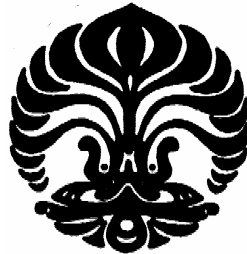


**KETAHANAN *Chlorella vulgaris* BUITENZORG
TERHADAP PENAMBAHAN GAS MODEL HASIL
PEMBAKARAN LPG (*LIQUEFIED PETROLEUM GAS*)**

SKRIPSI

OLEH

**DIDIT YUDI PERMANA
0404060209**



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

**KETAHANAN *Chlorella vulgaris* BUITENZORG TERHADAP
PENAMBAHAN GAS MODEL HASIL PEMBAKARAN LPG
(*LIQUEFIED PETROLEUM GAS*)**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 9 Juli 2008

Didit Yudi Permana

NPM. 0404060209

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul:

**KETAHANAN *Chlorella vulgaris* BUITENZORG TERHADAP
PENAMBAHAN GAS MODEL HASIL PEMBAKARAN LPG
(LIQUEFIED PETROLEUM GAS)**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 7 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 9 Juli 2008

Dosen Pembimbing

Ir. Dianursanti, MT.
NIP. 132 165 710

Dr. Ir. Anondho Wijanarko, M.Eng
NIP. 132 058 695

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Ir. Dianursanti, M.T
Dr. Ir. Anondho Wijanarko, M.Eng

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.

Depok, 9 Juli 2008

Didit Yudi Permana

Didit Yudi Permana
NPM 0404060209
Departemen Teknik Kimia

Dosen Pembimbing
I. Ir. Dianursanti, MT.
II. Dr. Ir. Anondho Wijanarko, M.Eng

KETAHANAN *Chlorella vulgaris* BUITENZORG TERHADAP PENAMBAHAN GAS MODEL HASIL PEMBAKARAN LPG (*LIQUEFIED PETROLEUM GAS*)

ABSTRAK

Mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg merupakan salah satu jenis mikroalga hijau yang banyak terdapat di Indonesia yang memiliki kemampuan sebagai penghasil biomassa dan dapat digunakan untuk mereduksi pemanasan global yang disebabkan oleh banyaknya aktifitas manusia dalam penggunaan bahan bakar fosil seperti LPG yang semakin meningkat.

Terdapat berbagai macam variabel yang dapat mempengaruhi pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg, diantaranya adalah pencahayaan, suplai CO₂ serta nutrisi yang cukup. Pada penelitian ini mikroalga akan diuji ketahanannya dengan adanya tambahan gas model hasil pembakaran LPG sebagai gas masukannya ke dalam medium kultur.

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya dimana akan dilakukan pada kondisi pencahayaan kontinu dengan intensitas cahaya yang disesuaikan dengan jumlah inokulum serta menggunakan hasil pembakaran LPG sebagai *carbon source*-nya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Chlorella sp.* memiliki ketahanan yang cukup baik yang ditandai dengan adanya laju pertumbuhan sel maksimum (μ_{max}) sebesar 0,016 h⁻¹ – 0,037 h⁻¹, berat akhir sel (X_{akhir}) sebesar 3,22.10⁻³ g/dm³ – 4,09.10⁻³ g/dm³ dan membutuhkan energi untuk melakukan metabolismenya (E_x) sebesar 85,04 J/g – 88,97 J/g pada tingkat efisiensi energi 0,81 % - 0,95 % dengan penambahan LPG pada kadar 0,3 % – 1 % volume.

Kata kunci : Ketahanan, LPG, *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Didit Yudi Permana NPM 0404060209 Chemical Departement Engineering	Counsellor I. Ir. Dianursanti, MT. II. Dr. Ir. Anondho Wijanarko, M.Eng
--	---

RESISTANCE OF *Chlorella vulgaris* BUITENZORG BY ADDING MODELING GAS OF COMBUSTION LPG (*LIQUEFIED PETROLEUM GAS*)

ABSTRACT

One of Indonesian resources is *Chlorella vulgaris* Buitenzorg, micro algae, which has ability in CO₂ fixation through photosynthesis process by converting CO₂ to carbon or biomass, valuable ones, such as polysaccharide, protein or lipid. Because of this ability, *Chlorella vulgaris* Buitenzorg can be used as one of solution to reduce the effects of global warming caused by human activities.

There are several variables which can affect CO₂ fixation process through photosynthesis, among them: lighting, CO₂ supply, and proper nutrition. The optimum CO₂ supply is needed in order to give an optimum condition for CO₂ fixation process and biomass growth. In this research, the microalgae will be tested its resistance with residue modeling gas of combustion LPG addition as input gas into its medium.

This research will use continuous lighting condition with appropriate intensity and inoculums net. Beside that, it will use residue gas of combustion LPG as its carbon source.

The result of this research shows that *Chlorella sp.* has a quite good resistance. It is supported by presence of maximum cell growth rate (μ_{max}) of 0,016 h⁻¹ – 0,037 h⁻¹, final cell weight (X_{final}) of 3,22.10⁻³ g/dm³ – 4,09.10⁻³ g/dm³ and energy necessity for metabolism (E_x) of 85,04 J/g – 88,97 J/g with energy efficiency of 0,81 % - 0,95 % by adding LPG of 0,3 % – 1 % volume.

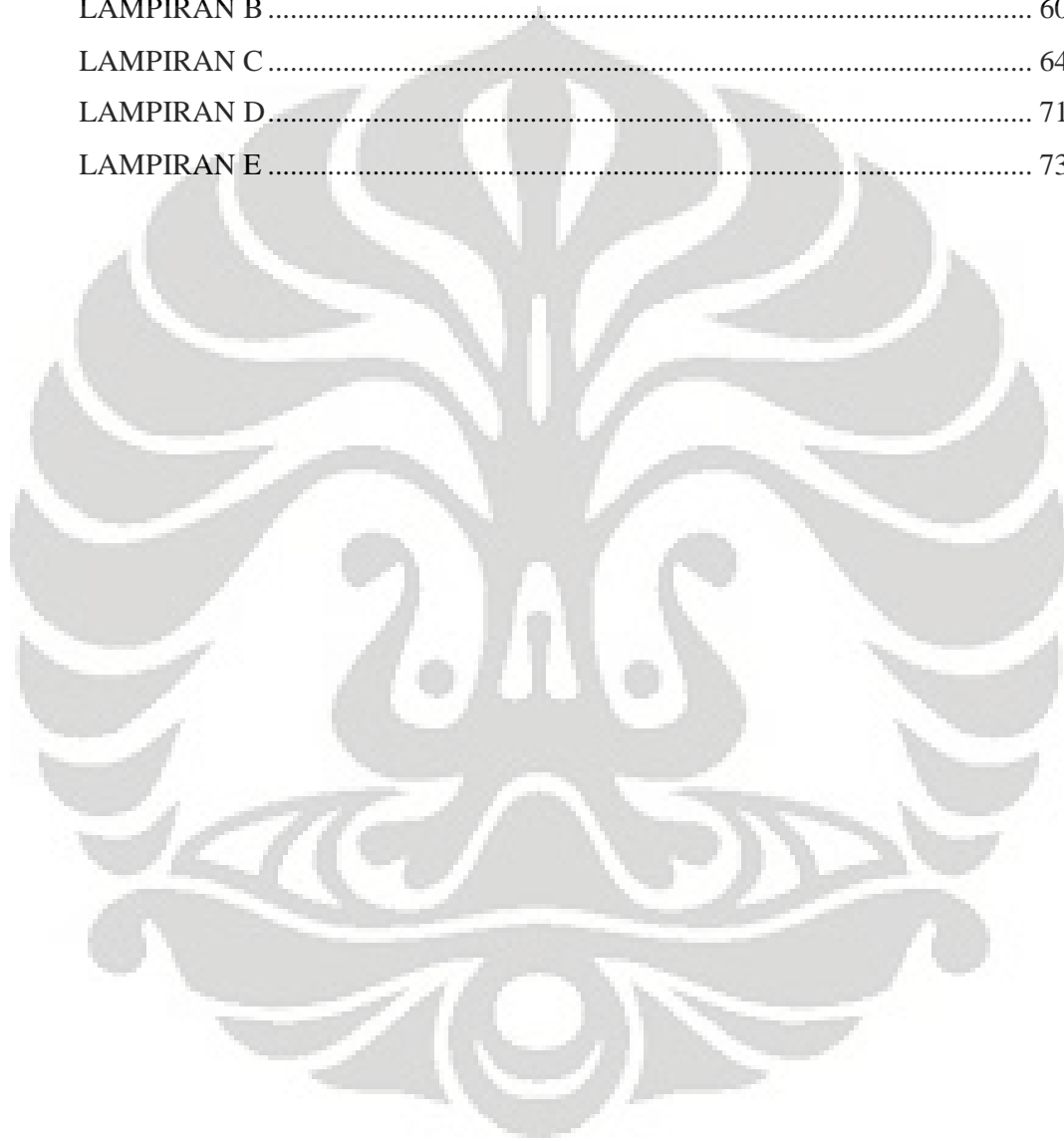
Key words: Resistance, LPG, *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR SINGKATAN.....	xiii
DAFTAR ISTILAH/SIMBOL.....	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.4 LINGKUP PERMASALAHAN.....	4
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 MIKROALGA <i>CHLORELLA vulgaris</i>	6
2.1.1 Taksonomi <i>Chlorella vulgaris</i>	7
2.1.2 Morfologi <i>Chlorella vulgaris</i>	7
2.1.3 Fase Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i>	9
2.1.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i>	11
2.2 PROSES FOTOSINTESIS.....	13
2.2.1 Deskripsi Umum Proses Fotosintesis.....	13
2.2.2 Mekanisme Reaksi Fotosintesis.....	14
2.2.3 Faktor yang mempengaruhi fotosintesis.....	18
2.3 FOTOBIOREAKTOR KOLOM GELEMBUNG.....	20

2.4 PEMANASAN GLOBAL	21
2.5 LPG (Liquefied Petroleum Gas)	23
BAB III	25
METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Diagram Alir Penelitian	25
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	26
3.2.1 Alat Penelitian.....	26
3.2.2 Bahan Penelitian	27
3.3 Variabel Penelitian.....	27
3.4 Prosedur Penelitian	28
3.4.1 Membuat Gas Model Sisa Pembakaran LPG.....	28
3.4.2 Sterilisasi Peralatan	28
3.4.3 Pembuatan Rangkaian Alat.....	29
3.4.4 Pembuatan Medium Beneck	30
3.4.5 Pembiakan Kultur Murni	31
3.4.6 Pembuatan Kurva Kalibrasi OD vs N_{sel} dan OD vs X.....	31
3.4.7 Penentuan Jumlah Inokulum <i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg.....	32
3.4.8 Variasi Persen Volume LPG Sebagai Gas Masukan	32
3.4.9 Pengambilan Data	33
3.5 Metode Perhitungan Hasil Observasi Data	33
3.5.1 Pengolahan Data OD ₆₀₀	34
3.5.2 Pengolahan Data pH.....	34
3.5.3 Pengolahan Data I.....	35
BAB IV	37
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 PEMBAHASAN UMUM	37
4.2 DATA PENELITIAN	39
4.3 PENGARUH PERSEN VOLUME LPG TERHADAP PERTUMBUHAN CHLORELLA vulgaris	42
4.3.1 Kerapatan Biomassa (X_{sel})	42
4.3.2 Laju Pertumbuhan Maksimum (μ_{max})	44
4.3.3 pH Kultur	46

4.3.4 Energi Untuk Produksi Biomassa <i>Chlorella</i>	48
BAB V	50
KESIMPULAN.....	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN A.....	55
LAMPIRAN B	60
LAMPIRAN C	64
LAMPIRAN D.....	71
LAMPIRAN E	73

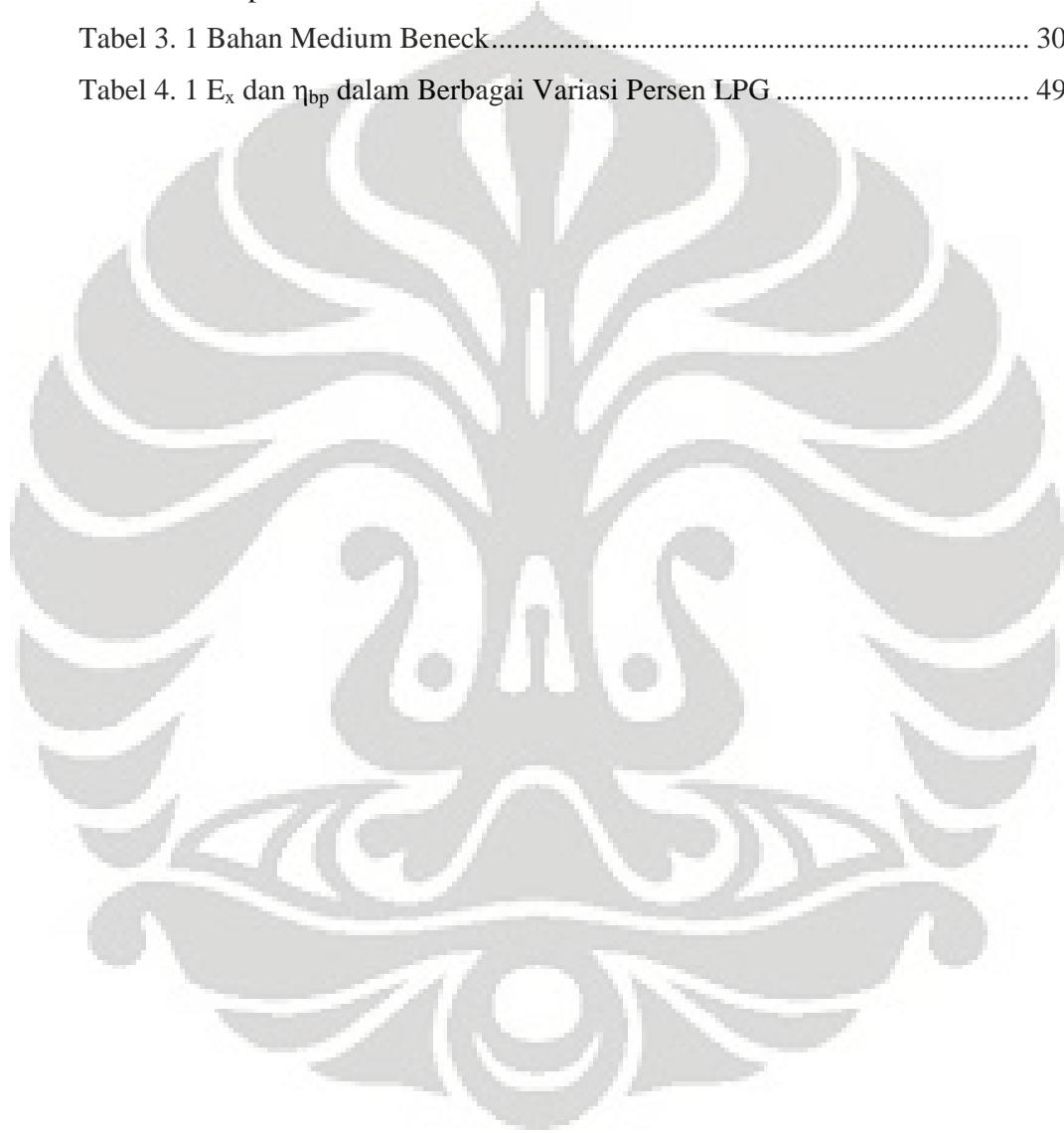


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Koloni <i>Chlorella vulgaris</i>	7
Gambar 2. 2 Struktur Sel <i>Chlorella vulgaris</i>	8
Gambar 2. 3 Kurva Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i>	10
Gambar 2. 4 Tahapan Fiksasi CO ₂ pada Siklus Calvin	15
Gambar 2. 5 Tahapan Reduksi 3- <i>phosphoglisarat</i> pada Siklus Calvin	16
Gambar 2. 6 Tahapan Regenerasi <i>ribulose-1,5-biphosphate</i> pada Siklus Calvin.	17
Gambar 2. 7 Proses Pengaktifan Enzim Fotosintesis.....	17
Gambar 2. 8 Siklus Calvin	18
Gambar 2. 9 Fotobioreaktor Kolom Gelembung	21
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3. 2 Rangkaian Alat Penelitian.....	29
Gambar 4. 1 Perkembangan Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i> pada Beberapa Variasi Persen Volume Gas LPG	41
Gambar 4. 2 Kerapatan Sel Pada Berbagai Variasi Persen Volume LPG	42
Gambar 4. 3 Laju Pertumbuhan Sel Pada Berbagai Variasi Persen Volume LPG	45
Gambar 4. 4 [HCO ₃ ⁻] dalam Medium pada Berbagai Variasi Persen Volume LPG	47

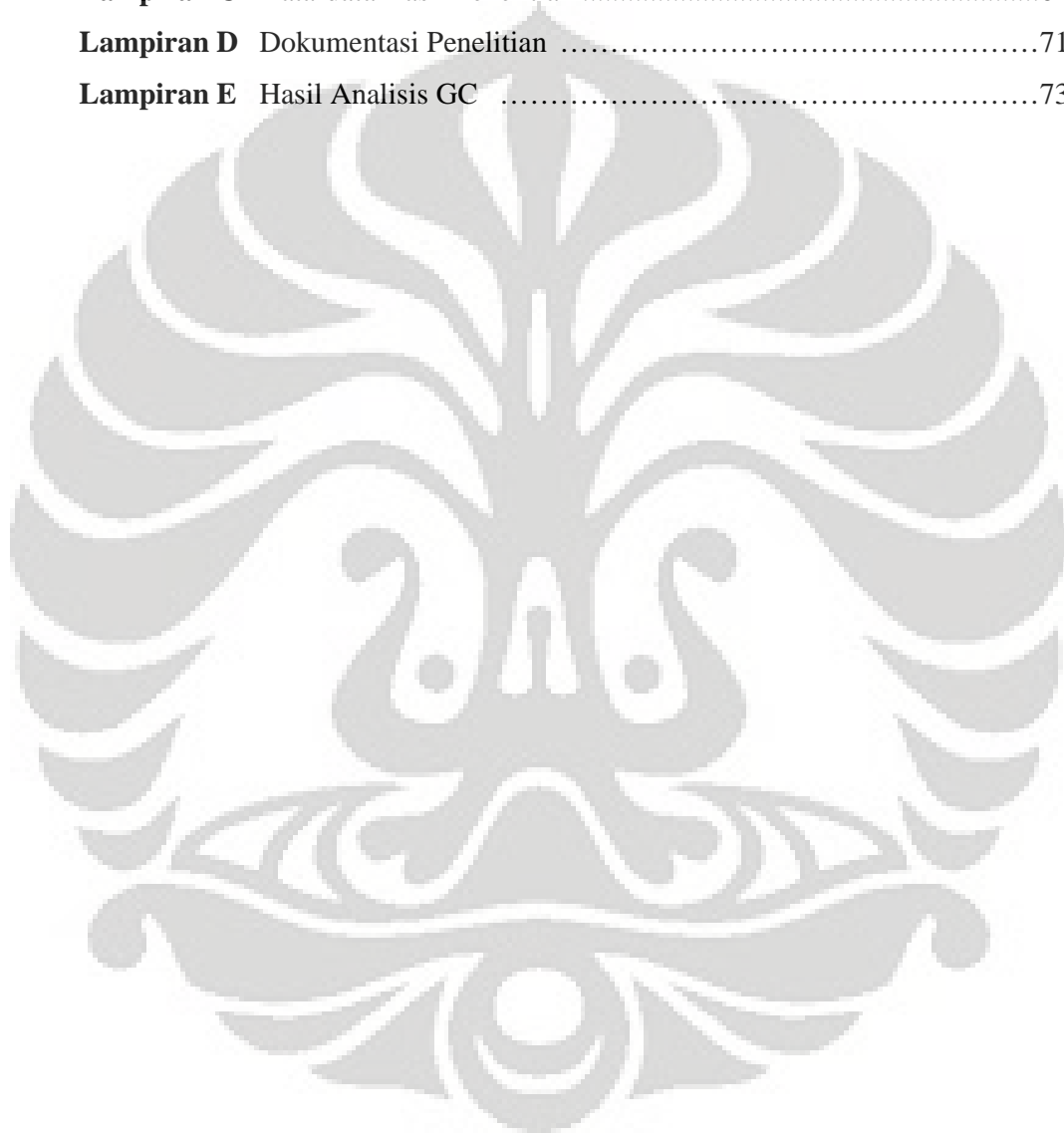
DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Komposisi Nutrisi Medium Pemiakan <i>Chlorella vulgaris</i>	12
Tabel 2. 2 Properti LPG	24
Tabel 3. 1 Bahan Medium Beneck.....	30
Tabel 4. 1 E_x dan η_{bp} dalam Berbagai Variasi Persen LPG	49



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Kurva Kalibrasi dan Tabel Konversi OD_{600} , N_{sel} , X	55
Lampiran B	Contoh dan Hasil Perhitungan E_x dan η_{bp}	60
Lampiran C	Data-data Hasil Penelitian	64
Lampiran D	Dokumentasi Penelitian	71
Lampiran E	Hasil Analisis GC	73



DAFTAR SINGKATAN

LPG	<i>Liquefied Petroleum Gas</i>
CGF	<i>Chlorella Growth Factor</i>
DNA	<i>Deoksribo Nucleic Acid</i>
RNA	<i>Ribo Nucleic Acid</i>
ATP	<i>Adenosine Tri Phosphate</i>
UHC	<i>unburned Hydrocarbon</i>
GC	<i>Gas Chromatography</i>
OD	<i>Optical Density</i>



DAFTAR ISTILAH/SIMBOL

α_{CO_2}	= Koefisien transfer CO ₂ spesifik [g.dm ⁻³ .h ⁻¹]
α_{kaca}	= Efisiensi penyerapan cahaya permukaan kaca fotobioreaktor [%]
λ	= Panjang gelombang [nm]
A	= Luas permukaan plat iluminasi [m ²]
A_H, B_H, C_H	= Konstanta H _{CO₂} pada Persamaan Henry [-]
A_K, B_K, C_K	= Konstanta K _{CO₂} pada Persamaan Henry [-]
CTR	= <i>Carbon Transfer Rate</i> [g.dm ⁻³ .h ⁻¹]
E_x	= Energi cahaya yang dimanfaatkan untuk produksi biomassa [J.g ⁻¹]
H _{CO₂}	= Bilangan Henry [kPa.kg.mol ⁻¹]
I	= Intensitas cahaya [lx]
I_b	= Intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh kultur medium keluar fotobioreaktor setelah dikalikan dengan α_{kaca} [lx]
I_i	= Intensitas cahaya yang diterima oleh kultur medium dalam fotobioreaktor setelah dikalikan dengan α_{kaca} [lx]
I_0	= Intensitas cahaya yang diterima oleh kultur medium dalam fotobioreaktor [lx]
I_t	= Intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh kultur medium keluar fotobioreaktor [lx]
$I_{\mu_{max,opt}}$	= Intensitas cahaya untuk laju pertumbuhan maksimum [lx]
K_{CO_2}	= Konstanta kesetimbangan CO ₂ [-]
M_{CO_2}	= Berat molekul CO ₂ [g.mol ⁻¹]
N, N_{sel}	= Nilai kerapatan sel [sel.cm ³]
OD	= <i>Optical density</i> (kerapatan optik)/absorbansi kultur terhadap cahaya. [-]
OD ₆₈₀	= <i>Optical density</i> (kerapatan optik)/absorbansi kultur terhadap cahaya pada panjang gelombang 680nm. [-]
P	= Tekanan operasi [atm]
P_T	= Tekanan <i>ambient</i> [atm]



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Jumlah penduduk dunia yang semakin bertambah dari waktu ke waktu, memunculkan dua permasalahan global, yakni adanya ancaman krisis pangan yang ditandai dengan semakin menurunnya hasil pangan akibat berkurangnya lahan pertanian dan juga memunculkan permasalahan lingkungan lainnya yaitu ancaman pemanasan global akibat semakin meningkatnya emisi gas CO₂ atau biasa disebut gas rumah kaca sebagai gas sisa hasil pembakaran bahan bakar fosil yang digunakan umat manusia dewasa ini untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Perubahan iklim dan meningkatnya temperatur di permukaan bumi merupakan efek dari adanya pemanasan global yang pada akhirnya akan memberikan dampak besar pada sektor pertanian, kehutanan, kesehatan dan dampak akibat kenaikan permukaan laut. Indonesia menjadi salah satu aktor penting dalam masalah ini, menurut Marcel Silvius, pakar iklim di Wetlands Internasional di Belanda, selama empat tahun terakhir ditemukan 2 miliar ton CO₂ dilepas ke atmosfer dari Indonesia dan Malaysia setiap tahunnya (Koran Tempo, 5 April 2007).

