

**PENINGKATAN FIKSASI CO₂ DENGAN
PENCAHAYAAN ALTERASI OLEH *Chlorella vulgaris*
BUTENZORG MENGGUNAKAN GAS MODEL
HASIL PEMBAKARAN LPG (*LIQUIFIED
PETROLEUM GAS*)**

SKRIPSI

OLEH :

**ARIF KHOZIN SETIAWAN
04 04 06 00 98**



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

**PENINGKATAN FIKSASI CO₂ DENGAN
PENCAHAYAAN ALTERASI OLEH *Chlorella vulgaris*
BUTENZORG MENGGUNAKAN GAS MODEL
HASIL PEMBAKARAN LPG (*LIQUIFIED
PETROLEUM GAS*)**

SKRIPSI

OLEH :

ARIF KHOZIN SETIAWAN

04 04 06 00 98



**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 :

**PENINGKATAN FIKSASI CO₂ DENGAN PENCAHAYAAN ALTERASI
OLEH *CHLORELLA vulgaris* BUITENZORG MENGGUNAKAN GAS
MODEL HASIL PEMBAKARAN LPG (*LIQUIFIED 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, Juni 2008

Arif Khozin Setiawan

NPM. 0404060098

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul:

**PENINGKATAN FIKSASI CO₂ DENGAN PENCAHAYAAN ALTERASI
OLEH *CHLORELLA vulgaris* BUITENZORG MENGGUNAKAN GAS
MODEL HASIL PEMBAKARAN LPG (*LIQUIFIED 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 9 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, Juni 2008
Dosen Pembimbing

Ir. Dianursanti, MT.
NIP. 132 165 710

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

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah swt, karena atas berkat dan kasih karunia-Nya maka dapat diselesaikan penulisan makalah skripsi ini tepat pada waktunya. Makalah dengan judul “Peningkatan Fiksasi CO₂ dengan Pencahayaan Alterasi oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg Menggunakan Gas Model Hasil Pembakaran LPG (*Liquidified Petroleum Gas*)” ini dibuat sebagai syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan mata kuliah skripsi di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

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

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

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

Depok, Juni 2008

Arif Khozin Setiawan

Arif Khozin Setiawan
NPM 0404060098
Departemen Teknik Kimia

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

PENINGKATAN FIKSASI CO₂ DENGAN PENCAHAYAAN ALTERASI OLEH *CHLORELLA VULGARIS* BUITENZORG MENGGUNAKAN GAS MODEL HASIL PEMBAKARAN LPG (*LIQUIFIED PETROLEUM GAS*)

ABSTRAK

Chlorella vulgaris Buitenzorg adalah organisme yang sangat potensial untuk dikembangkan sebagai produsen biomassa. Mikroalga ini mengandung banyak nutrisi yang dapat berperan sebagai antioksidan dan antivirus bagi tubuh. Selain itu kandungan klorofilnya yang tinggi menjadikan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg sebagai organisme pemfiksasi CO₂ yang efektif. Salah satu cara yang banyak dilakukan adalah melakukan alterasi intensitas cahaya. Penelitian sebelumnya menunjukkan metode ini dapat meningkatkan produksi biomassa *Chlorella vulgaris* sampai 1,61 kali dan kemampuan fiksasi CO₂ meningkat 3 kali dibandingkan pemberian cahaya dengan intensitas yang sama.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari gas buang terhadap ketahanan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg serta mengetahui kemampuan fiksasi karbondioksida oleh mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Penelitian ini menggunakan gas buang dari hasil pembakaran LPG yang komposisinya sudah dimodelkan dengan komposisi gas masukan 0.3 % LPG, 5 % CO₂ dan 94.7 % udara. *Chlorella vulgaris* Buitenzorg akan dikultivasi dalam medium beneck sebagai sumber nutrisi pada temperatur 29⁰C, tekanan operasi 1 atm dengan sumber cahaya lampu Phillip Halogen 20W/12V/50Hz, volume reaktor 18 dm³, dan rentang intensitas cahaya yang dipakai adalah 4.5-35 klux.

