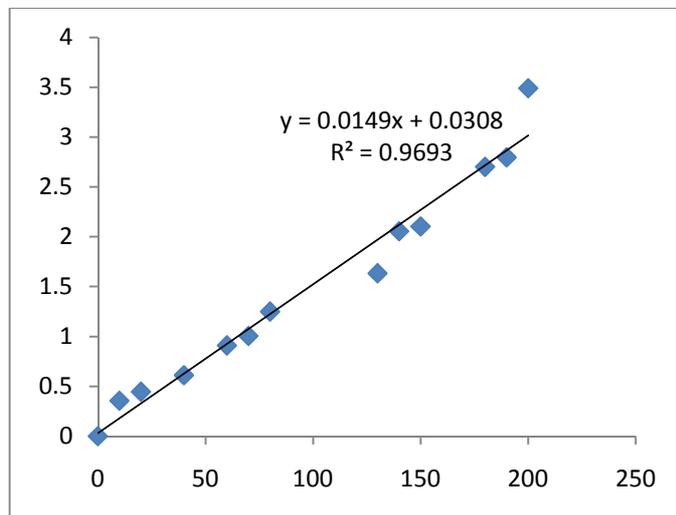
## LAMPIRAN E

### Kalibrasi Flowmeter

a.  $Q_{\text{aktual}}$  Vs  $Q_{\text{flowmeter}}$  pada flowmeter F



b.  $Q_{\text{aktual}}$  Vs  $Q_{\text{flowmeter}}$  pada flowmeter A





HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/02/IV/2011  
Nama Pengirim / Instansi : Novida Theodora P  
Nama Contoh / Kedalaman : Limbah Septic Tank (resapan)  
Kode Sampel : 27  
Lokasi Pengambilan Sampel : Asrama Putri  
Tanggal Penerimaan Sampel : 21 April 2011

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL ANALISA
1	Ammonia (NH <sub>3</sub> )	mg/L	108
2	Fosfat (PO <sub>4</sub> )	mg/L	72.7
3	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	448
4	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	103.75

*di*

**Catatan :**

- Pengambilan sample dilakukan oleh konsumen bukan merupakan tanggung jawab laboratorium

Depok, 29 April 2011  
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Tembusan : Arsip



UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
**LABORATORIUM TEKNIK PENYEHATAN & LINGKUNGAN**

Kampus Baru UI Telp : (021) 7875031, 7270029 Fax. (021) 7270028 Depok 16424 Indonesia

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/02/VI/2011  
Nama Pengirim / Instansi : Novida Theodora P  
Nama Contoh / Kedalaman : Limbah OD<sub>0</sub> = 0.2 (1:1) setelah running 200 Jam  
Kode Sampel : 32  
Lokasi Pengambilan Sampel :  
Tanggal Penerimaan Sampel : 01 Juni 2011

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL ANALISA
1	Ammonia (NH <sub>3</sub> )	mg/L	5.4
2	Fosfat (PO <sub>4</sub> )	mg/L	25.24
3	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	224
4	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	20.3

*clw*

**Catatan :**

- Pengambilan sample dilakukan oleh konsumen bukan merupakan tanggung jawab laboratorium

Depok, 06 Juni 2011  
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Tembusan : Arsip



HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/01/V/2011  
Nama Pengirim / Instansi : Novida Theodora P  
Nama Contoh / Kedalaman : Limbah Septic Tank (resapan)  
Kode Sampel : 28  
Lokasi Pengambilan Sampel : Asrama Putri  
Tanggal Penerimaan Sampel : 05 Mei 2011

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL ANALISA
1	Ammonia (NH <sub>3</sub> )	mg/L	4
2	Fosfat (PO <sub>4</sub> )	mg/L	31
3	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	159.2
4	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	51.87

*Ok*

**Catatan :**

- Pengambilan sample dilakukan oleh konsumen bukan merupakan tanggung jawab laboratorium

Depok, 10 Mei 2011  
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. Irma Gusniati, MSc.  
NIP. 195501031985032001

Tembusan : Arsip



HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/02/VI/2011  
Nama Pengirim / Instansi : Novida Theodora P  
Nama Contoh / Kedalaman : Limbah OD<sub>0</sub> = 0.2 (1:3) setelah running 200 Jam  
Kode Sampel : 32  
Lokasi Pengambilan Sampel :  
Tanggal Penerimaan Sampel : 01 Juni 2011

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL ANALISA
1	Ammonia (NH <sub>3</sub> )	mg/L	20.8
2	Fosfat (PO <sub>4</sub> )	mg/L	30.41
3	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	109.6
4	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	20.3

*Handwritten signature*

**Catatan :**

- Pengambilan sample dilakukan oleh konsumen bukan merupakan tanggung jawab laboratorium

Depok, 06 Juni 2011  
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Tembusan : Arsip



UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
**LABORATORIUM TEKNIK PENYEHATAN & LINGKUNGAN**

Kampus Baru UI Telp : (021) 7875031, 7270029 Fax. (021) 7270028 Depok 16424 Indonesia

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/02/V/2011  
Nama Pengirim / Instansi : Novida Theodora P  
Nama Contoh / Kedalaman : Limbah OD<sub>0</sub> = 0.4 (running 200 Jam)  
Kode Sampel : 29  
Lokasi Pengambilan Sampel :  
Tanggal Penerimaan Sampel : 19 Mei 2011

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL ANALISA
1	Ammonia (NH <sub>3</sub> )	mg/L	18.7
2	Fosfat (PO <sub>4</sub> )	mg/L	63.8
3	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	520
4	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	0

*doi*

**Catatan :**

- Pengambilan sample dilakukan oleh konsumen bukan merupakan tanggung jawab laboratorium

Depok, 24 Mei 2011

Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. Irwan Gusman, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 195501041982032001

Tembusan : Arsip



HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/02/V/2011  
Nama Pengirim / Instansi : Novida Theodora P  
Nama Contoh / Kedalaman : Alga (0.2) + Limbah (pre-200 Jam)  
Kode Sampel : 29  
Lokasi Pengambilan Sampel :  
Tanggal Penerimaan Sampel : 19 Mei 2011

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL ANALISA
1	Ammonia (NH <sub>3</sub> )	mg/L	6.8
2	Fosfat (PO <sub>4</sub> )	mg/L	97.3
3	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	396
4	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	51.88

*Chia*

**Catatan :**

- Pengambilan sample dilakukan oleh konsumen bukan merupakan tanggung jawab laboratorium

Depok, 24 Mei 2011  
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Tembusan : Arsip