LPG (*Liquefied petroleum gas*) sebagai salah satu produk bahan bakar fosil menghasilkan emisi gas CO₂ sebagai gas hasil pembakarannya. Penggunaan LPG yang kian marak, terutama di industri dan rumah tangga berbanding lurus dengan emisi gas CO₂ yang dilepas ke lingkungan. Adanya program konversi penggunaan bahan bakar cair, minyak tanah, ke bahan bakar gas, dalam hal ini LPG yang digalakkan oleh Pemerintah Republik Indonesia yang dimulai pada tahun 2007 membuat kontribusi LPG sebagai aktor dalam peningkatan kadar gas CO₂ di atmosfer perlu diperhatikan. Hal ini harus dibarengi dengan upaya untuk mereduksi kadar CO₂ di atmosfer, terutama yang dihasilkan dari pembakaran LPG.

Berbagai negara berlomba-lomba menciptakan inovasi teknologi guna menanggapi masalah tersebut, untuk itu solusi yang tepat guna mutlak diperlukan dalam hal ini. Bioteknologi merupakan sebuah inovasi teknologi yang kini mulai



diarahkan untuk mengatasi ancaman global berupa ancaman krisis pangan dan pemanasan global. Salah satu aplikasi dalam bidang bioteknologi adalah produksi biomassa dan biofiksasi yang kedua memenuhi syarat untuk dijadikan alternatif solusi permasalahan global.

Penggunaan mikroalga sebagai subjek bioteknologi telah banyak diteliti karena alga cukup mudah untuk dikembangkan dan juga memiliki ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan sekaligus memiliki kemampuan untuk memfiksasi CO₂. Indonesia memiliki potensi yang sangat besar di bidang perkembangan mikroalga ini. Hal ini karena Indonesia merupakan negara dengan keanekaragaman hayati yang sangat besar, khususnya keragaman spesies mikroalga yang mencapai 624 jenis alga (Suhartono et al, 2000), termasuk negara yang kaya akan jenis dan jumlah alga dibanding negara lain.

Salah satu contoh mikroalga yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan pemanasan global ini adalah *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Jenis mikroalga ini merupakan jenis mikroalga hijau bersel tunggal. Warna hijau ini disebabkan *Chlorella sp.* sangat kaya klorofil sebanyak 3% (Surawiria, 2005). Dalam fotosintesis, *Chlorella sp.* membutuhkan CO₂ dengan bantuan cahaya matahari, klorofil mampu mengubah air dan zat asam arang menjadi oksigen serta bahan makanan yang sangat dibutuhkan oleh manusia. Pertumbuhan optimum dapat dicapai apabila faktor-faktor pendukung pertumbuhan salah satunya gas CO₂, yang disuplai ke mikroalga *Chlorella sp.* tersebut sesuai dengan kebutuhan.

Berbagai riset mengenai pemanfaatan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan menggunakan CO₂ murni dalam skala lab telah banyak dilakukan, seperti optimasi pertumbuhan mikroalga dengan mengetahui kecepatan superfisial (U_G) CO₂ terhadap medium pertumbuhannya yang diketahui bernilai 3,6 m/h (Puteri, 2007), serta penelitian mengenai pengaruh pencahayaan pada pertumbuhan mikroalga yang menyimpulkan pada pencahayaan berkesinambungan jumlah sel maksimal (N_{o,max}) mencapai 9,97 g/dm³ (Andika, 2005). Penelitian kali ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari model gas sisa hasil pembakaran LPG terhadap pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris*

Hasil yang diperoleh diharapkan dapat dijadikan acuan dalam penelitian selanjutnya dan menjadi salah satu aplikasi pemanfaatan gas buang PLTG untuk



optimalisasi produksi biomassa pada sistem terbuka. Penelitian ini juga diharapkan dapat dijadikan salah satu alternatif dalam mengatasi permasalahan pemanasan global yang sedang kita hadapi serta sebagai alternatif solusi penanganan masalah krisis pangan.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana ketahanan mikroalga *Chlorella sp.* dengan adanya tambahan polutan berupa gas model hasil pembakaran LPG pada berbagai variasi volume ke dalam medium hidupnya dalam produksi biomassa?
2. Bagaimana mengevaluasi tingkat konsumsi energi total melalui efisiensi konversi energi pada produksi biomassa dalam berbagai variasi volume masukan gas ke dalam fotobioreaktor kolom gelembung?
3. Berapa besar nilai persen volume hasil penambahan LPG yang ditambahkan kedalam medium yang menghasilkan tingkat pertumbuhan *Chlorella sp.* paling optimum?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh gas model sisa hasil pembakaran LPG terhadap pertumbuhan *Chlorella sp.*
2. Mengkaji konsumsi energi total dan efisiensi konversi energi pada produksi biomassa dalam berbagai variasi volume masukan gas kedalam fotobioreaktor kolom gelembung.
3. Menentukan besarnya persen volume hasil penambahan LPG sebagai tambahan gas masukan kedalam fotobioreaktor kolom gelembung yang menghasilkan pertumbuhan *Chlorella sp.* paling optimum.



1.4 LINGKUP PERMASALAHAN

Batasan-batasan pada penelitian ini adalah hal-hal sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bioproses, Laboratorium RPKA Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia serta di Laboratorium Teknogas, LEMIGAS Jakarta.
2. Mikroalga yang digunakan adalah *Chlorella vulgaris* Buitenzorg yang berasal dari koleksi kultur Sub Balai Penelitian Perikanan Air Tawar Depok, Dinas Kelautan dan Perikanan.
3. Jenis medium kultur yang digunakan adalah medium *Beneck*.
4. Sistem reaktor yang digunakan adalah fotobioreaktor kolom gelembung dengan volume 18 dm³ yang dialiri gas hasil pembakaran elpiji.
5. Pencahayaan menggunakan lampu Phillip Halogen 20W / 12V / 50 Hz.
6. Model gas hasil pembakaran yang digunakan adalah gas hasil pembakaran elpiji dalam tabung produksi PT. Pertamina.
7. Perhitungan sel (*N*) dan berat kering (*X*) dilakukan dengan menggunakan metode spektroskopi cahaya tampak pada $\lambda = 600 \text{ nm}$ (OD_{600}).
8. Variasi persen volume LPG sebagai gas masukan fotobioreaktor adalah 0%, 0,3%, 0,5%, dan 1% volume LPG didalam gas masukan selain udara dan CO₂ murni sesuai dengan komposisi hasil pembakaran menggunakan GC.
9. Kondisi operasional sistem pada suhu ruang yang berkisar pada 29 °C dan tekanan 1 atm.
10. Kajian mengenai pengaruh model gas sisa hasil pembakaran LPG ditujukan untuk pertumbuhan *Chlorella sp.* optimum.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan dalam metode penelitian ini dilakukan dengan membagi tulisan menjadi lima bab, yaitu :



BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian dan penulisan, perumusan masalah yang dibahas, tujuan dilakukannya penelitian, ruang lingkup penelitian, serta sistematika penulisan

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka yang dijadikan dasar penelitian. Meliputi penjelasan tentang pemanasan global, LPG, mikroalga hijau *Chlorella sp.*, proses fotosintesis, faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan fotosintesis, produksi biomassa mikroalga *Chlorella sp.* pada medium terbatas, dan fotobioreaktor.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Berisi 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

Berisi pembahasan mengenai hasil percobaan yang dilakukan serta analisa terhadap hasil-hasil yang didapatkan tersebut.

BAB V : KESIMPULAN

Berisi kesimpulan yang diambil berdasarkan hasil yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

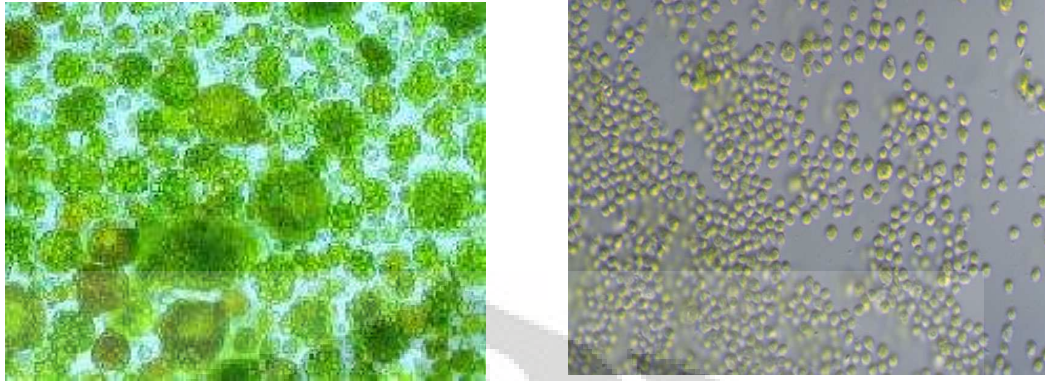
2.1 MIKROALGA *Chlorella vulgaris*

Chlorella vulgaris merupakan mikroalga yang termasuk dalam golongan alga hijau (*Chlorophyta*) dengan bentuk tubuh bulat, bulat lonjong dengan garis tengah sel antara 2 – 8 μm . 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 (<http://www.chlorella-world.com/yaeyama.html>).

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 (<http://www.chlorellafactor.com>). 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 (Surawiria, 2005).

Chlorella vulgaris hidup secara berkoloni dalam jumlah besar. Lingkungan tempat hidupnya secara umum akan didapatkan di mana-mana, terutama pada tempat lembab dan berair. Bahkan beberapa jenis bersimbiosis dengan jamur membentuk lumut kerak (*Lichenes*) atau hidup di antara jaringan *Hydra*. Sistem koloni *Chlorella vulgaris* dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Koloni *Chlorella vulgaris*
(<http://www.nies.go.jp/biology/mcc/images/PCD5008/0384L.jpg>)

2.1.1 Taksonomi *Chlorella vulgaris*.

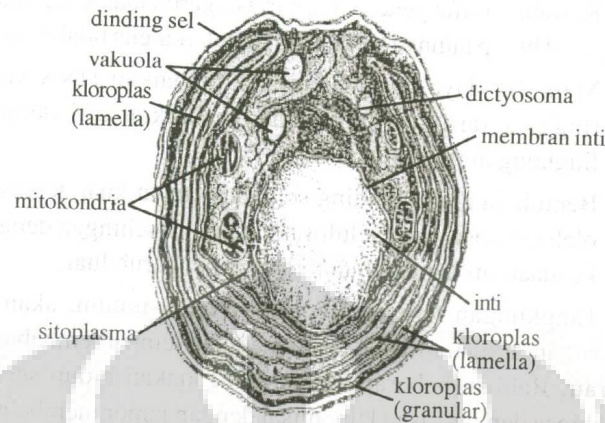
Berdasarkan taksonominya, *Chlorella vulgaris* memiliki klasifikasi sebagai berikut :

- Superkingdom : *Eukaryota*.
- Kingdom : *Viridiplantae*.
- Subkingdom : *Phycobionta*.
- Filum : *Chlorophyta*
- Kelas : *Trebouxiophyceae*.
- Ordo : *Chlorellales*.
- Famili : *Chlorellaceae*.
- Genus : *Chlorella*

(<http://merops.sanger.ac.uk/cgi-bin/speccards?sp=sp001794&type=P>).

2.1.2 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*
(<http://merops.sanger.ac.uk/cgi-bin/speccards?sp=sp001794&type=P>).

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

2.1.2.1 Inti Sel

Inti Sel (*nukleus*) merupakan suatu struktur dengan ukuran yang besar dan dikelilingi oleh sitoplasma. 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).

2.1.2.2 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 CO₂ karena



mengandung biomassa yang dapat menyerap energi cahaya untuk digunakan dalam reaksi fotosintesis.

2.1.2.3 Mitokondria

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

Mitokondria berfungsi sebagai pusat pembangkit tenaga sel dengan menghasilkan ATP sebagai sumber energi. Selain itu mitokondria berperan penting dalam proses respirasi sel dan tempat pemecahan molekul protein dan lemak kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana yang selanjutnya digunakan sebagai sumber energi.

2.1.2.4 Dinding Sel

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

2.1.2.5 Vakuola

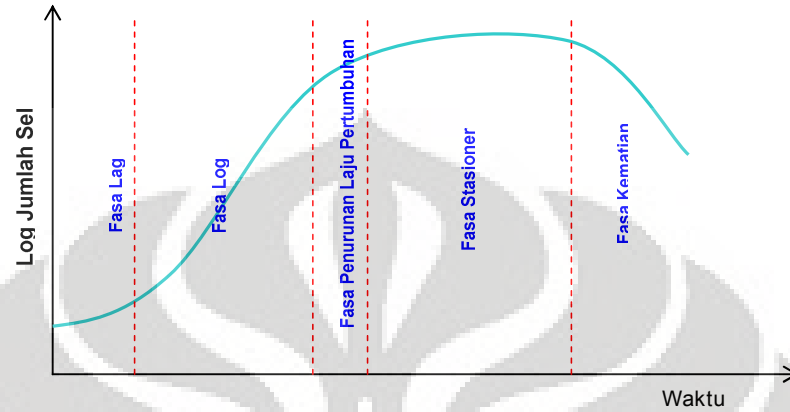
Vakuola merupakan tempat pembuangan (*ekskresi*) dari zat-zat yang tidak diperlukan lagi oleh sel. Zat-zat ini akan tertimbun di dalam vakuola sehingga ukuran dari vakuola pada sel semakin lama akan semakin besar (<http://www.chem.mtu.edu/~drshonna/cm4710/lectures/chapter2.pdf>).

2.1.3 Fase Pertumbuhan *Chlorella vulgaris*.

Pertumbuhan sel dari *Chlorella vulgaris* terdiri dari empat fase yaitu fase lag, fase eksponensial (logaritmik), fase stasioner, dan fase kematian. Keempat



fase tersebut dapat ditunjukkan dengan kurva jumlah sel vs waktu seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Kurva Pertumbuhan *Chlorella vulgaris*
(<http://www.sp.uconn.edu/~terry/229sp03/lectures/growth.html>)

2.1.3.1 Fase Lag

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

2.1.3.2 Fase Eksponensial (Logaritmik)

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



2.1.3.3 Fase Stasioner

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

2.1.3.4 Fase Kematian (*death phase*)

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

2.1.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan *Chlorella vulgaris*

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

2.1.4.1 Jenis Medium

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

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

Ada beberapa medium yang lazim digunakan untuk membiakkan *Chlorella vulgaris*, yaitu *Benneck*, *Detmer*, Pupuk Komersial, dan *Walne*. Komposisi nutrisi dari masing-masing medium tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Perbandingan Komposisi Nutrisi Medium Pembiakan *Chlorella vulgaris*

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

Sumber : Wirosaputro, 2002

2.1 4.2 Temperatur

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

2.1.4.3 Oksigen (O₂) dan Karbondioksida (CO₂)

O₂ diperlukan oleh mikroorganisme untuk proses respirasi, sedangkan CO₂ diperlukan untuk proses fotosintesis. Walaupun dari reaksi fotosintesis dapat dihasilkan O₂ namun apabila tidak terdapat cahaya sebagai sumber energi maka mikroorganisme tidak akan dapat berfotosintesis sehingga diperlukan juga udara dari luar. Demikian juga tanpa adanya CO₂ mikroorganisme tidak akan dapat



berfotosintesis. Oleh karena itu jumlah CO₂ dan O₂ pada medium harus seimbang agar didapat laju pertumbuhan yang optimum.

2.1.4.4 Derajat Keasaman (pH)

pH memiliki peran dalam mengatur kerja dari enzim. Perubahan pH sangat berpengaruh terhadap kinerja enzim dalam metabolisme sel sehingga akan mempengaruhi laju pertumbuhan sel. pH yang optimum bagi perkembangan *Chlorella vulgaris* adalah 7,0 – 8,0.

2.2 PROSES FOTOSINTESIS

Chlorella vulgaris merupakan organisme yang dapat melakukan reaksi fotosintesis dengan memfiksasi CO₂ untuk memproduksi karbohidrat sebagai sumber energi bagi makhluk heterotrof.

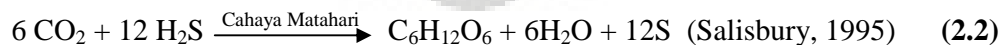
2.2.1 Deskripsi Umum Proses Fotosintesis

Fotosintesis berasal dari kata *foton* yang berarti cahaya dan *sisntesis* yang berarti penyusunan. Maka fotosintesis dapat diartikan sebagai proses sintesa dari zat organik dari zat anorganik (air, H₂S dan CO₂) dengan menggunakan cahaya matahari sebagai sumber energi.

Sebagian besar reaksi fotosintesis yang terjadi di alam menggunakan air dan CO₂ sebagai sumber bahan anorganik. Persamaan reaksi jenis ini dapat dituliskan sebagai berikut :



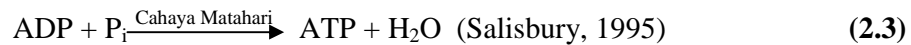
Selain itu sebagian mikroorganisme menggunakan asam organik seperti asam asetat atau asam suksinat sebagai sumber elektron. Sedangkan bakteri lainnya menggunakan asam sulfida dengan hasil samping endapan belerang. Persamaan reaksi fotosintesisnya



Cahaya matahari memiliki peran dalam proses fotosintesis sebagai energi pereduksi NADP⁺ (*Nikotinamina adenin dinukleotida fosfat*) menjadi NADPH dan menyediakan energi untuk membentuk ATP dari ADP dan P_i. ATP disintesis



dalam kloroplas yang diisolasi hanya pada waktu ada cahaya dan proses ini disebut dengan *fotofosforilasi*. Proses ini berjalan menurut persamaan reaksi :



2.2.2 Mekanisme Reaksi Fotosintesis

Mekanisme reaksi fotosintesis yang dibahas pada subbab ini adalah hasil pengamatan reaksi fotosintesis pada mikroalga. Pengamatan dilakukan pada mikroalga karena organisme ini lebih mudah diteliti dan ditreatment. Untuk proses fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan tingkat tinggi dapat dianalogikan dengan proses fotosintesis pada mikroalga ini.