Perlakuan alterasi pencahayaan meningkatkan produksi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg sampai 1.5 kali, sedangkan kemampuan fiksasi CO₂ meningkat sebesar 2 kali dibandingkan dengan pencahayaan kontinu. Pencahayaan alterasi juga menghasilkan ketahanan yang lebih baik terhadap LPG daripada pencahayaan kontinu, hal ini dapat dilihat dari ketahanan sel yang lebih baik, yaitu selama 176 jam, sedangkan pencahayaan kontinu menghasilkan ketahanan sebesar 128 jam sebelum memasuki fase kematiannya.

Kata kunci : fiksasi CO₂, LPG, *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

ABSTRACT

Arif Khozin Setiawan
NPM 04 04 06 00 98
Chemical Departemen Engineering

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

ALTERATING ILUMINATION METHOD TO ENHANCE CO₂ FIXATION BY *CHLORELLA VULGARIS* BUITENZORG USING LPG EXHAUST MODELLING GAS

ABSTRACT

Chlorella vulgaris Buitenzorg is a potential organism to be generated as biomass producer. This microalgae species contain some nutrition that can be used as anti-oxidant and anti-virus for human's body. Besides high amount of chlorophyll compositions make this microalgae as effective organism in CO₂ fixation. Previous research using the same method showed that this method can be used to enhance biomass *Chlorella sp.* production until 1.61 time and by using this method CO₂ fixation's ability become greater 3 times than lightening with same intensity.

The main purpose of this research is to investigate effect of exhaust gas to the *Chlorella sp.* resistant and to evaluate CO₂ fixation by this microalgae. This research used exhaust gas from LPG combustion that its compositions have been modelized. Inlet gas composition is 0.3 % LPG, 5 % CO₂, and 94.7 % air. *Chlorella vulgaris* Buitenzorg was cultivated in *Beneck* Medium as source of nutrition in 29⁰C, 1 atm, light lamp source used is Phillip 20 W/12 V/ 50 Hz. Reactor volume is 18 dm³ and range of light intensity is 4.5-35 klux.

Alterating lightening treatment could enlarge *Chlorella sp.* biomass production until 1.5 times. Besides fixation CO₂ ability could escalate until 2 times that constant lighting. Alterating lightment make microalgae resistant to LPG become better than constant lighting. This conclusion known from longer cell life time which about 176 hours. Besides, continues lightening resulted shorter life time which is about 128 hours before death phase.

Keywords : CO₂ fixation, LPG, *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR SINGKATAN/SIMBOL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penulisan	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pemanasan Global	5
2.2. Gas Buang Hasil Pembakaran LPG	6
2.3. Mikroalga Chlorella sp.	7
2.3.1. Taksonomi Chlorella	9
2.3.2. Morfologi Chlorella	9
2.3.3. Fase Pertumbuhan Chlorella sp.	11
2.3.4. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Chlorella vulgaris.	13
2.4. Proses Fiksasi Karbondioksida dalam Sel Chlorella sp.	17
2.5. Fotosintesis	18
2.5. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Fotosintesis	20
2.6. Fotobioreaktor	21
2.7. Alterasi Pencahayaan untuk Peningkatan Fiksasi Karbondioksida oleh Chlorella vulgaris Buitenzorg	23
BAB III METODE PENELITIAN	26
III.1. Diagram Alir Penelitian	26
III.2. Alat dan Bahan Penelitian	27
III.3 Variabel Penelitian	29
III.4. Prosedur Penelitian	29
III.4.1. Analisis Gas Hasil Pembakaran LPG	29
III.4.2. Rangkaian Peralatan	29
III.4.3. Sterilisasi Peralatan	30
III.4.4. Pembuatan Medium Beneck	31
III.4.5. Pemiakan Kultur Murni	32
III.4.6. Penentuan Jumlah Inokulum Chlorella sp.	32
III.4.7. Pembuatan Kurva Kalibrasi	34