Reaksi fotosintesis dapat dibagi menjadi dua tahap yaitu :

2.2.2.1 Reaksi terang (*Fotolisis*)

Energi dari cahaya matahari diubah menjadi energi ikatan *phosphoanhidrat* pada ATP dan untuk mengurangi kekuatan ikatan NADPH (<http://courses.washington.edu/bioc441/lectures/ppt/6.carbonfixation.ppt>)

2.2.2.2 Reaksi gelap (*Calvin Cycle*)

Mekanisme reaksi utama fotosintesis disebut dengan *Siklus Calvin*. Nama siklus ini berasal dari nama penemunya yaitu *Melvin Calvin* Siklus ini merupakan bagian dari reaksi gelap yang terjadi pada *stroma* dari kloroplas. Ada tiga tahapan dalam sintesa karbohidrat melalui siklus Calvin, yaitu :

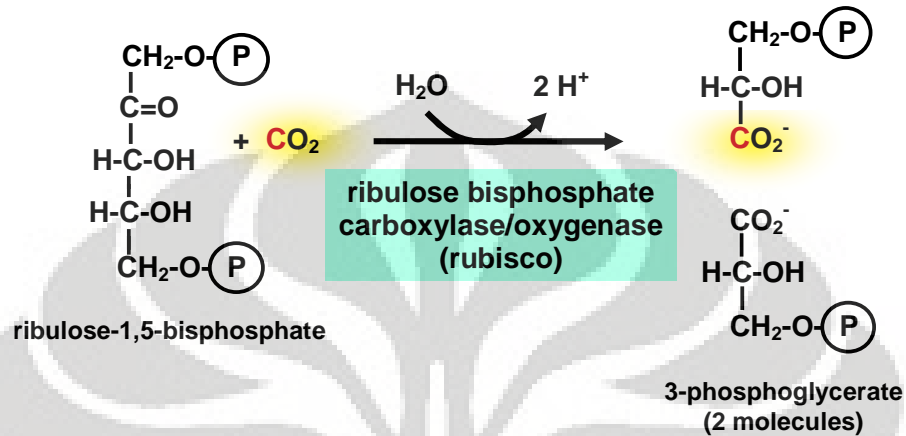
2.2.2.2.1 Fiksasi

Tahapan pertama dari fiksasi CO_2 adalah proses kondensasi dari CO_2 dengan menggunakan *ribulose-1,5-biphosphate* yang merupakan gula dengan lima atom karbon. Senyawa ini akan bereaksi dengan CO_2 sehingga menghasilkan senyawa antara dengan enam atom karbon. Senyawa antara ini bersifat tidak stabil dan dalam waktu singkat terpecah menjadi dua molekul *asam 3-phosphogliserat*.

Fiksasi CO_2 ini dikatalis oleh enzim *ribulose-biphosphate carboxylase-oxygenase* (RuBisCO). Senyawa ini merupakan komponen senyawa yang dibentuk oleh delapan senyawa dengan dua subunit yang berbeda dengan berat molekul sekitar 550.000. Jenis protein ini merupakan 50% dari total protein yang



terdapat pada daun. RuBisCO merupakan protein yang terdapat dalam jumlah paling besar di alam dan merupakan protein yang paling menentukan dalam proses fotosintesis, metabolisme karbohidrat, dan fiksasi CO₂.

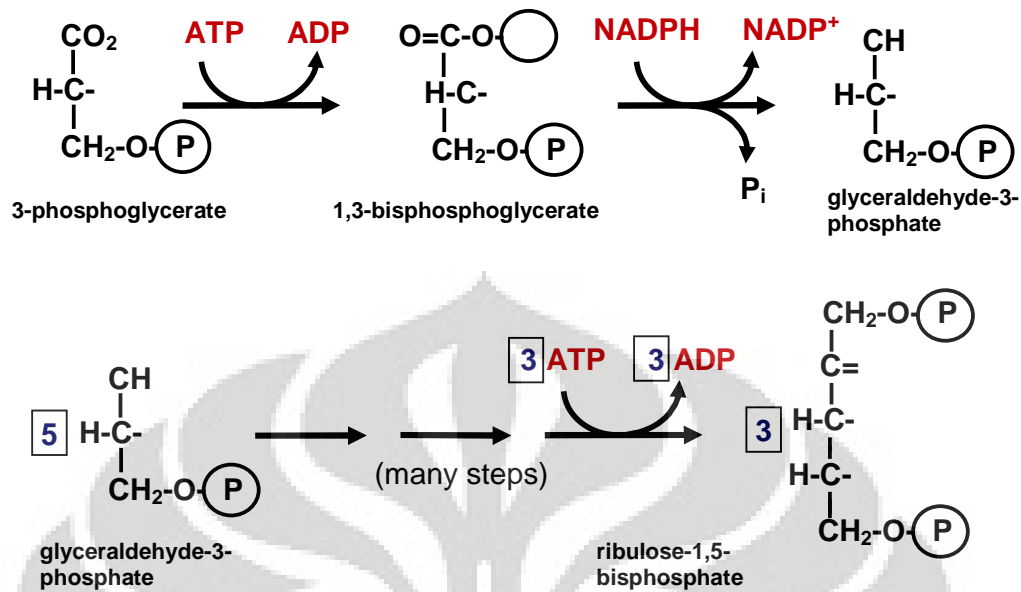


Gambar 2. 4 Tahapan Fiksasi CO₂ pada Siklus Calvin
(<http://www.rpi.edu/dept/bcbp/molbiochem/MBWeb/mb2/part1/16-calvin.ppt>)

2.2.2.2.2 Reduksi

Proses reduksi akan mengubah *3-phosphogliserat* menjadi *gliseraldehid-3-phosphate* menggunakan energi dari ATP dan mengurangi potensial NADPH.

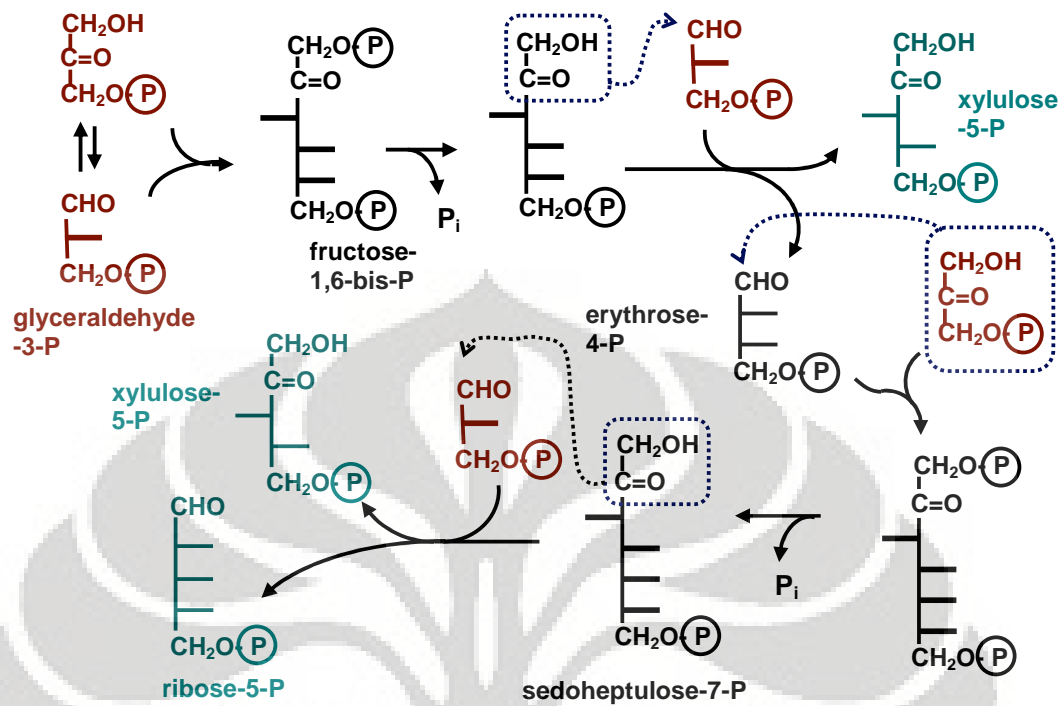
Konversi dari gugus karboksilat menjadi gugus aldehid menunjukkan suatu metabolisme reaksi yang sederhana. Namun sebelum dapat direduksi, gugus fungsi tersebut harus diaktifkan. Pengaktifan ini memerlukan energi dari ATP. Ikatan ester phosphate dapat mengurangi potensial dari NADPH untuk menghasilkan yield aldehid yang lebih besar NADP⁺ dan P_i.



Gambar 2.5 Tahapan Reduksi 3-phosphogliserat pada Siklus Calvin (<http://www.rpi.edu/dept/bcbp/molbiochem/MBWeb/mb2/part1/16-calvin.ppt>)

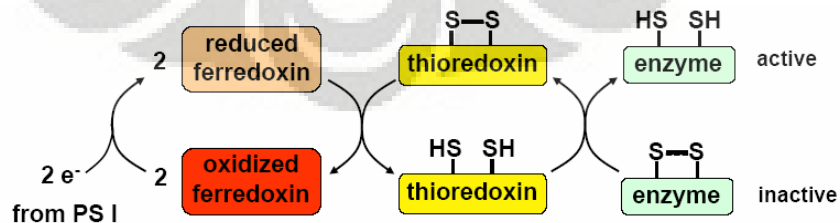
2.2.2.2.3 Regenerasi

Regenerasi dari *ribulose-1,5-biphosphate* dimulai dengan inisiasi enzim *triose phosphate isomerase* yang mengubah *gliseraldehid-3-phosphate* menjadi *dihidroksiaseton phosphate*. Kemudian setiap molekul hasil isomerisasi mengalami kondensasi *aldol* membentuk *fruktosa-1,6-biphosphate*. Pada tahap reaksi selanjutnya diperlukan enzim yang dapat mentransfer dua atom karbon dari molekul donor ke molekul akseptor. Enzim ini biasa disebut dengan *transketolase*. Pada kasus ini, *fruktosa-6-phosphate* merupakan donor dan *gliseraldehid-3-phosphate* merupakan akseptor yang masing-masing akan membentuk *erythrose-4-phosphate* dan *selulosa-5-phosphate*. Kondensasi aldol yang lain adalah antara *erythrose-4-phosphate* dan *dihidroksiaseton phosphate* untuk membentuk *sedoheptulose-1,7-biphosphate*. Akhirnya *ribulose-5-phosphate* mengalami *phosphorylasi* pada atom karbon nomor 1 sehingga kembali membentuk *ribulose-1,5-biphosphate*



Gambar 2. 6 Tahapan Regenerasi *ribulose-1,5-biphosphate* pada Siklus Calvin (<http://www.rpi.edu/dept/bcbp/molbiochem/MBWeb/mb2/part1/16-calvin.ppt>)

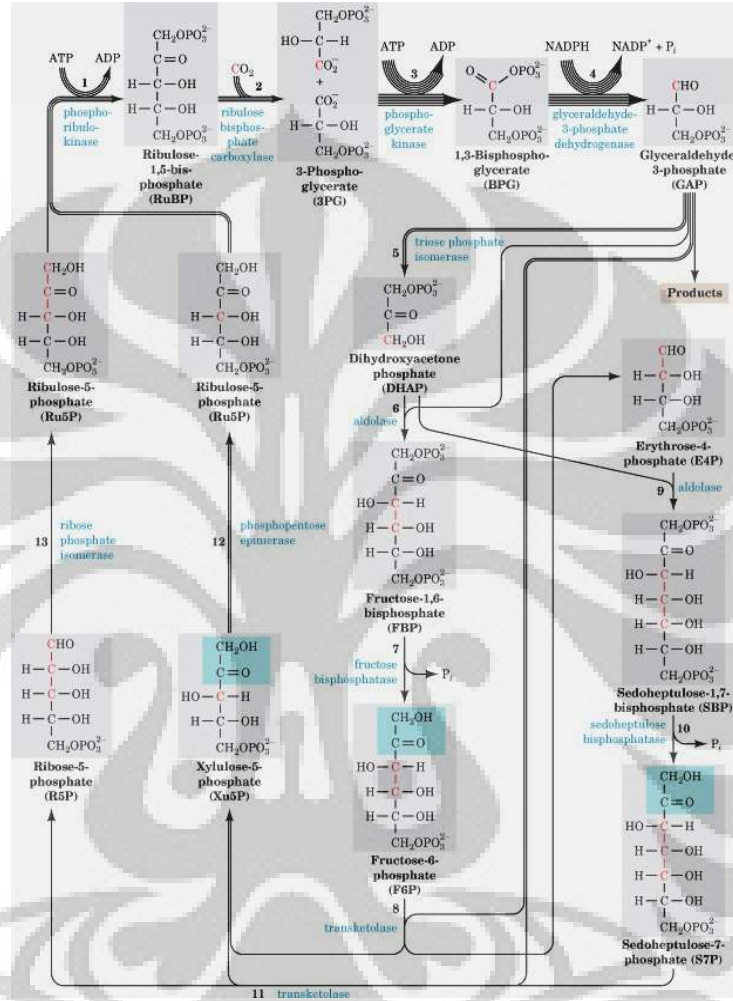
Apabila dilihat pada ketiga tahap reaksi tersebut, maka ada empat enzim utama yang berperan dalam proses fotosintesis. Keempat enzim tersebut adalah *glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase*, *fructose-1,6-bisphosphatase*, *sedoheptulose-1,7-bisphosphatase*, dan *ribulose-5-phosphate kinase*. Keempat enzim tersebut mengalami reduksi dan menjadi aktif apabila terdapat energi cahaya. Aktivasi ini terjadi dengan putusnya ikatan disulfida di antara dua residu cis. Pereduksinya adalah *thioredoxin* yang merupakan jenis protein terlarut di dalam daun.



Gambar 2. 7 Proses Pengaktifan Enzim Fotosintesis (<http://www.rpi.edu/dept/bcbp/molbiochem/MBWeb/mb2/part1/16-calvin.ppt>)



Ketiga proses tersebut akan membentuk suatu siklus yaitu Siklus Calvin sebagai rangkaian reaksi utama dari proses fotosintesis seperti terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Siklus Calvin
(<http://inhavision.inha.ac.kr/~leecg/Lumostat.pdf>)

2.2.3 Faktor yang mempengaruhi fotosintesis

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi laju fotosintesis baik pada tumbuhan maupun pada mikroorganisme. Faktor-faktor tersebut antara lain :

2.2.3.1 Cahaya

Karena cahaya merupakan sumber energi utama bagi berlangsungnya proses fotosintesis, maka pengaruh cahaya pada reaksi fotosintesis sangat besar. Semakin tinggi intensitas cahaya maka laju fotosintesis akan semakin besar.



Namun di atas intensitas cahaya tertentu, kenaikan pada intensitas tidak akan menyebabkan kenaikan laju fotosintesis. Titik di mana laju fotosintesis maksimum ini disebut sebagai *titik jenuh cahaya*. Di antara keadaan gelap di mana laju fotosintesis adalah nol dan keadaan jenuh cahaya tersebut terdapat suatu titik di mana laju fotosintesis sama dengan laju respirasi. Titik ini disebut *titik kompensasi cahaya*.

Penelitian telah menunjukkan bahwa daun tunggal dan tumbuhan memiliki respons terhadap cahaya yang berbeda. Hal ini karena pada tumbuhan daun bagian atas akan menyerap cahaya jauh lebih banyak daripada daun bagian bawah. Pada keadaan ini tingkat cahaya yang tinggi akan menjenuhkan daun bagian atas, namun pada keadaan ini daun bagian bawah belum menerima intensitas cahaya yang cukup. Hal ini mengakibatkan laju fotosintesis tidak dapat ditingkatkan hingga batas maksimum.

2.2.3.2 Ketersediaan CO₂

Semakin tinggi kadar CO₂ di udara, maka semakin banyak jumlah bahan yang bisa digunakan untuk melangsungkan reaksi fotosintesis. Hal ini karena berdasarkan hukum laju reaksi apabila konsentrasi CO₂ sebagai reaktan diperbesar maka laju reaksi akan meningkat sesuai dengan orde reaksinya berdasarkan persamaan :

$$v_2 = v_1 \cdot k [\text{CO}_2]^a \quad (2.4)$$

di mana v_2 = laju fotosintesis akhir.

v_1 = laju fotosintesis awal.

a = perbandingan konsentrasi CO₂ akhir dan awal.

Meskipun demikian, konsentrasi CO₂ yang terlalu tinggi juga merugikan bagi proses fotosintesis karena akan dapat meracuni tumbuhan dan menutup stomata. Tingkat konsentrasi CO₂ optimum bagi reaksi fotosintesis adalah 1000 – 1200 $\mu\text{mol mol}^{-1}$.

2.2.3.3 Temperatur

Pengaruh temperatur terhadap fotosintesis bergantung pada spesies dan keadaan lingkungan tempat organisme tersebut. Pengaruh temperatur ini terjadi



terutama karena enzim-enzim yang bekerja dalam proses fotosintesis hanya dapat bekerja pada temperatur tertentu serta setiap enzim memiliki temperatur yang optimum agar dapat menghasilkan laju reaksi yang maksimal. Umumnya laju fotosintesis meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur hingga batas toleransi enzim tersebut.

2.2.3.4 Kadar Air

Air seperti CO_2 merupakan bahan utama bagi terjadinya reaksi fotosintesis. Kekurangan air atau kekeringan menyebabkan stomata menutup, menghambat penyerapan karbon dioksida sehingga mengurangi laju fotosintesis. Sedangkan peningkatan kadar air juga akan menaikkan laju fotosintesis sesuai dengan orde reaksinya terhadap air.

$$v_2 = v_1 \cdot k [\text{H}_2\text{O}]^a \quad (2.5)$$

di mana v_2 = laju fotosintesis akhir.

v_1 = laju fotosintesis awal.

a = perbandingan konsentrasi H_2O akhir dan awal.

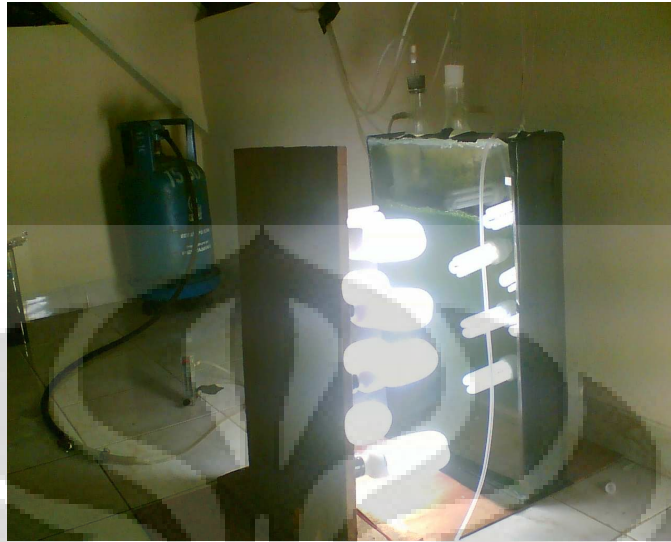
2.3 FOTOBIOREAKTOR KOLOM GELEMBUNG

Secara umum sistem fotobioreaktor terdiri dari beberapa bagian, yaitu reaktor vessel, sistem sirkulasi gas, sistem titrasi gas, lemari yang berisi sumber cahaya, dan sistem pengendalian reaktor. Untuk kultivasi mikroalga dapat dilakukan dengan sistem *batch* atau kontinu. Pada beberapa penelitian, kultivasi menggunakan sistem *semi-batch* di mana gas CO_2 secara kontinu dialirkan ke dalam reaktor sedangkan mikroalga ditempatkan secara *batch*.

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

$$q_e = \frac{(E_{in} - E_{out}) \cdot A}{V \cdot C} \quad (\text{Salisbury, 1995}) \quad (2.6)$$

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



Gambar 2. 9 Fotobioreaktor Kolom Gelembung

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

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

2.4 PEMANASAN GLOBAL

Karbon dioksida merupakan salah satu gas yang dapat menyebabkan pemanasan global. Pemanasan global merupakan fenomena alam yang ditandai dengan kenaikan suhu bumi dan kenaikan permukaan air laut



(<http://hady82.multiply.com.journal/item/7>). Adapun gas-gas yang menyebabkan pemanasan global biasa disebut dengan gas rumah kaca, gas-gas tersebut antara lain gas CO₂, CH₄, N₂O, NOX, CO, PFC, dan SF₆. Dari kelima gas-gas tersebut, karbondioksida merupakan gas yang mempunyai kontribusi terbesar terhadap pemanasan global yaitu 82% dan CH₄ sebesar 15%. Konsentrasi karbondioksida akhir-akhir ini telah meningkat hampir tiga kali lipat apabila dibandingkan tahun 50-an (Majalah Nature, Desember 2005).

Ancaman besar dari pemanasan global ini sudah terlihat dalam beberapa dekade terakhir ini. Sejumlah peneliti pada tahun 2000 merilis hasil riset terbaru bahwa perairan di kutub mengalami kenaikan rata-rata permukaan air laut sebesar 11,46 mm setiap tahunnya. Hal ini mengancam kota-kota besar yang berada di tepi pantai seperti Jakarta, New York dan lain-lain.

Berdasarkan riset yang pernah dilakukan antara tahun 1955-1989 menyebutkan bahwa di daerah pesisir terjadi kenaikan rata-rata permukaan air laut, misalnya di Jakarta terjadi kenaikan sebesar 4,38 mm per tahun dan Semarang 9,27 m per tahun.

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

World Wide Fund for Nature menganalisis kondisi di masa depan Indonesia menggunakan tiga skenario yaitu dengan sensitivitas iklim rendah (kenaikan suhu 1,5 derajat celcius), medium (2,5 derajat celcius), dan tinggi (4,5 derajat celcius). Jika analisis dari *World Wide Fund for Nature* tersebut benar,



maka permukaan laut akan naik antara 2-10 cm per sepuluh tahun, sedangkan hasil dari observasi kenaikan permukaan air laut abad lalu adalah antara 1-2 cm per sepuluh tahun. Hal ini merupakan fenomena yang harus kita hadapi dan kita singkapi bersama.

2.5 LPG (*Liquefied Petroleum Gas*)

LPG merupakan campuran dari gas hidrokarbon jenuh yaitu propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}) yang digunakan sebagai bahan bakar untuk proses pemanasan alat-alat rumah tangga dan kendaraan. Propana dan butana memiliki properti yang cukup sama sehingga akan sangat bermanfaat bila digabungkan. Gas-gas tersebut tidak bereaksi satu sama lain. Gas ini juga berguna sebagai pengganti CFC (*chlorofluorocarbon*) sebagai bahan pembakar sehingga dapat mengurangi kerusakan ozon. LPG ini dapat berasal dari penyulingan minyak bumi dan juga hasil ekstraksi gas alam yang berasal dari *reservoir*. Sekitar 60% LPG yang ada di dunia berasal dari sumber ini, sedangkan 40% LPG dihasilkan dari ekstraksi penyulingan minyak bumi. Pada dasarnya LPG bersifat tidak berbau, tidak berwarna, tidak beracun tetapi dapat mengakibatkan sesak napas jika terhirup pada konsentrasi tinggi sehingga untuk mempermudah mengenali keberadaan LPG di udara, ditambahkan senyawa pembau yaitu etanatiol (http://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_petroleum_gas).

Pada suhu kamar dan tekanan atmosfer, LPG akan menguap. Oleh karena itu, LPG disimpan pada tabung besi bertekanan dalam bentuk cairan. Untuk mencegah terjadinya *thermal expansion* maka pada tabung LPG hanya berisi 80 – 85% dari total kapasitas. Keuntungan penggunaan LPG sebagai bahan bakar adalah (http://www.e-lpg.com/lp_gas.asp):

- a) Gas sisa hasil pembakaran LPG bersih.
- b) Baik propana maupun butana mudah dicairkan dan disimpan dalam kontainer bertekanan sehingga memudahkan dalam transportasi hingga sampai kepada *end-user*.



- c) LPG dapat menggantikan CFC yang terkenal sebagai perusak lapisan ozon.

Tabel 2. 2 Properti LPG (http://www.e-lpg.com/lp_gas.asp)

Properti	Satuan	Propana Komersil	Butana Komersil	Campuran (50% propana, 50% butana)
Specific gravity dari Liquid pada 15°C (Air=1)		0.504	0.582	0.543
Specific gravity dari Vapor pada 15°C(Udara=1)		1.5	2.01	1.75
Tekanan uap pada 38°C	Kg/sq.cm	13.8	2.6	8.0
Titik didih pada 1 atm	Deg C	- 42	9	+ 9 to - 42
Suhu pembakaran di udara	Deg C	495-605	480-535	480-605
Kalor Laten Penguapan	Btu/lb	184	167	175

Selain segala bentuk keuntungan dan kemudahan yang ditawarkan dengan penggunaan LPG sebagai bahan bakar, terdapat faktor-faktor yang harus dipertimbangkan yaitu dari segi emisinya.

Pada suatu proses pembakaran biasanya menghasilkan sejumlah gas buang diantaranya adalah CO₂, H₂, CO, O₂, N₂, SO_x, H₂S, dan senyawa hidrokarbon yang tidak terbakar (*unburned Hydrocarbon*). Gas CO dihasilkan dari pembakaran parsial dapat terjadi akibat terbatasnya suplai oksigen atau udara dari jumlah yang diperlukan. Sedangkan *unburned Hydrocarbon* (UHC) adalah senyawa hidrokarbon yang tidak terbakar yang dihasilkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna. Reaksi pembakaran yang tidak sempurna bisa disebabkan oleh rendahnya rasio udara/bahan bakar atau karena pencampuran bahan bakar dan udara tidak homogen.

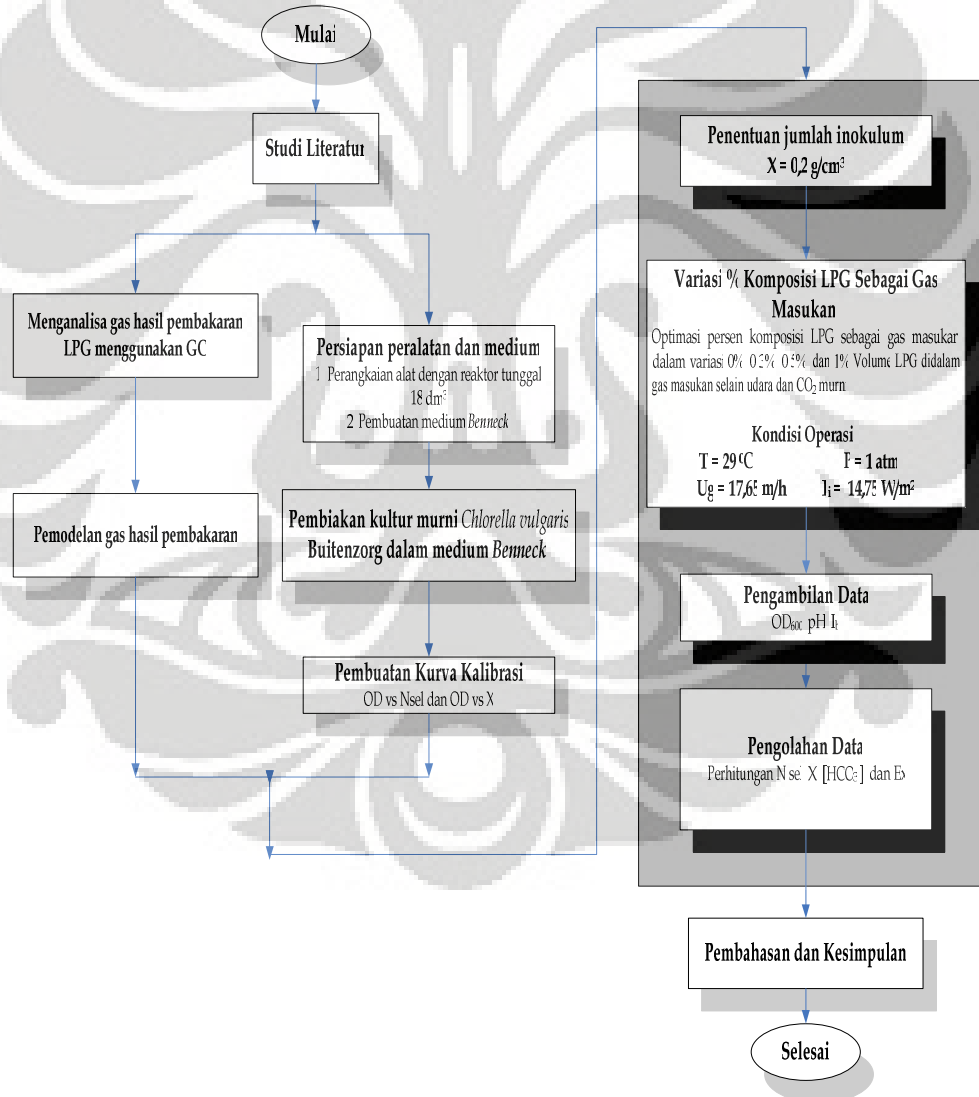


BAB III METODE PENELITIAN

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

3.1 Diagram Alir Penelitian

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



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

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

1. Fotobioreaktor berbentuk aquarium dengan kapasitas 18 dm³ dengan bahan kaca transparan yang dilengkapi dengan aliran *input* dan *output* gas dan udara.
2. *Air pump portable*.
3. Tabung gas CO₂ yang dilengkapi dengan regulator.
4. Tabung gas LPG yang dilengkapi dengan regulator.
5. Flowmeter udara, gas CO₂ dan gas LPG.
6. Filter udara dan bahan gelas yang telah diisi kapas steril.
7. Lampu Phillip Hallogen 20 W/12 V/50 Hz dan transformator 220V primer /12V *sekunder* dengan intensitas maksimum 177 W/m² sebagai sumber iluminasi.
8. T-Septum yang terbuat dan bahan stainless steel sebagai titik indikator konsentrasi gabungan gas CO₂ dan LPG yang masuk ke dalam fotobioreaktor.
9. Selang silikon dan selang plastik.
10. Lemari reaktor yang terbuat dan kaca dan kotak aluminium (sebagai tempat *running* fotobioreaktor).

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

1. Kuvet kaca / plastik dengan volume 5 mL sebagai tempat sampel pada pengukuran dengan spektrofotometer UV-VIS.
2. Spektrofotometer UV-VIS (*Spectro UV-VIS Spectrophorometre, LaboMed Inc.*).
3. Luxmeter (*Set Lightmeter Lxtron LX-103*).
4. pH meter (*HANNA Model HI 8014*).
5. Syringe 1001 RT Hamilton 1 cm³.



6. Unit Gas Chromatography (*GC-TCD Shimadzu GC-8A*) dengan *carrier* gas Argon dan recorder.

Selain itu terdapat juga instrumen tambahan, antara lain :

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

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. *Starter* mikroalga hijau *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan usia ± 72 jam yang telah dihitung sel awal-nya (inokulum) menggunakan spektrofotometer pada 680 nm.
2. KH_2PO_4 , MgSO_4 , NaNO_3 , dan FeCl_3 untuk membuat medium *Beneck*.
3. Gas CO_2 sebagai bahan untuk fotosintesis mikroalga pada pembiakan kultur murni.
4. Gas LPG yang akan dibakar dan akan dimodelkan sebagai aliran gas input kedalam fotobioreaktor.
5. Aquadest untuk membuat medium *Beneck* dan mencuci peralatan.
Alkohol 70% untuk sterilisasi peralatan.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang dapat ditentukan dari penelitian ini adalah :

1. Variabel tetap, yaitu intensitas cahaya masuk (I_0), jumlah inokulum *Chlorella vulgaris* Buitenzorg (N_0).
2. Variabel bebas, yaitu % volume LPG.



3. Variabel tergantung yaitu : jumlah sel / kerapatan sel / *optical density* (N/OD), pH, dan intensitas cahaya yang ditransmisikan keluar reaktor (I).

3.4 Prosedur Penelitian

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

3.4.1 Membuat Gas Model Sisa Pembakaran LPG

LPG yang digunakan pada penelitian ini akan dibakar dan gas hasil pembakarannya akan dibuat gas model berdasarkan komposisi persen volume gas hasil analisa menggunakan GC. Langkah awal yang dilakukan adalah dengan mengambil gas hasil pembakaran LPG kemudian dianalisis menggunakan *Gas Chromatography* sehingga komposisi gas bakar tersebut dapat diketahui. Selanjutnya data komposisi gas bakar tersebut akan dibuat gas model yang pada akhirnya akan dialirkan ke dalam fotobioreaktor untuk diketahui pengaruhnya terhadap pertumbuhan *Chlorella sp.*, sehingga gas masukan kedalam reaktor adalah gas CO₂ murni, udara dan tambahan gas LPG yang disimulasikan sebagai gas sisa hasil pembakaran LPG yang tidak sempurna dengan besarnya nilai persen volume yang sesuai dengan hasil analisa menggunakan GC.

3.4.2 Sterilisasi Peralatan

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

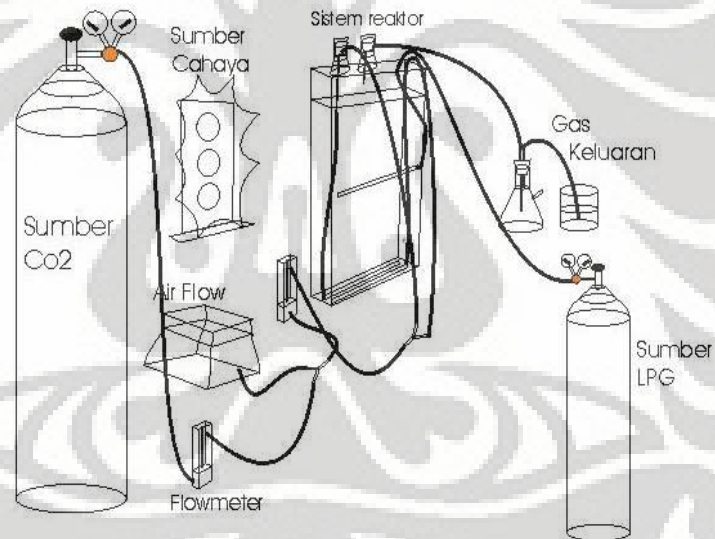
1. Mencuci peralatan dengan sabun dan dibilas dengan air sampai bersih.
2. Mengeringkan peralatan dengan tisu atau kompresor udara dan kemudian menutup peralatan yang berlobang atau berongga dengan aluminium foil agar tidak terkontaminasi setelah disterilisasi.



3. Memasukkan peralatan yang akan disterilisasi ke dalam autoclave dan disterilisasi pada suhu 120°C selama $\pm 1,5$ jam untuk medium dan ± 45 menit untuk peralatan gelas.
4. Membilas peralatan dengan alkohol 70 % selama ± 5 menit kemudian dibilas dengan aquadest steril sebanyak 20 kali untuk memastikan tidak ada sisa alkohol pada alat.
5. Peralatan yang sudah disterilisasi diatas disimpan dalam lemari penyimpanan yang kedap udara dan dilengkapi lampu UV selama ± 2 jam sebelum digunakan.

3.4.3 Pembuatan Rangkaian Alat

Gambar 3.2 dibawah ini merupakan ilustrasi rangkaian peralatan yang akan digunakan pada penelitian ini :



Gambar 3. 2 Rangkaian Alat Penelitian

Peralatan seperti gambar 3.2 diatas dirangkai dalam lemari kaca dengan tujuan agar reaktor terlindung dari kontaminan. Penelitian ini menggunakan fotobioreaktor berukuran 18 dm^3 dan diletakkan dalam posisi sejajar menghadap ke lampu halogen sebagai sumber iluminasi. Kemudian aliran dari tabung gas hasil pemodelan dari gas bakar dan aliran udara dari kompresor dilewatkan ke dalam *flowmeter* dan digabungkan menjadi satu aliran. Aliran ini kemudian diumpankan ke dalam reaktor. Aliran keluaran reaktor dimasukkan ke dalam



sebuah erlenmeyer *discharge* CO₂ yang berisi air. Sampel inilah yang akan diukur konsentrasi gas CO₂ keluaran reaktor.

Reaktor yang digunakan dihitung nilai α -nya sebagai fungsi dari intensitas. Nilai α ini digunakan untuk mengetahui hambatan cahaya dari reaktor, sehingga dapat diketahui intensitas cahaya sesungguhnya yang diterima oleh kultur. Kalibrasi *flowmeter* juga dilakukan agar diketahui dengan tepat skala dari masing-masing *flowmeter*. Hal ini penting karena model gas bakar yang mengandung CO₂ yang akan dialirkan harus selalu dijaga konstan.

Sambungan selang dilapisi dengan selotip untuk memastikan tidak ada sambungan yang bocor sekaligus mencegah kontaminan masuk kedalam rangkaian. Lampu Phillip halogen yang digunakan sebagai sumber iluminasi, dengan intensitas cahaya yang dijaga konstan 5 klx. Alkohol 70 % digunakan untuk membersihkan dan mensterilkan lemari untuk kultivasi agar kontaminan dapat diminimalisir.

3.4.4 Pembuatan Medium Beneck

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

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

Tabel 3. 1 Bahan Medium *Beneck*

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

Untuk membuat 18 dm³ larutan *Beneck* diperlukan 1800 mg KH₂PO₄, 3600 mg MgSO₄.7H₂O, 9000 mg NaNO₃ dan 54 – 90 mg FeCl₃ dalam 18 liter aquadest. Medium kemudian disterilisasi menggunakan *autoclave* selama ± 1,5 jam dan didinginkan. Tahapan berikutnya adalah menyimpan medium dalam lemari pendingin bila tidak langsung digunakan. Apabila terdapat endapan di dasar medium maka endapan tersebut harus dipisahkan dahulu sebelum disimpan..



3.4.5 Pemiakan Kultur Murni

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

Prosedur dalam melakukan pemiakan ini adalah sebagai berikut :

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

3.4.6 Pembuatan Kurva Kalibrasi OD vs N_{sel} dan OD vs X

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

3.4.6.1 Kurva Kalibrasi OD vs N_{sel}

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

3.4.6.2 Kurva Kalibrasi OD vs X

Kurva ini dibuat dengan cara mengeringkan sampel yang telah dihitung OD-nya. Proses pengeringan ini dilakukan dengan men-*sentrifuge* sampel, kemudian



memisahkan padatan/sel *Chlorella* dari mediumnya, lalu dicuci bersih dengan *aquadest* dan di-*sentrifuge* lagi. Kemudian hasil *sentrifuge* terakhir di-oven dengan suhu 110°C sampai benar-benar kering, kemudian ditimbang.

3.4.7 Penentuan Jumlah Inokulum *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Penentuan jumlah inokulum perlu dilakukan untuk mengetahui perkembangan pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg setelah dilakukan variasi % volume LPG, dengan cara menghitung jumlah sel yang terdapat dalam kultur, menggunakan spektrofotometer. Pada penelitian ini penghitungan jumlah sel dilakukan dengan spektrofotometer agar lebih efisien, yang dapat dikonversikan ke dalam jumlah sel persatuan volume. Prosedur ini akan menjadi lebih mudah apabila telah dibuat kurva kalibrasi antara OD_{600} dengan N_{sel} , sehingga untuk mengetahui jumlah sel hanya memerlukan data OD_{600} dari sel tersebut. Berikut ini adalah prosedur penggunaan spektrofotometer:

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

3.4.8 Variasi Persen Volume LPG Sebagai Gas Masukan

Tahapan ini dapat dilakukan setelah inokulum yang telah ditentukan dipersiapkan, selain itu telah menjalankan tahapan sebelumnya, seperti sterilisasi



alat, merangkai alat, preparasi medium, pembiakan kultur murni dan penentuan jumlah inokulum telah selesai dilakukan.

Tahapan dalam melakukan variasi persen volume LPG sebagai gas masukan sebagai berikut :

- ✓ Memindahkan inokulum sebanyak 600 ml dengan jumlah awal tertentu (N_i) sebanyak 882.000 sel dan $OD_{600} = 0,239$ ke dalam reaktor steril, dengan proses pemindahan dilakukan pada lemari *transfer box* dengan tujuan agar meminimalisir kontaminan.
- ✓ Mem-*bubbling* reaktor dengan gas hasil pembakaran LPG yang telah dimodelkan.
- ✓ Melakukan sterilisasi lingkungan disekitar reaktor dengan alkohol 70%
- ✓ Menjaga kondisi operasi fotobioreaktor, yakni tekanan gas dan udara dalam fotobioreaktor sebesar 1 atm, suhu fotobioreaktor sebesar 29 °C, intensitas cahaya sebesar 14,75 W/m² (5000 lux) dengan jumlah inokulum yang telah ditetapkan sebelumnya.

3.4.9 Pengambilan Data

Data yang diambil pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- ✓ Kerapatan sel [N/OD] (sel/cm³)
- ✓ Intensitas cahaya belakang fotobioreaktor [I_t] (lux)
- ✓ pH fotobioreaktor

Proedur pengambilan data:

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

3.5 Metode Perhitungan Hasil Observasi Data

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



3.5.1 Pengolahan Data OD₆₀₀

Dari penelitian ini akan didapatkan nilai OD yang akan dikonversi menjadi nilai N_{sel} dan X. Nilai 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 OD₆₀₀ vs N_{sel} dan OD₆₀₀ vs X yang telah dibuat pada prosedur sebelumnya. Hasilnya dibuat kurva pertumbuhan X vs t.

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

$$\mu = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} \quad \text{atau} \quad \mu = \frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dt} \quad (\text{Schugerl dan Bellgardt, 2000})$$

dimana:

- μ = laju pertumbuhan spesifik (h^{-1})
- N = jumlah sel (sel/cm^3)
- X = berat kering sel/biomassa (g/dm^3)
- t = waktu (h)

3.5.2 Pengolahan Data pH

Nilai pH digunakan untuk menghitung besar konsentrasi $[\text{HCO}_3^-]$ dalam reaktor dengan persamaan *Handerson-Hasselbach* berikut ini:

$$K \text{ CO}_2 = \frac{[\text{HCO}_3^-] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{CO}_2]} \quad (\text{Wijanarko, 2000})$$

$$[\text{HCO}_3^-] = K \text{ CO}_2 [\text{CO}_2] [\text{H}^+]$$

$$[\text{HCO}_3^-] = K \text{ CO}_2 [\text{CO}_2] 10^{-\text{pH}}$$



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

$$P_{CO_2} = H_{CO_2} \cdot y_{CO_2}$$

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

$$\ln \left(\frac{H_{CO_2}}{H_{CO_{2,0}}} \right) = A_H \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_H \cdot \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) + C_H \left(\frac{T}{T_0} - 1 \right) \quad (\text{Wijanarko, 2000})$$

$$\ln \left(\frac{H_{CO_2}}{H_{CO_{2,0}}} \right) = A_K \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_K \cdot \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) + C_K \left(\frac{T}{T_0} - 1 \right) \quad (\text{Wijanarko, 2000})$$

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

$$[HCO_3^-] = \left(\frac{K_{CO_{2,0}}}{H_{CO_{2,0}}} \right) \left(\frac{y_{CO_2} \cdot P_T}{10^{-pH}} \right) \left(\frac{\text{EXP} \left[A_k \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_k \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) + C_k \left(\frac{T}{T_0} - 1 \right) \right]}{\text{EXP} \left[A_h \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_h \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) + C_h \left(\frac{T}{T_0} - 1 \right) \right]} \right)$$

dimana :

P_T = temperatur operasi. (atm)

y_{CO_2} = konsentrasi gas CO_2 yang diumpangkan.