III.4.8. Pelaksanaan Penelitian dalam Fotobioreaktor.....	35
III.4.9. Pengambilan Data.....	36
III.5. Metode Perhitungan Hasil Data Observasi	36
III.5.1. Perhitungan CTR (Wijanarko, A., 2003)	36
III.5.2. Perhitungan $[\text{HCO}_3^-]$ (Wijanarko, A., 2004a)	37
III.5.3. Perhitungan X.....	38
III.5.4. Pengolahan Data I	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1. Pembahasan Umum.....	40
4.2. Penentuan Sistem Pencahayaan yang akan dipakai selama masa kultivasi.....	43
4.3. Hasil Pengamatan selama Alterasi Pencahayaan	45
4.4. Pengaruh Alterasi Pencahayaan terhadap Fiksasi Karbondioksida oleh <i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg	47
4.5. Pengaruh Alterasi Pencahayaan terhadap Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg	48
4.6. Korelasi antara q_{CO_2} dengan X.....	49
4.7. Pengaruh Alterasi Pencahayaan terhadap Nilai pH.....	49
4.8. Perhitungan E_x dan η_{bp}	51
BAB V.....	54
KESIMPULAN	54
DAFTAR PUSTAKA.....	55
LAMPIRAN	57
LAMPIRAN A	57
LAMPIRAN B	61
LAMPIRAN C	62
LAMPIRAN D	64
LAMPIRAN E.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Koloni <i>Chlorella vulgaris</i> (http://chlorella.com , 20 Mei 2007).....	9
Gambar 2. 2 Struktur Sel <i>Chlorella vulgaris</i> .(http://www.tiberose.com , 24 mei 2007).....	10
Gambar 2. 3 Kurva Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i> . (http://www.nhm.ac.uk , 20 Mei 2007)	12
Gambar 2. 4 Fotobioreaktor kolom gelembung	23
Gambar 2. 5 Pengaruh Alterasi Intensitas Cahaya Terhadap Nilai Δy_{CO_2} dan CTR (Heidi, 2005)	25
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	26
Gambar 3. 2 Skema Alat Penelitian	30
Gambar 4. 1 Grafik q_{CO_2} terhadap waktu selama masa kultivasi.....	44
Gambar 4. 2 Hasil Pengamatan (A. Alterasi pencahayaan dengan kurva basis fiksasi karbondioksida, dan B. Pencahayaan kontinyu dengan kurva basis pertumbuhan).....	46
Gambar 4. 3 Fiksasi karbondioksida selama penelitian (A. Alterasi pencahayaan dengan menggunakan kurva basis fiksasi karbondioksida, dan B. Pencahayaan kontinyu dengan menggunakan kurva basis pertumbuhan).....	47
Gambar 4. 4 Produksi biomassa (X) selama masa alterasi pencahayaan	48
Gambar 4. 5 Korelasi q_{CO_2} dan X selama masa alterasi pencahayaan	49
Gambar 4. 6 Nilai pH dan $[HCO_3^-]$ selama masa alterasi pencahayaan.....	51
Gambar 4. 7 Grafik Plot I_t dan I_i selama masa alterasi.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Komposisi Nutrisi Medium <i>Chlorella vulgaris</i>	15
Tabel 3. 1 Komposisi <i>Beneck</i>	31
Tabel 4. 1 Perbandingan penggunaan energi dan efisiensi reaktor	52



DAFTAR SINGKATAN/SIMBOL

α_{kaca}	= Efisiensi penyerapan cahaya oleh permukaan kaca bioreaktor
A	= Luas permukaan plat iluminasi (m^2)
C_S	= Konsentrasi substrat (mol.dm^{-3})
CTR	= <i>Carbon Transfer Rate</i> ($\text{g.dm}^{-3}.\text{h}^{-1}$)
E	= Energi cahaya yang diterima oleh kultur medium (kJ.g^{-1})
E_X	= Energi cahaya yang dimanfaatkan alga dalam pertumbuhannya (kJ.g^{-1})
I	= Intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh kultur medium dalam bioreaktor (lux)
I_b	= Intensitas cahaya yang keluar dari bioreaktor (lux)
I_i	= Intensitas cahaya yang diterima oleh kultur medium dalam bioreaktor (lux)
I_o	= Intensitas cahaya yang diterima oleh kultur medium dalam bioreaktor (lux)
K	= Konstanta
K_I	= Konstanta inhibisi pertumbuhan
K_S	= Konstanta aktivasi pertumbuhan
N	= Nilai kerapatan sel (sel.dm^{-3})
η	= Efisiensi konversi energi cahaya
P	= Tekanan operasional (atm)
q_{CO_2}	= Laju transfer CO_2 spesifik (h^{-1})
R	= Konstanta Tetapan Gas ($0.082 \text{ atm.dm}^3.\text{mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
S	= Jarak yang ditempuh cahaya dalam kultur medium (m)
T	= Temperatur Operasional (K)
t	= Waktu (h)
U_G	= Kecepatan superficial gas (m/h)
μ	= Laju pertumbuhan sel (h^{-1})
V_{med}	= Volume medium (dm^3)
X	= Massa kering sel (g/dm^3)
γ_{CO_2}	= Fraksi gas CO_2



BAB I

PENDAHULUAN

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

1.1 Latar Belakang

Pemanasan global merupakan salah satu masalah yang sedang dihadapi oleh dunia saat ini. Masalah ini disebabkan oleh adanya era revolusi industri yang telah menggiring manusia dalam penggunaan bahan bakar fosil yang menghasilkan emisi gas CO₂ yang berlimpah. Hal ini menyebabkan peningkatan kadar zat asam arang di atmosfer meningkat secara signifikan. Seperti kita ketahui bahwa gas CO₂ pada atmosfer menyaring sejumlah energi yang dipancarkan dan menahan panas seperti rumah kaca. Tanpa efek rumah kaca ini maka suhu bumi akan lebih rendah dari yang ada sekarang, namun permasalahan pemanasan global ini muncul karena adanya peningkatan konsentrasi gas kaca secara terus menerus. Dari jenis-jenis gas rumah kaca, CO₂ adalah gas yang mempunyai kontribusi paling besar bagi kenaikan suhu bumi, yaitu sebesar 85% dari total persentase gas rumah kaca. Berdasarkan pengamatan para ahli lingkungan di Amerika Serikat, permukaan bumi telah mengalami peningkatan suhu secara signifikan dalam satu abad terakhir.

Terdapat berbagai macam bahan bakar fosil yang menjadi produk dari industri migas, akan tetapi bahan bakar fosil yang sedang ramai digalakan saat ini oleh Pemerintah Republik Indonesia adalah LPG. Bahan bakar ini adalah salah satu produk yang menghasilkan emisi gas CO₂ sebagai emisi hasil pembakarannya. Dengan adanya program konversi penggunaan bahan bakar cair, minyak tanah, ke bahan bakar gas, yaitu menjadi LPG membuat bahan bakar ini sebagai kontributor utama dalam peningkatan kadar gas CO₂ di atmosfer. Penggunaan LPG yang semakin meningkat, baik di industri maupun rumah tangga berbanding lurus dengan emisi gas CO₂ yang dilepas ke atmosfer. Oleh karena itu



hal ini harus dibarengi dengan upaya untuk mereduksi kadar CO₂ di atmosfer, terutama yang dihasilkan dari pembakaran LPG.

Upaya mereduksi kandungan CO₂ di atmosfer, merupakan hal yang paling utama dalam mengatasi masalah pemanasan global. Berbagai kegiatan riset dan rekayasa dilakukan untuk mengatasi pemanasan global tersebut, salah satu diantaranya adalah dengan memanfaatkan *Chlorella* untuk memfiksasi CO₂ dalam fotobioreaktor.