$K_{CO_{2,0}} = 4.38 \cdot 10^{-7}$

$H_{CO_{2,0}} = 2900 \frac{kPa \cdot kg}{mol}$

T = temperatur operasi (K)

T_0 = temperatur standar (K)

Konstanta-konstanta aktivitas gas CO_2 :

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

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

3.5.3 Pengolahan Data I

Jumlah intensitas yang diterima oleh reaktor (1) dan besar intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh reaktor (ib) digunakan untuk menentukan



besama nilai energi yang digunakan untuk produksi biomassa dan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Nilai energi ini ditentukan melalui persamaan berikut:

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

di mana :

ΔX = berat biomassa yang dihasilkan selama masa kultivasi (g/dm^3)

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

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

E_x = energi cahaya yang dimanfaatkan selama kultivasi

E = energi yang tersedia selama kultivasi

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

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



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang pelaksanaan penelitian, data yang diperoleh, dan analisis hasil penelitian

4.1 PEMBAHASAN UMUM

Mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada penelitian ini mengalami proses pengembangbiakan dalam sebuah fotobioreaktor kolom gelembung dengan pencahayaan kontinu untuk mengetahui ketahanan mikroalga terhadap polutan hasil pembakaran bahan bakar fosil yang dapat diketahui lewat pertumbuhan mikroalga *Chlorella sp.* setelah mengalami perlakuan penambahan gas model sisa hasil pembakaran LPG ke dalam medium hidupnya. Bahasan pada penelitian ini difokuskan pada pengaruh gas sisa hasil pembakaran LPG terhadap pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Penamaan *nomenclature* Buitenzorg diambil untuk identitas jenis *Chlorella* ini karena berasal dari daerah Bogor yang pada masa penjajahan kolonial Belanda disebut sebagai Buitenzorg (kota yang sejuk). Fotobioreaktor yang digunakan pada penelitian ini bervolume 18 dm³, dengan bahan gelas transparan.

Penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan alat yang akan digunakan dalam kultivasi. Alat-alat yang harus disiapkan diantaranya ; reaktor, alat-alat gelas, selang plastik, dan lain-lain. Sedangkan bahan yang harus disiapkan seperti medium *Beneck*, gas CO₂ sebagai sumber karbon dan LPG sebagai input gas sisa hasil pembakaran yang masih menyisakan LPG yang tidak terbakar, alkohol 70 % untuk sterilisasi, dan sebagainya. Dalam kultivasi mikroalga ini yang harus diperhatikan adalah proses dan kondisi lingkungan kultivasi harus steril, untuk menjaga agar kultur tidak terkontaminasi yang dapat menghambat pertumbuhannya. Oleh sebab itu, perlu dilakukan sterilisasi peralatan yang digunakan terutama yang berhubungan langsung dengan kultur. Proses sterilisasi yang dilakukan berbeda-beda untuk masing-masing peralatan. Untuk peralatan yang tahan panas, proses sterilisasi dengan menggunakan *autoclave*. Sedangkan untuk peralatan yang tidak tahan panas seperti selang plastik dan lain-lain, dapat



disterilisasi menggunakan alkohol 70 %, dengan syarat alat tersebut harus dibilas dengan aquadest steril lagi untuk menghilangkan sisa-sisa alkohol.

Pertimbangan penggunaan *Beneck* sebagai medium hidup kultur adalah karena di dalam medium ini terdapat banyak senyawa makro yang diperlukan dalam pertumbuhan *Chlorella vulgaris* secara optimal dalam fotobioreaktor. Berdasarkan penelitian sebelumnya telah dibuktikan bahwa *Beneck* merupakan medium yang paling cocok digunakan sebagai media pertumbuhan *Chlorella*. Kandungan medium *Beneck* itu sendiri adalah $MgSO_4$, KH_2PO_4 , $NaNO_3$, dan $FeCl_3$, dengan komposisi seperti yang tertera pada tabel 3.1. Mg^{2+} dibutuhkan dalam mengontrol proses pembelahan sel. Sedangkan PO_4^{3-} dan NO_3^- sangat penting dalam pembentukan nukleat dan protein selama pertumbuhan sel (Wirosaputro, 2002).

Sebelum *Chlorella vulgaris* digunakan sebagai inokulum awal, dilakukan *pre-culture* yang bertujuan untuk memberikan kesempatan pada mikroalga tersebut beradaptasi dengan lingkungan atau medium yang baru (melewati fase lag), disamping bertujuan untuk memperbanyak stok *Chlorella vulgaris*. *Pre-culture* ini dilakukan dalam fotobioreaktor dengan penyinaran rendah ± 1000 lux ($2,95 W/m^2$) serta aliran udara tanpa CO_2 tambahan.

Tahap penelitian berikutnya adalah pembuatan inokulum awal dan stok mikroalga *Chlorella*. Jumlah sel yang digunakan adalah 1×10^6 sel/cm³. Hal ini perlu dilakukan untuk memastikan semua unsur hara untuk pertumbuhan yang tersedia dalam medium memungkinkan untuk pertumbuhan optimal.

Intensitas cahaya yang digunakan adalah sebesar $14,75 W/m^2$ dan dijaga tetap selama kultivasi. Nilai intensitas yang ditetapkan ini mengacu pada penelitian sebelumnya dimana intensitas cahaya maksimum untuk pertumbuhan sel optimum ($I_{\mu_{max,opt}}$) untuk jumlah inokulum yang digunakan adalah $14,75 W/m^2$ (Andika, 2005).

Laju alir CO_2 dalam udara ditetapkan sebesar 5 % pada model gas hasil pembakaran yang mengalami pembakaran LPG secara sempurna, hal ini sesuai dengan data hasil analisis menggunakan GC yang dapat dilihat pada Lampiran.E, sedangkan masukan gas lain yang disimulasikan adalah adanya gas LPG sisa yang tidak terbakar sempurna dan ditetapkan dengan variasi 0.3%, 0.5%, 1% LPG. Laju



alir ini divariasikan untuk melihat pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dengan penambahan LPG kedalam medium hidupnya.

Pada variasi input gas dengan model pembakaran sempurna ($\text{CO}_2 = 5\%$; $\text{LPG} = 0\%$), dilakukan kultivasi selama 300 jam. Tujuannya adalah untuk melihat waktu yang di perlukan *Chlorella vulgaris* mencapai fase stasionernya, sehingga untuk penelitian berikutnya nilai tersebut ditetapkan sebagai waktu kultivasi. Pada penelitian ini diperoleh waktu yang diperlukan *Chlorella vulgaris* untuk mencapai fase stasionernya adalah 128 jam. Kultivasi dapat dimulai setelah semua kondisi operasi ditetapkan. Data yang diambil mencakup OD_{600} sel, pH, dan I_b , pada rentang waktu yang telah ditentukan.

4.2 DATA PENELITIAN

Pada penelitian ini, data yang diperoleh digunakan untuk melihat pengaruh gas sisa hasil pembakaran LPG terhadap pertumbuhan, ketersediaan $[\text{HCO}_3^-]$ dalam medium kultur dan energi yang digunakan dalam pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.

Variasi input gas LPG yang digunakan adalah 0%, 0.3%, 0.5%, 1% volume. Data yang diperoleh berupa *Optical Density* (OD_{600}) sel, yang dikonversi menjadi berat kering (X) sel, intensitas cahaya berupa nilai I_t , serta pH selama waktu kultivasi. Data tersebut tersaji pada gambar 4.1.

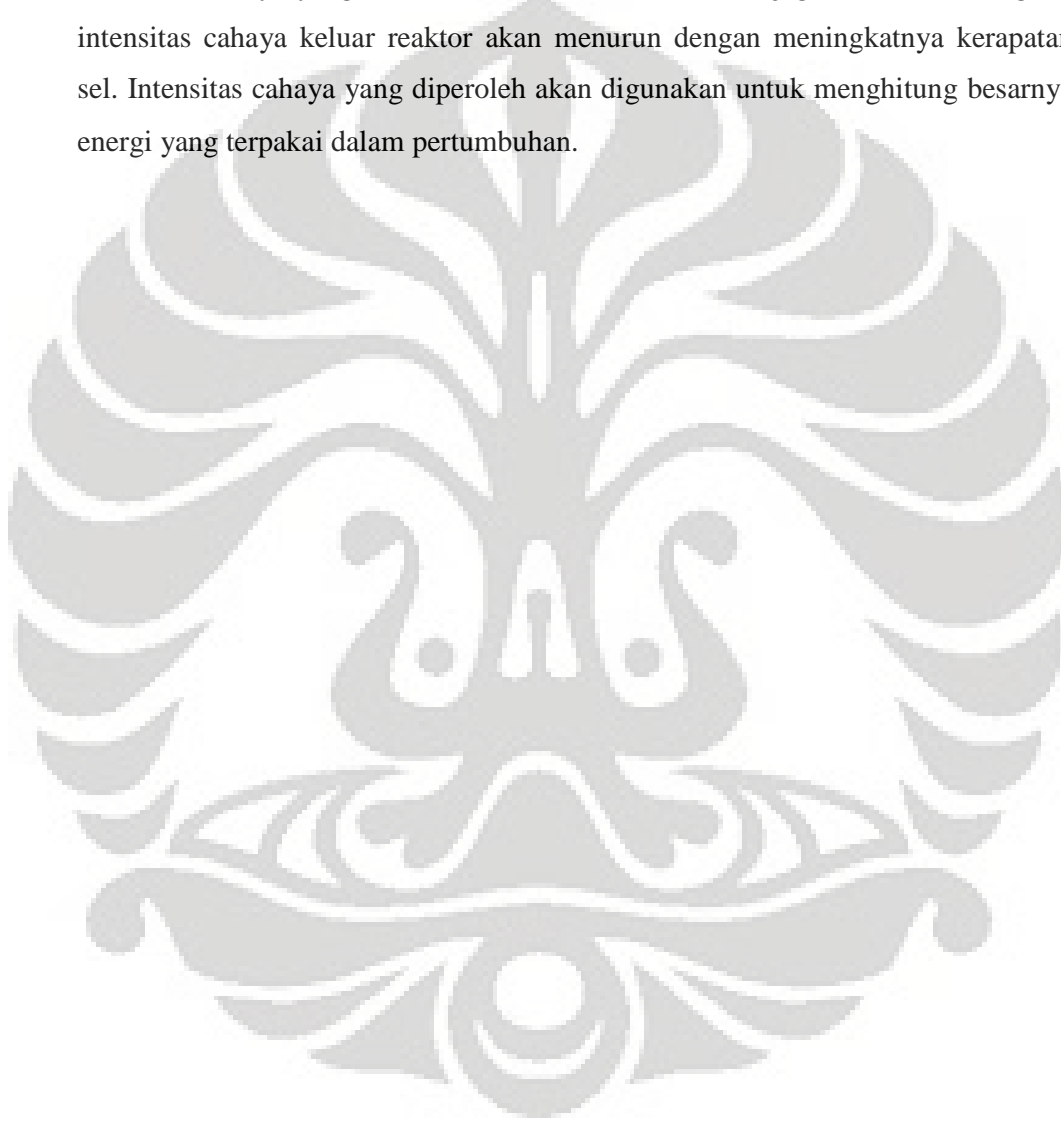
Nilai berat kering (X) sel diketahui dengan mengkorelasikan nilai OD_{600} yang didapatkan pada kurva kalibrasi OD_{600} vs X, dimana datanya dapat dilihat pada Lampiran E. Pada gambar 4.1 baris pertama dapat dilihat bahwa kecendrungan berat kering sel (X) yang diperoleh akan meningkat dan kemudian cenderung konstan selama kultivasi. Hal ini sesuai dengan teori mengenai fase hidup mikroalga yang dapat dikelompokkan kedalam 5 fase, yakni : fase tunda (*lag phase*), fase eksponensial (*log phase*), fase penurunan laju pertumbuhan, fase stasioner dan fase kematian (*death phase*) (Fogg, 1975).

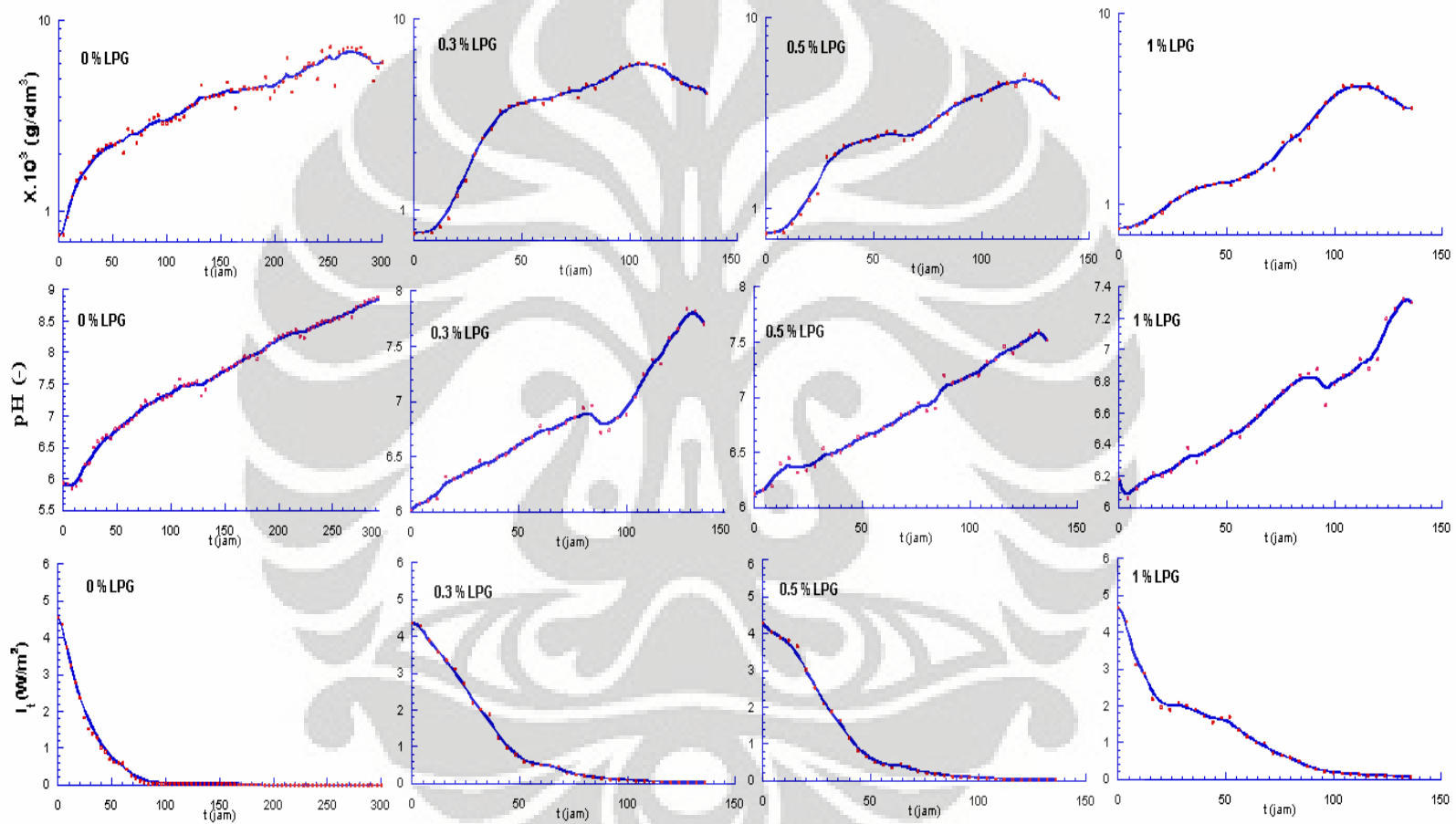
Pada gambar 4.1 baris kedua merupakan nilai pH yang terukur selama kultivasi pada variasi input gas LPG 0-1% volume. Data ini menunjukkan konsentrasi substrat $[\text{HCO}_3^-]$ yang digunakan dalam metabolisme sel. pH kultur selama waktu kultivasi cenderung meningkat sebagai akibat rneningkatnya metabolisme sel. Pada akhir kultivasi pH akan cenderung konstan dan jika masa



kultivasi ditambah maka pH yang terukur akan turun. Hal ini disebabkan oleh sel yang mati persatuan waktu bertambah sehingga metabolisme sel menurun.

Baris ketiga pada gambar 4.1 menunjukkan nilai intensitas cahaya yang terukur pada variasi input gas LPG 0-1% volume. Data yang diperoleh berupa intensitas cahaya keluaran reaktor (I_t). Nilai ini diukur menggunakan lux meter. Intensitas cahaya yang masuk kedalam fotobioreaktor dijaga konstan, sedangkan intensitas cahaya keluar reaktor akan menurun dengan meningkatnya kerapatan sel. Intensitas cahaya yang diperoleh akan digunakan untuk menghitung besarnya energi yang terpakai dalam pertumbuhan.





Gambar 4. 1 Perkembangan *Chlorella vulgaris* pada Beberapa Variasi Persen Volume Gas LPG



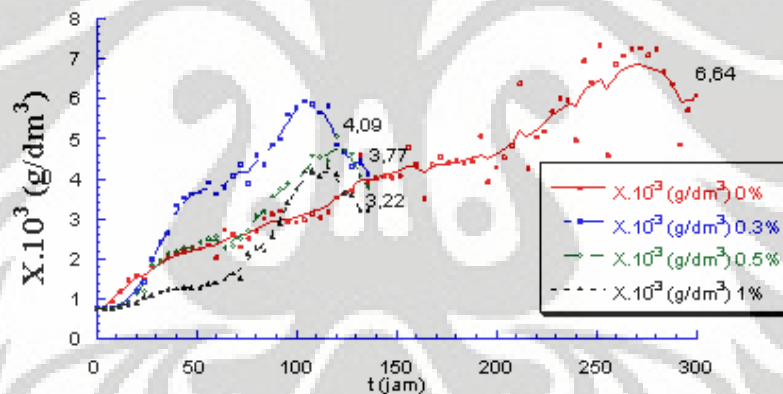
4.3 PENGARUH PERSEN VOLUME LPG TERHADAP PERTUMBUHAN

Chlorella vulgaris

Untuk dapat melihat pengaruh persen volume LPG terhadap pertumbuhan *Chlorella vulgaris* secara rinci, maka pembahasan akan difokuskan pada beberapa variabel yang mempengaruhi pertumbuhan *Chlorella vulgaris*, seperti yang akan dijelaskan pada subbab berikutnya.

4.3.1 Kerapatan Biomassa (X_{sel})

Berat kering sel awal (X_0) sama untuk setiap variasi, yakni sekitar $0,75 \text{ g/dm}^3$ hal ini dilakukan agar memudahkan dalam melakukan perbandingan. Dari penelitian diperoleh berat kering akhir (X_{akhir}) sel paling tinggi yaitu pada variasi 0% volume LPG atau pada gas model sisa hasil pembakaran LPG secara sempurna yang mengandung gas campuran dengan volume 5% CO_2 murni dan 95% udara, yakni sebesar $6,64 \times 10^{-3} \text{ g/dm}^3$.



Gambar 4. 2 Kerapatan Sel Pada Berbagai Variasi Persen Volume LPG

Nilai tertinggi dari berat akhir (X_{akhir}) sel didapatkan untuk variasi tanpa menggunakan LPG atau 0% volume LPG dibandingkan dengan menggunakan menggunakan LPG atau pada variasi 0,3%, 0,5%, dan 1% volume LPG dan nilai berat akhir (X_{akhir}) sel semakin menurun berbanding lurus dengan besarnya penambahan LPG sebagai gas masukan kedalam medium hidup *Chlorella*, hal ini disebabkan dengan penambahan LPG dengan kandungan utama C_3H_8 dan C_4H_{10} kemampuan sel untuk menyerap CO_2 sebagai bahan dasar untuk berfotosintesis semakin berkurang, karena pada dinding sel *Chlorella* terjadi penutupan oleh molekul C_3H_8 dan C_4H_{10} yang menempel akibat bertabrakan pada saat aerasi



didalam fotobioreaktor, hal ini menyebabkan penyerapan gas CO_2 dalam bentuk ion $[\text{HCO}_3^-]$ yang terlarut dalam medium air yang diperlukan untuk proses fotosintesis semakin berkurang. Ukuran molekul C_3H_8 dan C_4H_{10} yang lebih besar dari ukuran molekul substrat $[\text{HCO}_3^-]$ menyebabkan proses absorpsi atau penyerapan $[\text{HCO}_3^-]$ menjadi tidak optimum karena terhalang dengan adanya tambahan polutan C_3H_8 dan C_4H_{10} didalam medium, selain itu dinding sel *Chlorella* yang merupakan selaput atau membran selektif *permeable* lebih menyukai molekul ionik $[\text{HCO}_3^-]$ dibanding molekul anionik (C_3H_8 dan C_4H_{10}) (Kaplan et.al,1980), sehingga afinitas atau kemampuan molekul $[\text{HCO}_3^-]$ dalam menembus dinding sel *Chlorella* untuk digunakan dalam proses fotosintesis lebih tinggi dibanding afinitas C_3H_8 dan C_4H_{10} , oleh karena itu dapat kita katakan bahwa dengan penambahan LPG kedalam medium hidup mikroalga *Chlorella* akan menyebabkan proses pertumbuhan dan perkembangbiakan sel menjadi terganggu. Mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg ini masih memiliki resistansi atau ketahanan yang cukup baik pada penambahan polutan LPG dengan kadar rendah hingga 1% volume, hal ini ditandai dengan adanya tingkat pertumbuhan dan jumlah sel yang semakin meningkat, asalkan masih tersedianya *carbon source* yang mudah terlarut dan mudah dipecah menjadi senyawa sederhana oleh mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg seperti gas CO_2 yang ditambahkan kedalam medium hidupnya untuk melakukan proses metabolisme sel.

Pada gambar 4.2 dapat dilihat peningkatan berat kering (X) *Chlorella vulgaris* pada berbagai variasi persen volume LPG. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa peningkatan berat kering sel yang signifikan pada 56 jam pertama masa kultivasi untuk gas model sisa hasil pembakaran LPG yang tidak sempurna atau mengandung LPG dengan persen volume 0,3%, 0,5% dan 1% dan pada 150 jam pertama untuk gas model sisa hasil pembakaran LPG yang sempurna atau 0% volume LPG, kedua kurun waktu tersebut berada pada fase pertumbuhan optimum sel *Chlorella* atau berada pada fase logaritmik. Pada fase logaritmik tersebut *Chlorella* mencapai laju pertumbuhan paling maksimum, hal ini sebabkan oleh unsur yang terdapat dalam medium yang berperan dalam pertumbuhan masih memadai. Pada fase ini juga, ketersediaan substrat masih banyak dan kerapatan



sel masih rendah sehingga penyerapan makanan dan cahaya sebagai sumber energi untuk fotosintesis lebih optimal.

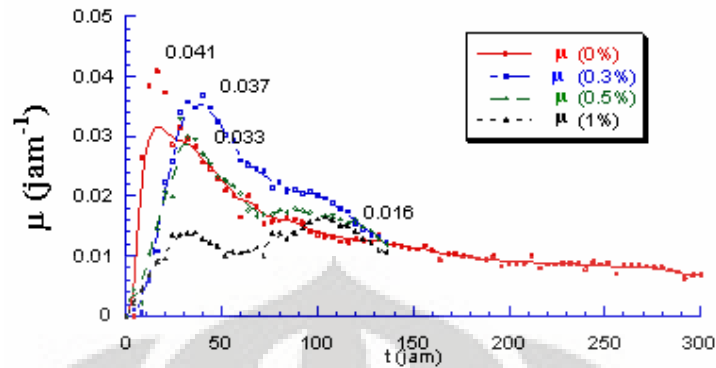
Setelah melewati fase logaritmik, pertumbuhan sel mulai berkurang dan kemudian cenderung stabil (fase stasioner). Pada fase stasioner ini kerapatan sel tinggi, sedangkan ketersediaan substrat menurun. Akibatnya, proses metabolisme tidak optimal sehingga pertumbuhan sel menurun. Disamping itu terjadi efek *self shading*, dimana sel akan saling menghalangi untuk mendapatkan cahaya sebagai sumber energi yang digunakan dalam fotosintesis.

Waktu kultivasi yang terjadi pada berbagai variasi persen volume LPG berbeda-beda, tampak pada gambar 4.1 waktu kultivasi sel pada masukan gas dengan persen volume 0% LPG atau tidak terkandung LPG lebih lama yakni sekitar 300 jam hingga mencapai fase stasioner-nya dibandingkan dengan gas model hasil pembakaran LPG yang tidak sempurna dengan variasi 0,3%, 0,5%, atau 1% volume LPG yang lebih singkat, yakni sekitar 130 jam untuk mencapai fase stasioner-nya. Hal ini dikarenakan dengan adanya tambahan LPG, sel mengalami kematian yang lebih cepat akibat berkurangnya kemampuan vakuola sel sebagai pengumpul CO_2 (CO_2 pool) dalam hal melakukan fiksasi CO_2 dalam bentuk $[HCO_3^-]$ yang dibutuhkan dalam proses metabolismenya karena adanya polutan LPG yang berperan sebagai inhibitor.

Dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan terbalik antara persen volume LPG dengan berat akhir sel, yakni dengan semakin meningkatnya kandungan atau volume LPG didalam aliran gas yang masuk kedalam medium hidup *Chlorella*, maka berat akhir sel akan semakin menurun. Tambahan polutan LPG kedalam medium hidup *Chlorella* dalam rentang 0,3 % – 1 % volume mengakibatkan penurunan kepadatan biomassa sebesar 38,4 % - 51,5 % dan menurunkan waktu kultivasi sel sekitar 50 % dibandingkan tanpa adanya polutan.

4.3.2 Laju Pertumbuhan Maksimum (μ_{max})

Laju pertumbuhan spesifik (μ_{max}) adalah laju pertumbuhan produksi biomassa pada fase logaritmik, yang merupakan waktu yang diperlukan untuk sekali pembelahan sel.



Gambar 4. 3 Laju Pertumbuhan Sel Pada Berbagai Variasi Persen Volume LPG

Pada gambar 4.3, dapat dilihat laju pertumbuhan sel pada berbagai variasi persen volume LPG pada gas masukan yang menunjukkan laju pertumbuhan sel selama 150 dan 300 jam masa kultivasi pada variasi persen LPG dengan menggunakan LPG dan tanpa LPG. Laju pertumbuhan mencapai titik maksimal pada fase eksponensial dan akan menurun sampai akhirnya memasuki fase kematian. Sesuai dengan persamaan Monod :

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

dimana:

μ = laju pertumbuhan spesifik (h^{-1})

N = jumlah sel (sel/cm^3)

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

t = waktu (h)

μ berbanding terbalik dengan berat kering sel (X), artinya semakin banyak biomassa yang dihasilkan maka akan μ semakin turun.

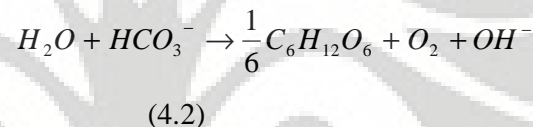
Laju pertumbuhan sel tiap variasi persen volume LPG secara keseluruhan hampir sama, yakni pada awal masa kultivasi laju pertumbuhan sel akan meningkat kemudian akan turun, hal ini disebabkan pada awal masa kultivasi sel berada pada fase lag, dimana sel mengalami proses adaptasi terhadap lingkungan atau sistem dimana sel berada, oleh karena itu sebagian sel mengalami kematian akibat proses adaptasi tersebut, sehingga sel *Chlorella* yang masih tetap bertahan setelah melewati proses adaptasi mengalami laju pertumbuhan yang semakin besar akibat masih banyak tersedianya unsur hara dalam medium dan kompetisi



untuk memperebutkan unsur hara itu tidak terlalu besar antar satu sel dengan sel yang lain. Berbeda kondisinya ketika sel memasuki fase log, dimana jumlah sel mengalami peningkatan yang signifikan, sehingga menyebabkan unsur hara yang terkandung dalam medium yang dibutuhkan untuk perkembangan sel semakin habis dan tingkat kompetisi antara sel untuk memperebutkan unsur hara tersebut semakin tinggi dan hal ini berdampak pada laju pertumbuhan yang terus menurun seiring dengan berjalannya waktu.

4.3.3 pH Kultur

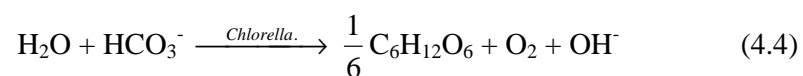
Nilai pH medium yang terukur adalah tingkat keasaman dari medium yang digunakan. Adanya aktivitas sel berupa pertumbuhan, pembelahan sel, serta metabolisme sel yang tinggi dapat meningkatkan pH medium. Hubungan ini dapat dijelaskan oleh persamaan reaksi berikut:



Senyawa bikarbonat terbentuk karena adanya reaksi antara CO_2 yang terlarut dalam larutan medium dengan air. Nilai $[HCO_3^-]$ dihitung dari perubahan pH kultur yang terjadi sebagai akibat adanya aktivitas pertumbuhan sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Pada saat gas CO_2 masuk dalam kultur, proses yang terjadi adalah pembentukan senyawa bikarbonat (pada *ekstraselular*) seperti pada reaksi berikut:

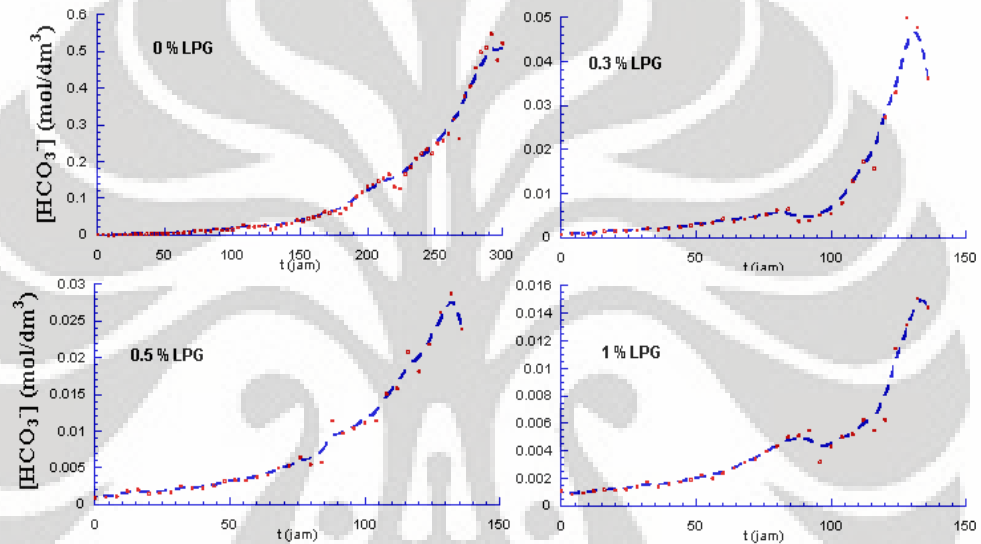


Senyawa bikarbonat inilah yang kemudian diserap oleh sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Proses metabolisme yang terjadi dalam sel selanjutnya adalah reaksi antara bikarbonat tersebut dan air yang terdapat dalam sel membentuk senyawa organik seperti glukosa dan ion OH^- . Glukosa tersebut akan digunakan sebagai sumber energi baik bagi *Chlorella* maupun organisme heterotrof, sebagaimana tergambar pada persamaan reaksi berikut:





Dari hasil pengolahan data yang disajikan pada gambar 4.1, terlihat bahwa nilai pH semakin tinggi. Naiknya nilai pH disebabkan semakin banyaknya jumlah $[\text{HCO}_3^-]$ dalam medium. Namun kemudian nilai pH tersebut cenderung konstan. Mungkin hal itu disebabkan oleh kadar pH dalam medium tidak dapat bertambah lagi akibat jenuh, dan tidak ada yg diserap oleh *Chlorella* karena *Chlorella* sendiri mengalami kematian secara perlahan-lahan. Nilai dari $[\text{HCO}_3^-]$ untuk masing-masing variasi dilihat pada gambar 4.4 berikut :



Gambar 4. 4 $[\text{HCO}_3^-]$ dalam Medium pada Berbagai Variasi Persen Volume LPG

Besarnya konsentrasi spesi ion $[\text{HCO}_3^-]$ sebanding dengan besarnya nilai pH, maka nilai $[\text{HCO}_3^-]$ akan semakin besar dengan naiknya nilai pH dalam kultur. pH medium akan meningkat selama masa kultivasi karena terjadinya proses metabolisme sel. Peningkatan pH yang tajam terjadi di 100 jam pertama masa kultivasi, dan di akhir masa kultivasi, pH medium cenderung tetap. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, fenomena ini terjadi akibat meningkatnya proses metabolisme sel (fase log), sehingga ion $[\text{OH}^-]$ sebagai hasil metabolisme juga semakin banyak. Hal ini terbukti dari hasil penelitian, dimana peningkatan pH medium lebih tinggi pada aliran gas masuk tanpa kandungan LPG (0% volume LPG), hal ini dikarenakan pada variasi aliran gas yang mengandung LPG, yang



pada dasarnya tersusun atas propana dan butana sebagai senyawa yang paling dominan dalam LPG, dimana total kandungan kedua senyawa lebih dari 90% total vol LPG (www.pertamina.com), hanya sedikit yang dapat terlarut dalam medium hidup *Chlorella* dengan kandungan utama air, tercatat bahwa kelarutan senyawa propana dan butana dalam air pada kondisi ruang (tekanan 1 atm, suhu 20⁰C) berturut-turut adalah 0,039 vol/vol dan 0,0325 vol/vol (www.airliquide.com), dari data ini dapat diketahui bahwa kelarutan LPG dalam air sangat kecil, sehingga menyebabkan LPG tidak dapat terserap banyak oleh sel, karena pada dasarnya mikroalga *Chlorella* ini menyerap kebutuhan gasnya dalam bentuk senyawa yang terlarut dalam mediumnya yang cair melalui vakuola, selain itu pada variasi dengan penambahan LPG (0,3%, 0,5%, 1%), kemampuan sel untuk menyerap CO₂ sebagai bahan dasar untuk berfotosintesis dan menghasilkan ion [OH⁻] semakin berkurang, karena pada dinding sel *Chlorella* terjadi penutupan oleh molekul C₃H₈ dan C₄H₁₀ yang menempel akibat bertabrakan pada saat aerasi didalam fotobioreaktor, sehingga menyebabkan penyerapan gas CO₂ dalam bentuk ion [HCO₃⁻] yang terlarut dalam medium air semakin berkurang dan menyebabkan ion [OH⁻] yang dihasilkan juga akan semakin berkurang. Hal ini menyebabkan dengan adanya tambahan LPG didalam aliran gas masuk kedalam fotobioreaktor, maka pH medium lebih rendah dibandingkan dengan tanpa penambahan LPG.

Kadar [HCO₃⁻] akhir yang diperoleh akibat adanya tambahan polutan LPG kedalam medium dalam rentang 0,3%, 0,5%, 1% volume berturut-turut adalah sebesar 0,036 M, 0,023 M, 0,014 M, atau mengalami penurunan 92,8 % - 97,2 % dari kadar [HCO₃⁻] akhir pada variasi tanpa menggunakan LPG yakni sebesar 0,49 M.

4.3.4 Energi Untuk Produksi Biomassa *Chlorella*

Dari data I_b yang diambil dalam penelitian maka dapat dihitung nilai I_t. Nilai I_t tersebut akan digunakan untuk menghitung besarnya energi yang diperlukan untuk produksi biomassa (E_x) dan efisiensi konversi energi cahaya untuk produksi biomassa (η). Hasil perhitungan besarnya energi yang diperlukan



sel untuk melakukan metabolisme dan efisiensi energi disajikan pada tabel 4.1 berikut :

Tabel 4. 1 E_x dan η_{bp} dalam Berbagai Variasi Persen LPG

Persen Vol. LPG	E_x (J/g)	η_{bp} (%)
0 %	111,48	0,53
0,3 %	88,97	0,95
0,5 %	87,95	0,89
1 %	85,04	0,81

Besarnya energi yang diperlukan untuk menghasilkan biomassa (E_x) pada variasi % vol LPG berbanding terbalik dengan penambahan kadar LPG dalam medium. Walaupun nilai efisiensi dari variasi tanpa menggunakan LPG (0% vol) semakin meningkat dibandingkan dengan variasi dengan menggunakan LPG (0,3%, 0,5%, 1% vol), hal ini dikarenakan besarnya nilai energi yang diperlukan untuk melakukan proses fotosintesis dipengaruhi oleh kepadatan sel. Semakin padat sel maka energi yang dibutuhkan akan semakin besar. Peningkatan kebutuhan energi dipengaruhi oleh efek *self shading*. Fenomena ini terjadi akibat peningkatan kerapatan biomassa dalam media kultur selama kurun waktu pertumbuhan. Hal ini dapat menyebabkan penurunan besarnya fluks energi cahaya yang diterima setiap sel yang digunakan untuk fotosintesis dan menyebabkan laju pembelahan sel menurun sesuai dengan kolerasi logaritmik yang mirip dengan persamaan Lambert-Beer (Falkowsky and Owen, 1997).



BAB V

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg memiliki ketahanan yang cukup baik dengan penambahan gas sisa hasil pembakaran LPG, hal ini ditandai dengan adanya laju pertumbuhan sel maksimum (μ_{\max}) sebesar $0,016 \text{ h}^{-1} - 0,037 \text{ h}^{-1}$ dan berat akhir sel (X_{akhir}) sebesar $3,22 \cdot 10^{-3} \text{ g/dm}^3 - 4,09 \cdot 10^{-3} \text{ g/dm}^3$ dengan penambahan LPG dengan kadar 0,3 % - 1 % volume, akan tetapi apabila dibandingkan dengan perlakuan tanpa penambahan LPG, maka berat akhir sel mengalami penurunan sebesar 38,4 % - 51,5 % dalam rentang yang sama 0,3 % - 1 % volume LPG.
2. Penambahan LPG dengan komposisi 0,3 % volume merupakan komposisi optimum dalam penelitian ini yang menghasilkan laju pertumbuhan sel (μ) dan berat akhir sel (X_{akhir}) paling maksimum pada variasi dengan penambahan LPG pada rentang 0,3 % - 1 % vol.
3. Jumlah energi yang dikonsumsi per satuan biomassa pada produksi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada berbagai variasi % vol LPG relatif sama, yaitu sekitar 85,04 - 88,97 J/g dan memiliki kenaikan nilai efisiensi sekitar 50% dibandingkan dengan tanpa penambahan LPG kedalam medium hidup sel.



DAFTAR PUSTAKA

- Andika, S.M.K. Skripsi. *Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella vulgaris Buitenzorg dengan Alterasi Pencahayaan dalam Fotobiorektor Kolom Gelembung*, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok. 2006.
- Anonim. *What is Chlorella sp?..* Diakses tanggal 23 April 2008.
<http://www.chlorella-world.com/yaeyama.html>
- _____. *Microalga*. Diakses tanggal 23 April 2008.
<http://www.chlorellafactor.com>
- _____. *Struktur Sel Chlorella..* Diakses tanggal 25 April 2008.
<http://www.merops.sanger.ac.uk/cgibin>
- _____. *Fotosíntesis*. Diakses tanggal 14 Juni 2008.
<http://id.wikipedia.org/wiki/Biokimia>.
- _____. *Fotosintesis Mechanism*. Diakses tanggal 20 Mei 2008.
<http://www.courses.washington.edu/bioc44>
- _____. *Phases of Microbial Growth*. Diakses tanggal 2 April 2008.
<http://www.sp.uconn.edu>
- _____. *Calvin Cycle*. Diakses tanggal 20 April 2008.
<http://faculty.uca.edu>
- _____. *Chlorella Image Result*. Diakses tanggal 20 April 2008.
www.cnn.com
- _____. *The Dark Reactions of Photosynthesis, Assimilation of Carbon Dioxide and The Calvin Cycle*. Diakses tanggal 16 Februari 2008.
<http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/e24/24a.htm>
- _____. *Chlorella/Chlorophyll–Information/Benefits/Supplements*. 20 Mei 2008
<http://www.herbalremedies.com>
- _____. *Chloroplasts*. Diakses tanggal 20 April 2008.
<http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/biologypages/C/Chloroplasts.htm>
- _____. *Energi Fotosintesis*. Diakses tanggal 20 Mei 2008
<http://www.lablink.or.id/Bio/Sel/fotosintesis.htm>
- _____. *Environment and Development*. Diakses tanggal 20 April 2008.



- <http://www.lablink.or.id/Hidro/siklu/air-siklus.htm>
- _____. *Fotosintesis* – Wikipedia, The Free Encyclopedia. Diakses tanggal 20 April 2008.
<http://www.wikipedia.org/wiki/fotosintesis>
- _____. *Liquefied Petroleum Gas* – Wikipedia, The Free Encyclopedia. Diakses tanggal 8 Juli 2008. http://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_petroleum_gas
- _____. *Metabolisma Sel*. Diakses tanggal 20 April 2008
http://www.sscnetwork.com/bdg/bambang_i/metabsel.htm
- _____. *Photobioreactor Technology For Microalgae Cultivation*. Diakses tanggal 20 Mei 2008
<http://www.ecn.nl/files/bio/leaflets%20en/B-00-007.pdf>
- _____. *Photosynthetic Membrane*. Diakses tanggal 20 April 2008
<http://koning.ecsu.ststateu.edu/cel/chloroplasts.html>
- _____. *Photosynthetic Process*. Diakses tanggal 20 April 2008
<http://www.rci.rutgers.edu/~deis/photosynth.html>
- _____. *Reaksi Fotosintesis*. Diakses tanggal 20 Mei 2008.
<http://www.pasca.unpad.ac.id/magister/tanaman/silabus.html>
- _____. *LPG untuk Kebutuhan Rakyat*. Diakses tanggal 28 Februari 2008.
<http://www.pertamina.co.id/LPG>
- _____. *Butane and Propane MSDS*. Diakses tanggal 28 Februari 2008.
http://www.airliquide.com/MSDS/Butane_and_Propane
- Fogg, G. *Chlorella, Gem of the Orient, The Dynamic food Discovery*. Escondido, CA
- Falkowsky, Owen. *Microalgae Cultivation*. McGraw Hill. 1997
- Gunther and Helen, “*Biology: A Full Spectrum*”, Baltimore, Maryland. 2000
- Heidi. *Pengaruh Alterasi Intensitas Cahaya Terhadap Laju Transfer Karbon pada Proses Fiksasi CO₂ dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung Menggunakan Chlorella sp.* Departemen Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok. 2005.
- Hirata, Satoshi. Masao Hayashitani & Setsuji Tone, 1996, “*Carbon Dioxide Fixation in Batch Culture of Chlorella sp Using a Photobioreaktor with a Sunlight Collection Device*”, Research Institute of Innovative Technology for Earth and Departement of Chemical Engineering, Osaka University, Toyonaka, Japan.



- Kaplan et.al. *Biomass Cycle Production*. International Journal of Biotechnology. 1980
- Priyanto, Andree. *Simalakama Bahan Bakar Sawit*. Koran Tempo, 5 April 2007.
- Puteri, Yoffi. *Penentuan Kecepatan Superfisial CO₂ Optimum untuk Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella sp. dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung*. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok. 2006.
- Richmond, P. 1987. *Free Radicals in Biology and Medicine*. Clarendon Press, Oxford.
- Salisbury. F. B, C. W. Ross, *Fisiologi Tumbuhan jilid 2 ed 4*, Institut Teknologi Bandung, 1995
- Schugerl, K., Bellgardt, K.H., 2000, "*Bioreaction Engineering, Modelling and Control*", ISBN 3-540-66906-X Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Newyork
- Sherma, T., *Chlorella, its basis and application*. Harper and Row, Pub., 1987, N.Y.
- Suhartono et al. *Potensi Bioteknologi*. Erlangga. Jakarta. 2000
- Steenblock, D., 1987. *Chlorella Natural Medicinal Algae*. Aging Research Institute, El Toro, CA.
- Suriawiria, U. 2005. *Simbiosis dan Karakteristik Chlorella*. Intermedia. Jakarta
- Utkilen, Hans Christian, 1982, *Magnesium Limited Growth of The Cyanobacteria Anacyctis Nidulans*, Botanical Laboratory, University of Oslo, Oslo, Norway
- Whitmarsh, John and Govindjee. "*The Photosynthetic Process*". Diakses tanggal 20 April 2008.
<http://www.life.ui.ac.edu/govindjee/paper/gov.html>
- Widiastuti, Paramita. *Peningkatan Fiksasi CO₂ oleh Chlorella sp. dengan Alterasi Pencahayaan dalam Fotoreaktor Kolom Gelembung*. Departemen Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok. 2005.
- Wijanarko, Anondho. Susumu Kajiwara dan Kazuhisa Ohtaguchi. "*A Search for the State Variables of CO₂ Fixation Systems of The Cyanobacterium*



Synechoccus leopoliensis.” Departemen of Chemical Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan.

Wijanarko, Anondho and Kazuhisa Ohtaguchi. “*Alteration of Light Illumination During Microbial Growth: An Enhancement Effort of Biomass Production and Carbon Dioxide Fixation of Psychrophilic Cyanobacterium Anabaena cylindrica IAM MI*”. Department of Chemical Engineering, Tokyo Institute of Technology, Japan.

Wirosaputro, Sukiman. “*Chlorella untuk kesehatan global, Teknik budidaya dan Pengolahan*”, UGM Press, Yogyakarta, 2002.



LAMPIRAN A

KURVA KALIBRASI DAN

TABEL KONVERSI OD₆₀₀, N_{sel}, X

A.1 Kurva Kalibrasi OD₆₀₀ vs N_{sel} dan OD₆₀₀ vs X_f

Penentuan jumlah sel (N) pada awalnya dilakukan dengan menggunakan mikroskop elektrik, namun dikarenakan jumlah sel pada penelitian ini sangat tinggi maka digunakan metode penentuan jumlah sel menggunakan spektrofotometer pada $\lambda=600\text{nm}$. Untuk itu diperlukan kurva kalibrasi untuk konversi dari OD₆₀₀ ke N_{sel} dan OD₆₀₀ ke berat kering (X).

1. Kurva Kalibrasi OD₆₀₀ vs N_{sel}

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

2. Kurva Kalibrasi OD₆₀₀ vs X

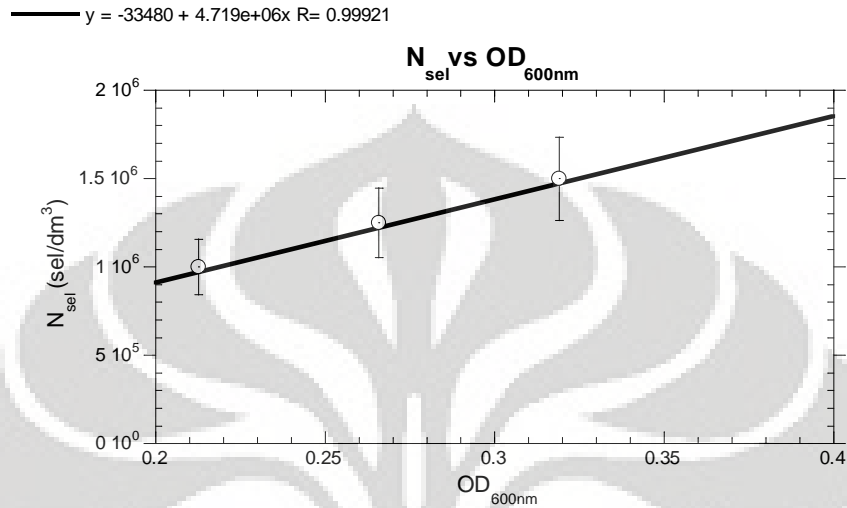
Kurva ini dibuat dengan cara mengeringkan sampel yang telah dihitung OD-nya. Proses pengeringan ini dilakukan dengan men-*sentrifuge* sampel, kemudian memisahkan padatan/sel *Chlorella* dari mediumnya, lalu dicuci bersih dengan *aquadest* dan di-*sentrifuge* lagi. Lalu hasil *sentrifuge* terakhir di-oven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

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

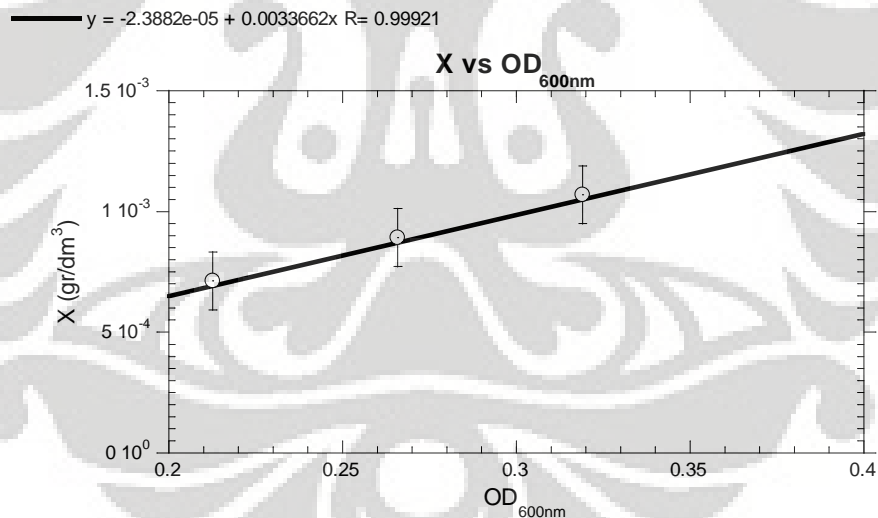
Data :

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

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



Gambar A.1. Kurva Kalibrasi Nsel vs OD600



Gambar A.2. Kurva Kalibrasi X vs OD600

A.2 Tabel Konversi OD600, Nsel, X

Dari persamaan garis pada kurva kalibrasi maka dapat dibuat tabel konversi OD₆₀₀, N_{sel}, dan X sebagai berikut:

OD ₆₀₀	N _{sel}	X	OD ₆₀₀	N _{sel}	X
0.200	909,403.980	0.000649358	0.250	1,145,732.382	0.000817668
0.201	914,130.548	0.000652724	0.251	1,150,458.950	0.000821034
0.202	918,857.116	0.000656090	0.252	1,155,185.518	0.000824400
0.203	923,583.684	0.000659457	0.253	1,159,912.086	0.000827767
0.204	928,310.252	0.000662823	0.254	1,164,638.654	0.000831133
0.205	933,036.820	0.000666189	0.255	1,169,365.222	0.000834499
0.206	937,763.388	0.000669555	0.256	1,174,091.790	0.000837865
0.207	942,489.956	0.000672921	0.257	1,178,818.358	0.000841231
0.208	947,216.524	0.000676288	0.258	1,183,544.926	0.000844598
0.209	951,943.092	0.000679654	0.259	1,188,271.494	0.000847964
0.210	956,669.660	0.000683020	0.260	1,192,998.062	0.000851330
0.211	961,396.228	0.000686386	0.261	1,197,724.630	0.000854696
0.212	966,122.796	0.000689752	0.262	1,202,451.198	0.000858062
0.213	970,849.364	0.000693119	0.263	1,207,177.766	0.000861429
0.214	975,575.932	0.000696485	0.264	1,211,904.334	0.000864795
0.215	980,302.500	0.000699851	0.265	1,216,630.902	0.000868161
0.216	985,029.068	0.000703217	0.266	1,221,357.470	0.000871527
0.217	989,755.636	0.000706583	0.267	1,226,084.038	0.000874893
0.218	994,482.204	0.000709950	0.268	1,230,810.606	0.000878260
0.219	999,208.773	0.000713316	0.269	1,235,537.174	0.000881626
0.220	1,003,935.341	0.000716682	0.270	1,240,263.742	0.000884992
0.221	1,008,661.909	0.000720048	0.271	1,244,990.311	0.000888358
0.222	1,013,388.477	0.000723414	0.272	1,249,716.879	0.000891724
0.223	1,018,115.045	0.000726781	0.273	1,254,443.447	0.000895091
0.224	1,022,841.613	0.000730147	0.274	1,259,170.015	0.000898457
0.225	1,027,568.181	0.000733513	0.275	1,263,896.583	0.000901823
0.226	1,032,294.749	0.000736879	0.276	1,268,623.151	0.000905189
0.227	1,037,021.317	0.000740245	0.277	1,273,349.719	0.000908555
0.228	1,041,747.885	0.000743612	0.278	1,278,076.287	0.000911922
0.229	1,046,474.453	0.000746978	0.279	1,282,802.855	0.000915288
0.230	1,051,201.021	0.000750344	0.280	1,287,529.423	0.000918654
0.231	1,055,927.589	0.000753710	0.281	1,292,255.991	0.000922020
0.232	1,060,654.157	0.000757076	0.282	1,296,982.559	0.000925386
0.233	1,065,380.725	0.000760443	0.283	1,301,709.127	0.000928753
0.234	1,070,107.293	0.000763809	0.284	1,306,435.695	0.000932119
0.235	1,074,833.861	0.000767175	0.285	1,311,162.263	0.000935485
0.236	1,079,560.429	0.000770541	0.286	1,315,888.831	0.000938851
0.237	1,084,286.997	0.000773907	0.287	1,320,615.399	0.000942217
0.238	1,089,013.565	0.000777274	0.288	1,325,341.967	0.000945584
0.239	1,093,740.133	0.000780640	0.289	1,330,068.535	0.000948950
0.240	1,098,466.701	0.000784006	0.290	1,334,795.103	0.000952316
0.241	1,103,193.269	0.000787372	0.291	1,339,521.671	0.000955682
0.242	1,107,919.837	0.000790738	0.292	1,344,248.239	0.000959048
0.243	1,112,646.405	0.000794105	0.293	1,348,974.807	0.000962415
0.244	1,117,372.973	0.000797471	0.294	1,353,701.375	0.000965781
0.245	1,122,099.542	0.000800837	0.295	1,358,427.943	0.000969147
0.246	1,126,826.110	0.000804203	0.296	1,363,154.512	0.000972513
0.247	1,131,552.678	0.000807569	0.297	1,367,881.080	0.000975879
0.248	1,136,279.246	0.000810936	0.298	1,372,607.648	0.000979246

0.249	1,141,005.814	0.000814302	0.299	1,377,334.216	0.000982612
-------	---------------	-------------	-------	---------------	-------------

OD ₆₀₀	N _{sel}	X	OD ₆₀₀	N _{sel}	X
0.300	1,382,060.784	0.000985978	0.350	1,618,389.186	0.001154288
0.301	1,386,787.352	0.000989344	0.351	1,623,115.754	0.001157654
0.302	1,391,513.920	0.000992710	0.352	1,627,842.322	0.001161020
0.303	1,396,240.488	0.000996077	0.353	1,632,568.890	0.001164387
0.304	1,400,967.056	0.000999443	0.354	1,637,295.458	0.001167753
0.305	1,405,693.624	0.001002809	0.355	1,642,022.026	0.001171119
0.306	1,410,420.192	0.001006175	0.356	1,646,748.594	0.001174485
0.307	1,415,146.760	0.001009541	0.357	1,651,475.162	0.001177851
0.308	1,419,873.328	0.001012908	0.358	1,656,201.730	0.001181218
0.309	1,424,599.896	0.001016274	0.359	1,660,928.298	0.001184584
0.310	1,429,326.464	0.001019640	0.360	1,665,654.866	0.001187950
0.311	1,434,053.032	0.001023006	0.361	1,670,381.434	0.001191316
0.312	1,438,779.600	0.001026372	0.362	1,675,108.002	0.001194682
0.313	1,443,506.168	0.001029739	0.363	1,679,834.570	0.001198049
0.314	1,448,232.736	0.001033105	0.364	1,684,561.138	0.001201415
0.315	1,452,959.304	0.001036471	0.365	1,689,287.706	0.001204781
0.316	1,457,685.872	0.001039837	0.366	1,694,014.274	0.001208147
0.317	1,462,412.440	0.001043203	0.367	1,698,740.842	0.001211513
0.318	1,467,139.008	0.001046570	0.368	1,703,467.410	0.001214880
0.319	1,471,865.576	0.001049936	0.369	1,708,193.978	0.001218246
0.320	1,476,592.144	0.001053302	0.370	1,712,920.546	0.001221612
0.321	1,481,318.712	0.001056668	0.371	1,717,647.114	0.001224978
0.322	1,486,045.281	0.001060034	0.372	1,722,373.682	0.001228344
0.323	1,490,771.849	0.001063401	0.373	1,727,100.251	0.001231711
0.324	1,495,498.417	0.001066767	0.374	1,731,826.819	0.001235077
0.325	1,500,224.985	0.001070133	0.375	1,736,553.387	0.001238443
0.326	1,504,951.553	0.001073499	0.376	1,741,279.955	0.001241809
0.327	1,509,678.121	0.001076865	0.377	1,746,006.523	0.001245175
0.328	1,514,404.689	0.001080232	0.378	1,750,733.091	0.001248542
0.329	1,519,131.257	0.001083598	0.379	1,755,459.659	0.001251908
0.330	1,523,857.825	0.001086964	0.380	1,760,186.227	0.001255274
0.331	1,528,584.393	0.001090330	0.381	1,764,912.795	0.001258640
0.332	1,533,310.961	0.001093696	0.382	1,769,639.363	0.001262006
0.333	1,538,037.529	0.001097063	0.383	1,774,365.931	0.001265373
0.334	1,542,764.097	0.001100429	0.384	1,779,092.499	0.001268739
0.335	1,547,490.665	0.001103795	0.385	1,783,819.067	0.001272105
0.336	1,552,217.233	0.001107161	0.386	1,788,545.635	0.001275471
0.337	1,556,943.801	0.001110527	0.387	1,793,272.203	0.001278837
0.338	1,561,670.369	0.001113894	0.388	1,797,998.771	0.001282204
0.339	1,566,396.937	0.001117260	0.389	1,802,725.339	0.001285570
0.340	1,571,123.505	0.001120626	0.390	1,807,451.907	0.001288936
0.341	1,575,850.073	0.001123992	0.391	1,812,178.475	0.001292302
0.342	1,580,576.641	0.001127358	0.392	1,816,905.043	0.001295668
0.343	1,585,303.209	0.001130725	0.393	1,821,631.611	0.001299035
0.344	1,590,029.777	0.001134091	0.394	1,826,358.179	0.001302401
0.345	1,594,756.345	0.001137457	0.395	1,831,084.747	0.001305767
0.346	1,599,482.913	0.001140823	0.396	1,835,811.315	0.001309133

0.347	1,604,209.481	0.001144189	0.397	1,840,537.883	0.001312499
0.348	1,608,936.050	0.001147556	0.398	1,845,264.451	0.001315866
0.349	1,613,662.618	0.001150922	0.399	1,849,991.020	0.001319232
			0.400	1,854,717.588	0.001322598

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



LAMPIRAN B

CONTOH DAN HASIL PERHITUNGAN E_x DAN η_{bp}

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

a. Total energi cahaya yang tersedia selama masa kultivasi:

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

b. Total energi cahaya yang terserap selama masa kultivasi:

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

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

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

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

t = waktu (jam)

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

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

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

dimana : ΔX = berat biomassa yang dihasilkan selama masa kultivasi (g/dm^3)

s = jarak yang ditempuh cahaya didalam kultur (m)

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

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

Pada penelitian ini : $A = 0.0385 \text{ m}^2$

$s = 0.01 \text{ m}$

$\alpha_{kaca} = 0.75$

$$\Delta X \text{ 0\% vol LPG} = 5.88 \text{ mg/dm}^3 \text{ g/dm}^3$$

Jam	lo (lux)	lb (lux)	li (lux)	lt (lux)	dt	dlt (lux)	Eix	Eo
0	5000	1170	3788.237	1544.254	0	0	0	0
4	5000	1120	3788.237	1478.26	4	65.99375	263.975	15152.95
8	5000	960	3788.237	1267.08	4	211.18	844.72	15152.95
12	5000	830	3788.237	1095.496	4	171.5838	686.335	15152.95
16	5000	720	3788.237	950.31	4	145.1863	580.745	15152.95
20	5000	610	3788.237	805.1238	4	145.1863	580.745	15152.95
24	5000	470	3788.237	620.3413	4	184.7825	739.13	15152.95
28	5000	390	3788.237	514.7513	4	105.59	422.36	15152.95
32	5000	360	3788.237	475.155	4	39.59625	158.385	15152.95
36	5000	330	3788.237	435.5588	4	39.59625	158.385	15152.95
40	5000	260	3788.237	343.1675	4	92.39125	369.565	15152.95
44	5000	230	3788.237	303.5713	4	39.59625	158.385	15152.95
48	5000	180	3788.237	237.5775	4	65.99375	263.975	15152.95
52	5000	160	3788.237	211.18	4	26.3975	105.59	15152.95
56	5000	150	3788.237	197.9813	4	13.19875	52.795	15152.95
60	5000	150	3788.237	197.9813	4	0	0	15152.95
64	5000	110	3788.237	145.1863	4	52.795	211.18	15152.95
68	5000	70	3788.237	92.39125	4	52.795	211.18	15152.95
72	5000	50	3788.237	65.99375	4	26.3975	105.59	15152.95
76	5000	30	3788.237	39.59625	4	26.3975	105.59	15152.95
80	5000	20	3788.237	26.3975	4	13.19875	52.795	15152.95
84	5000	12	3788.237	15.8385	4	10.559	42.236	15152.95
88	5000	12	3788.237	15.8385	4	0	0	15152.95
92	5000	12	3788.237	15.8385	4	0	0	15152.95
96	5000	12	3788.237	15.8385	4	0	0	15152.95
100	5000	12	3788.237	15.8385	4	0	0	15152.95
104	5000	12	3788.237	15.8385	4	0	0	15152.95
108	5000	12	3788.237	15.8385	4	0	0	15152.95
112	5000	12	3788.237	15.8385	4	0	0	15152.95
116	5000	12	3788.237	15.8385	4	0	0	15152.95
120	5000	12	3788.237	15.8385	4	0	0	15152.95
124	5000	12	3788.237	15.8385	4	0	0	15152.95
128	5000	12	3788.237	15.8385	4	0	0	15152.95
132	5000	11	3788.237	14.51863	4	1.319875	5.2795	15152.95
136	5000	10	3788.237	13.19875	4	1.319875	5.2795	15152.95
140	5000	10	3788.237	13.19875	4	0	0	15152.95
144	5000	10	3788.237	13.19875	4	0	0	15152.95
148	5000	10	3788.237	13.19875	4	0	0	15152.95
152	5000	10	3788.237	13.19875	4	0	0	15152.95
156	5000	9	3788.237	11.87888	4	1.319875	5.2795	15152.95
160	5000	7	3788.237	9.239125	4	2.63975	10.559	15152.95

164	5000	6	3788.237	7.91925	4	1.319875	5.2795	15152.95
168	5000	4	3788.237	5.2795	4	2.63975	10.559	15152.95
172	5000	4	3788.237	5.2795	4	0	0	15152.95
176	5000	3	3788.237	3.959625	4	1.319875	5.2795	15152.95
180	5000	2	3788.237	2.63975	4	1.319875	5.2795	15152.95
184	5000	2	3788.237	2.63975	4	0	0	15152.95
188	5000	2	3788.237	2.63975	4	0	0	15152.95
192	5000	1	3788.237	1.319875	4	1.319875	5.2795	15152.95
196	5000	1	3788.237	1.319875	4	0	0	15152.95
200	5000	1	3788.237	1.319875	4	0	0	15152.95
204	5000	1	3788.237	1.319875	4	0	0	15152.95
208	5000	1	3788.237	1.319875	4	0	0	15152.95
212	5000	0	3788.237	0	4	1.319875	5.2795	15152.95
216	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
220	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
224	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
228	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
232	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
236	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
240	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
244	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
248	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
252	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
256	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
260	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
264	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
268	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
272	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
276	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
280	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
284	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
288	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
292	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
296	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
300	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
304	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95
308	5000	0	3788.237	0	4	0	0	15152.95

6177.015 1166777

$$\Sigma E_{i_{total}} = 6.177.015 \text{ lx-hr} ; \Sigma E_o = 1.166.777 \text{ lx-hr}$$

$$E_o = \Sigma E_o * A * 2.95 \cdot 10^{-3} * 3600 = 4.77E+05 \text{ J/s}$$

$$E = (E_o * A * s * \Delta X \text{ alterasi}) / 1000 = 2.1E+04 \text{ J/g}$$

$$E_i = \Sigma E_{i_{total}} * A * 2.95 \cdot 10^{-3} * 3600 = 25.25E+02 \text{ J/s}$$

$$E_x = (E_i \cdot A \cdot s \cdot \Delta X \text{ alterasi}) / 1000 = 111.48 \text{ J/g}$$

$$\eta_{bp} = E_x / E = 0.52 \%$$



LAMPIRAN C

DATA HASIL PENELITIAN

C.1 Variasi 0 % Volume LPG

μ_x	0	0	0.026450117	0.038482581	0.040927	0.037371793
Jam	0	4	8	12	16	20
OD Terbaca	0.232	0.232	0.285	0.364	0.426	0.473
OD Pengenceran					0.44	0.482
N (sel/cm ³)	1061328	1061328	1311435	1684236	2042880	2241078
X (g/dm ³)	0.00075708	0.00075708	0.000935485	0.001201415	0.001457	0.001598626
pH	5.94	5.93	5.84	5.88	5.98	6.23
I_b (lx)	1170	1120	960	830	720	610
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ_x	0.02861113	0.0314734	0.029545604	0.028386682	0.025628	0.024567104
Jam	24	28	32	36	40	44
OD Terbaca	0.475	0.518	0.556	0.578	0.592	0.632
OD Pengenceran	0.454	0.55	0.586	0.632	0.634	0.67
N (sel/cm ³)	2108946	2561970	2731854	2948928	2958366	3128250
X (g/dm ³)	0.00150437	0.00182753	0.001948711	0.002103556	0.00211	0.002231472
pH	6.25	6.5	6.6	6.65	6.7	6.64
I_b (lx)	470	390	360	330	260	230
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ_x	0.02295525	0.02101824	0.020247066	0.016489872	0.02	0.018324324
Jam	48	52	56	60	64	68
OD Terbaca	0.706	0.651	0.697	0.728	0.739	0.763
OD Pengenceran	0.684	0.678	0.706	0.612	0.816	0.789
N (sel/cm ³)	3194316	3166002	3298134	2854548	3817224	3689811
X (g/dm ³)	0.0022786	0.0022584	0.002352655	0.002036232	0.002723	0.00263205
pH	6.8	6.82	6.85	6.88	6.94	7.02
I_b (lx)	180	160	150	150	110	70
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ_x	0.01542606	0.01582807	0.015906965	0.016454228	0.016117	0.015659594
Jam	72	76	80	84	88	92
OD Terbaca	0.814	0.832	0.851	0.886	0.91	0.942
OD Pengenceran	0.69	0.756	0.81	0.903	0.936	0.957
N (sel/cm ³)	3222630	3534084	3788910	4227777	4383504	4482603
X (g/dm ³)	0.0022988	0.00252097	0.00270274	0.003015797	0.003127	0.003197571

pH	7.16	7.24	7.18	7.21	7.34	7.26
l_b (lx)	50	30	20	12	12	12
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ_x	0.01400651	0.01348096	0.013192871	0.013132659	0.0124	0.012310081
Jam	96	100	104	108	112	116
OD Terbaca	0.977	0.979	0.982	1.116	1.026	1.142
OD Pengenceran	0.87	0.873	0.894	0.936	0.909	0.945
N (sel/cm ³)	4072050	4086207	4185306	4383504	4256091	4425975
X (g/dm ³)	0.00290471	0.00291481	0.002985501	0.003126881	0.003036	0.003157177
pH	7.3	7.32	7.46	7.58	7.48	7.5
l_b (lx)	12	12	12	12	12	12
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ_x	0.01283186	0.01262289	0.012400779	0.013660308	0.012093	0.011917624
Jam	120	124	128	132	136	140
OD Terbaca	1.16	1.119	1.143	1.199	1.225	1.26
OD Pengenceran	1.056	1.083	1.107	1.372	1.172	1.2
N (sel/cm ³)	4949784	5077197	5190453	6440988	5497188	5629320
X (g/dm ³)	0.00353083	0.00362171	0.003702501	0.004594544	0.003921	0.004015558
pH	7.52	7.55	7.32	7.42	7.56	7.62
l_b (lx)	12	12	12	11	10	10
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ_x	0.01165609	0.01131859	0.011086146	0.011816473	0.01095	0.009342479
Jam	144	148	152	156	160	164
OD Terbaca	1.295	1.301	1.307	1.366	1.47	1.166
OD Pengenceran	1.212	1.208	1.22	1.428	1.304	1.048
N (sel/cm ³)	5685948	5667072	5723700	6705252	6120096	4912032
X (g/dm ³)	0.00405595	0.00404249	0.004082882	0.004783052	0.004366	0.003503896
pH	7.65	7.75	7.72	7.78	7.82	7.86
l_b (lx)	10	10	10	9	7	6
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ_x	0.01041052	0.01039767	0.010007198	0.009818668	0.009572	0.009400852
Jam	168	172	176	180	184	188
OD Terbaca	1.206	1.253	1.276	1.314	1.273	1.275
OD Pengenceran	1.3	1.352	1.316	1.324	1.316	1.324
N (sel/cm ³)	6101220	6346608	6176724	6214476	6176724	6214476
X (g/dm ³)	0.00435218	0.00452722	0.004406037	0.004432967	0.004406	0.004432967
pH	7.94	7.92	7.96	7.9	8	8.06

I_b (lx)	4	4	3	2	2	2
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ_x	0.00990003	0.00838264	0.008666888	0.008777585	0.008903	0.010060502
Jam	192	196	200	204	208	212
OD Terbaca	1.263	1.386	1.51	1.631	1.724	1.725
OD Pengenceran	1.512	1.17	1.28	1.355	1.44	1.905
N (sel/cm ³)	7101648	5487750	6006840	6360765	6761880	8956215
X (g/dm ³)	0.00506581	0.00391457	0.004284854	0.004537319	0.004823	0.006388729
pH	8.16	8.21	8.26	8.28	8.31	8.33
I_b (lx)	1	1	1	1	1	0
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ_x	0.00798838	0.00861883	0.008582576	0.008840193	0.008919	0.008739138
Jam	216	220	224	228	232	236
OD Terbaca	1.773	1.789	1.84	1.805	1.833	over
OD Pengenceran	1.27	1.505	1.545	1.695	1.788	1.776
N (sel/cm ³)	5959650	7068615	7257375	7965225	8404092	8347464
X (g/dm ³)	0.00425119	0.00504225	0.005176897	0.005681827	0.005995	0.005954489
pH	8.36	8.26	8.24	8.36	8.41	8.46
I_b (lx)	0	0	3788.237375	11.17530026	0	0
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

C. 2 Variasi 0,3 % Volume LPG

μ_x	0	0.00109936	0.00054968	0.006020606	0.010846	0.0223659
Jam	0	4	8	12	16	20
OD Terbaca	0.234	0.235	0.235	0.251	0.277	0.362
OD Pengenceran					0.277	0.362
N (sel/cm ³)	1070766	1075485	1075485	1150989	1273683	1674798
X (g/dm ³)	0.00076381	0.00076718	0.000767175	0.000821034	0.000909	0.0011947
pH	6.02	6.08	6.1	6.12	6.32	6.3
I_b (lx)	1120	1100	1000	920	860	800
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ_x	0.02594231	0.03394038	0.03577549	0.034754747	0.036877	0.0347948
Jam	24	28	32	36	40	44
OD Terbaca	0.421	0.489	0.533	0.715	0.805	0.84
OD Pengenceran	0.43	0.594	0.72	0.8	0.999	1.056
N (sel/cm ³)	1995690	2769606	3364200	3741720	4680801	4949784
X (g/dm ³)	0.00142358	0.00197564	0.002399782	0.002669078	0.003339	0.0035308
pH	6.34	6.36	6.46	6.42	6.49	6.52
I_b (lx)	700	560	520	480	320	250

y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%
----------------------	----	----	----	----	----	----

μ _x	0.03242468	0.03014378	0.029135013	0.02595523	0.02507	0.024602
Jam	48	52	56	60	64	68
OD Terbaca	0.862	0.873	0.892	1.087	1.129	1.182
OD Pengenceran	1.083	1.095	1.167	1.084	1.136	1.216
N (sel/cm ³)	5077197	5133825	5473593	5081916	5327304	5704824
X (g/dm ³)	0.00362171	0.00366211	0.003904473	0.003625079	0.0038	0.0040694
pH	6.58	6.64	6.68	6.78	6.72	6.76
I _b (lx)	200	150	130	130	130	120
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ _x	0.02421116	0.02143383	0.022392156	0.020715645	0.021006	0.0204046
Jam	72	76	80	84	88	92
OD Terbaca	1.136	1.269	1.274	1.351	1.422	1.431
OD Pengenceran	1.304	1.164	1.368	1.3	1.448	1.49
N (sel/cm ³)	6120096	5459436	6422112	6101220	6799632	6997830
X (g/dm ³)	0.00436564	0.00389437	0.00458108	0.004352178	0.00485	0.0049918
pH	6.81	6.86	6.94	6.96	6.72	6.74
I _b (lx)	72	61	54	43	36	31
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ _x	0.0207478	0.0202258	0.019713322	0.018888172	0.017869	0.017526
Jam	96	100	104	108	112	116
OD Terbaca	1.376	1.41	1.588	1.551	1.587	1.565
OD Pengenceran	1.67	1.722	1.77	1.752	1.686	1.74
N (sel/cm ³)	7847250	8092638	8319150	8234208	7922754	8177580
X (g/dm ³)	0.00559767	0.00577271	0.005934292	0.0058737	0.005652	0.0058333
pH	6.85	6.88	7.04	7.25	7.38	7.34
I _b (lx)	30	22	20	18	14	13
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ _x	0.01539254	0.01458753	0.013533981	0.013333518	0.01235
Jam	120	124	128	132	136
OD Terbaca	1.641	1.587	1.582	1.562	1.446
OD Pengenceran	1.446	1.392	1.29	1.326	1.224
N (sel/cm ³)	6790194	6535368	6054030	6223914	5742576
X (g/dm ³)	0.00484364	0.00466187	0.004318516	0.004439699	0.004096
pH	7.58	7.66	7.84	7.82	7.7
I _b (lx)	10	10	8	6	6
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%

C.3 Variasi 0,5 % Volume LPG

μ_x	0	0.00448633	0.002243165	0.010278993	0.014571	0.0206562
Jam	0	4	8	12	16	20
OD Terbaca	0.228	0.232	0.232	0.257	0.286	0.341
OD Pengenceran					0.286	0.341
N (sel/cm ³)	1042452	1061328	1061328	1179303	1316154	1575699
X (g/dm ³)	0.00074361	0.00075708	0.000757076	0.000841231	0.000939	0.001124
pH	6.12	6.16	6.2	6.4	6.45	6.32
I _b (lx)	1100	1040	1000	980	940	780
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ_x	0.01998901	0.03289512	0.029998246	0.02941352	0.027169	0.0253152
Jam	24	28	32	36	40	44
OD Terbaca	0.364	0.402	0.432	0.521	0.781	0.801
OD Pengenceran	0.364	0.562	0.584	0.644	0.662	0.68
N (sel/cm ³)	1684236	2618598	2722416	3005556	3090498	3175440
X (g/dm ³)	0.00120141	0.00186792	0.001941979	0.002143951	0.002205	0.0022651
pH	6.34	6.38	6.54	6.48	6.5	6.56
I _b (lx)	650	540	480	420	300	210
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ_x	0.02332911	0.02258492	0.021801398	0.020525065	0.017566	0.016726
Jam	48	52	56	60	64	68
OD Terbaca	0.834	0.865	0.88	1.0021	1.104	1.146
OD Pengenceran	0.684	0.722	0.756	0.764	0.687	0.696
N (sel/cm ³)	3194316	3373638	3534084	3571836	3208473	3250944
X (g/dm ³)	0.0022786	0.00240651	0.002520965	0.002547895	0.002289	0.002319
pH	6.64	6.67	6.65	6.72	6.75	6.84
I _b (lx)	170	130	110	90	120	100
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ_x	0.01690089	0.01702937	0.017790874	0.017251288	0.017831	0.0175369
Jam	72	76	80	84	88	92
OD Terbaca	1.122	1.298	1.302	1.338	1.379	1.49
OD Pengenceran	0.753	0.813	0.924	0.948	1.068	1.116
N (sel/cm ³)	3519927	3803067	4326876	4440132	5006412	5232924
X (g/dm ³)	0.00251087	0.00271284	0.003086487	0.003167276	0.003571	0.0037328
pH	6.86	6.95	6.88	6.9	7.2	7.13
I _b (lx)	65	51	49	39	30	28
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ_x	0.01727458	0.01616995	0.016594829	0.016807663	0.016181	0.0153971
Jam	96	100	104	108	112	116
OD Terbaca	1.356	1.4	1.54	1.552	1.597	1.531

OD Pengenceran	1.167	1.12	1.248	1.364	1.36	1.325
N (sel/cm ³)	5473593	5251800	5855832	6403236	6384360	6219195
X (g/dm ³)	0.00390447	0.00374626	0.004177136	0.004567615	0.004554	0.0044363
pH	7.16	7.19	7.2	7.32	7.34	7.46
I _b (lx)	27	19	18	15	12	11
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ _x	0.01597851	0.014879	0.014273048	0.01287052	0.011955
Jam	120	124	128	132	136
OD Terbaca	1.52	1.597	1.593	1.543	1.428
OD Pengenceran	1.51	1.405	1.38	1.215	1.13
N (sel/cm ³)	7092210	6596715	6478740	5700105	5298990
X (g/dm ³)	0.00505908	0.00470563	0.004621474	0.004066051	0.00378
pH	7.4	7.48	7.56	7.6	7.52
I _b (lx)	8	8	6	5	5
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%

C.4 Variasi 1% Volume LPG

μ _x	0	0.0022331	0.00440758	0.006816608	0.009115	0.0095662
Jam	0	4	8	12	16	20
OD Terbaca	0.23	0.232	0.238	0.249	0.265	0.277
OD Pengenceran					0.265	0.277
N (sel/cm ³)	1051890	1061328	1089642	1141551	1217055	1273683
X (g/dm ³)	0.00075034	0.00075708	0.000777274	0.000814302	0.000868	0.0009086
pH	6.18	6.06	6.12	6.18	6.22	6.2
I _b (lx)	1200	1100	800	740	561	502
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ _x	0.01346022	0.01367584	0.01373181	0.013994246	0.012931	0.0122964
Jam	24	28	32	36	40	44
OD Terbaca	0.315	0.334	0.353	0.376	0.381	0.39
OD Pengenceran	0.315	0.334	0.353	0.376	0.381	0.39
N (sel/cm ³)	1453005	1542666	1632327	1740864	1764459	1806930
X (g/dm ³)	0.00103647	0.00110043	0.001164387	0.001241809	0.001259	0.0012889
pH	6.23	6.28	6.38	6.29	6.34	6.39
I _b (lx)	488	540	520	490	440	400
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ _x	0.0115956	0.01004981	0.010659037	0.010514963	0.010799	0.0114295
Jam	48	52	56	60	64	68
OD Terbaca	0.396	0.383	0.41	0.463	0.496	0.492
OD Pengenceran	0.396	0.383	0.412	0.426	0.452	0.492
N (sel/cm ³)	1835244	1773897	1910748	1976814	2099508	2288268
X (g/dm ³)	0.00130913	0.00126537	0.001362992	0.001410119	0.001498	0.0016323

pH	6.42	6.49	6.45	6.52	6.58	6.64
l_b (lx)	430	438	344	298	255	257
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ_x	0.00990753	0.01373123	0.013958451	0.012793868	0.013862	0.0146747
Jam	72	76	80	84	88	92
OD Terbaca	0.533	0.628	0.716	0.848	0.964	1.057
OD Pengenceran	0.462	0.64	0.688	0.66	0.762	0.867
N (sel/cm ³)	2146698	2986680	3213192	3081060	3562398	4057893
X (g/dm ³)	0.0015313	0.00213049	0.002292064	0.00219781	0.002541	0.0028946
pH	6.67	6.74	6.78	6.84	6.85	6.88
l_b (lx)	181	167	150	130	91	72
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ_x	0.01579988	0.0161157	0.016508166	0.015985863	0.015096	0.0150739
Jam	96	100	104	108	112	116
OD Terbaca	1.059	1.107	1.126	1.121	1.178	1.214
OD Pengenceran	1.023	1.124	1.248	1.26	1.216	1.288
N (sel/cm ³)	4794057	5270676	5855832	5912460	5704824	6044592
X (g/dm ³)	0.00341974	0.00375973	0.004177136	0.00421753	0.004069	0.0043118
pH	6.65	6.78	6.84	6.86	6.94	6.88
l_b (lx)	55	45	41	40	36	27
y CO ₂ in	5%	5%	5%	5%	5%	5%

μ_x	0.01419893	0.0127621	0.012217921	0.011005821	0.010713
Jam	120	124	128	132	136
OD Terbaca	1.194	1.058	1.068	1.06	1.052
OD Pengenceran	1.232	1.092	1.072	0.96	0.964
N (sel/cm ³)	5780328	5119668	5025288	4496760	4515636
X (g/dm ³)	0.00412328	0.00365201	0.003584684	0.00320767	0.003221
pH	6.94	7.2	7.26	7.32	7.3
l_b (lx)	29	24	23	18	20

LAMPIRAN D

DOKUMENTASI PENELITIAN

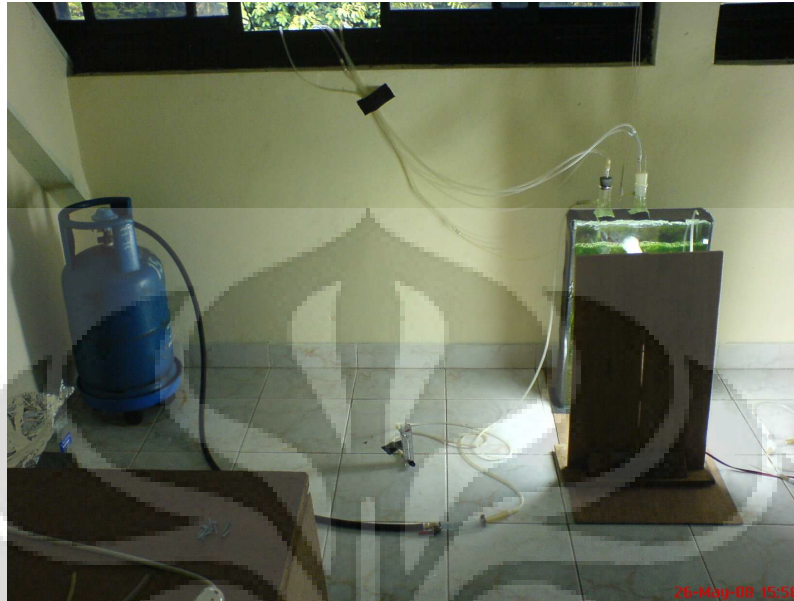
Ruang Pembakaran LPG



Preculture





Rangkaian Alat Uji Ketahanan



LAMPIRAN E

HASIL ANALISIS GC

Hasil Analisis GC LEMIGAS, JAKARTA

LEMIGAS
Kelompok Teknologi Analisis Gas
JALAN CILEDUG RAYA KAV. 109 – CIPULIR – KEBAYORAN LAMA – JAKARTA SELATAN 12230
Telepon 021-7394422, 021-7393958 pes. 1661 / 1660 Fax 021-7246150

HASIL UJI
TEST RESULT

Nomor Seri / Serial Number	: 32 dan 33/G.2/III/2008	Nomor Laporan (LHU) / Report Number	: 42 dan 45/G.2/LHU/III/2008
		Nomor Percontoh / Sample Number	: 519 dan 522/G.2/C/III/2008
		Halaman / Page	: 1 dari/of 2

ANALISA KOMPOSISI LPG

Hasil laporan ini hanya berlaku untuk percontoh yang diuji dan tidak dapat digunakan sebagai iklan

Komposisi	Satuan	Hasil	Metode
Analisa Komposisi Gas	% Vol		ASTM D 2163
↪ Metana		0,0000	
↪ Etana		0,1979	
↪ Propana		29,9319	
↪ Propilen		1,6269	
↪ Iso Butana		27,3150	
↪ N-Butana		16,8057	
↪ 1-Butene		6,2916	
↪ Iso-Butilen		6,4806	
↪ Cis-2-Butene		4,7802	
↪ Trans-2-Butene		0,0295	
↪ Iso Pentana		0,2186	
↪ 1,3 Butadiene		0,0665	
↪ N-Pentana		0,0094	
↪ Neopentana		6,2662	
Densitas Relatif		0,5560	
Gross Heating Value (GHV)	(BTU/FT ³)	3,095	
Net Heating Value (NHV)	(BTU/FT ³)	2,861	

Keterangan:
Kode Sampel : Sebelum Pembakaran



LEMIGAS

Kelompok Teknologi Analisis Gas

JALAN CILEDUG RAYA KAV. 109 – CIPULIR – KEBAYORAN LAMA – JAKARTA SELATAN 12230
Telepon 021-7394422, 021-7393958 pes. 1661 / 1660 Fax 021-7246150



HASIL UJI TEST RESULT

Nomor Seri / Serial Number : 32 dan 33/G.2/III/2008
Nomor Laporan (LHU)/ Report Number : 42 dan 45/G.2/LHU/III/2008
Nomor Percontoh / Sample Number : 519 dan 522/G.2/C/III/2008
Halaman : 2 dari/of 2
Page

ANALISA KOMPOSISI LPG


*Hasil laporan ini hanya berlaku untuk percontoh
Yang diuji dan tidak dapat digunakan sebagai iklan*

Komposisi	Satuan	Hasil	Metode
Analisa Komposisi Gas	% Vol		GPA 2261
↔ Karbondioksida		5,1351	
↔ Oksigen		14,3313	
↔ Nitrogen		80,5336	

Keterangan:

Kode sampel : Setelah Pembakaran

Manager Teknik


Dra. Yayun Andriani, M.Si
NIP. 100011037

Laporan ini hanya berdasarkan percontoh yang diuji, tidak untuk diiklankan dan tidak boleh digandakan.