Chlorella vulgaris merupakan jenis mikroalga hijau bersel tunggal yang mempunyai kemampuan fotosintesis yang cukup tinggi, hal ini sangat potensial untuk mengkonversi karbondioksida sehingga dapat mengurangi pemanasan global. Dalam proses biofiksasi ini sejumlah konsentrasi CO₂ ditangkap dalam suatu larutan media yang berisi *Chlorella* dan melalui proses fotosintesis diubah menjadi senyawa karbon atau biomassa. Dengan adanya proses fotosintesis oleh mikroalga ini dapat mengurangi konsentrasi karbondioksida dan sekaligus menyediakan energi yang diperlukan untuk kelangsungan semua kehidupan di muka bumi. Selain itu mikroalga ini mempunyai beberapa keistimewaan yang membuat mikroalga ini banyak diteliti dan diolah lebih lanjut. Beberapa keistimewaan yang telah diketahui yaitu dari segi kesehatan, *Chlorella sp.* mengandung gizi, vitamin, asam amino, serta asam lemak yang cukup tinggi. Nilai gizi dari *Chlorella sp.* tinggi karena kandungan klorofil, dinding sel, betakaroten, protein diatas 58% dan CGF (*Chlorella Growth Factor*) (Surawira,2005). *Chlorella sp.* merupakan mikroalga yang koloninya berwarna hijau. Warna hijau ini disebabkan karena mikroalga ini banyak mengandung klorofil (28,9 g/kg berat biomassa).

Penelitian mengenai fiksasi CO₂ oleh mikroalga *Chlorella* dengan menggunakan CO₂ murni dalam skala lab telah banyak dilakukan, diantaranya adalah penelitian mengenai pengaruh alterasi intensitas cahaya terhadap laju transfer karbon pada proses fiksasi CO₂ yang menyimpulkan bahwa intensitas cahaya yang dibutuhkan untuk mencapai laju transfer karbon (CTR) maksimum ($I_{CTR_{max,opt}}$) akan semakin meningkat sampai batas maksimumnya seiring dengan naiknya jumlah sel (N)/biomassa (X) *Chlorella vulgaris* Buitenzorg (Heidi, 2005). Selain penelitian di atas terdapat juga penelitian mengenai upaya



peningkatan fiksasi CO_2 dengan dengan alterasi pencahayaan, yang menyimpulkan bahwa semakin tinggi jumlah sel (N)/biomassa (X) *Chlorella vulgaris* Buitenzorg maka intensitas cahaya yang dibutuhkan untuk mencapai fiksasi karbondioksida paling maksimum ($I_{q\text{CO}_2 \text{ max, opt}}$) juga akan semakin tinggi sampai pada titik maksimumnya (Widiastuti, 2005).

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana cara untuk meningkatkan ketahanan *Chlorella sp.* terhadap pengaruh gas hasil pembakaran LPG dengan pencahayaan alterasi ?

1.3. Tujuan Penulisan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengkaji pengaruh gas hasil pembakaran LPG terhadap ketahanan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.
2. Mengkaji pengaruh alterasi intensitas cahaya terhadap peningkatan nilai q_{CO_2} dalam proses fiksasi gas CO_2 oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bioproses Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia.
2. Mikroalga yang digunakan adalah *Chlorella vulgaris* yang berasal dari koleksi kultur Sub Balai Penelitian Air Tawar Depok, Dinas Kelautan dan Perikanan, lalu dikultivasi lagi dengan interval jumlah inokulum $1,000,000 \text{ sel/cm}^3$ - $24,000,000 \text{ sel/cm}^3$.
3. Jenis medium kultur yang digunakan adalah medium Beneck.
4. Sistem reaktor yang digunakan adalah fotobioreaktor berbentuk aquarium dengan volume 18 dm^3 yang dialiri oleh udara, gas CO_2 dan LPG sebagai *carbon source* dari hasil pembakaran gas LPG yang sudah dimodelkan, dengan kecepatan *superficial* (U_G) 15.7 m/h .



5. Pencahayaan dilakukan dengan alterasi dan kontinyu, menggunakan lampu Phillip Halogen 20 W/12 V/50 HZ dengan interval intensitas cahaya antara 3,500 lux-40,000 lux.
6. Perhitungan sel (N) dan berat kering (X) dilakukan dengan menggunakan metode spektroskopi cahaya tampak pada $\lambda = 600 \text{ nm}$ (OD_{600}).
7. Suhu operasional yang digunakan adalah suhu ruang sekitar 29°C dan tekanan 1 atm.
8. Produksi biomassa pada penelitian ini baru terbatas pada peningkatan jumlah sel kering yang diperoleh.

1.5. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan makalah seminar ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan teori umum tentang mikroalga hijau *Chlorella sp.*, proses fotosintesis, faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan produksi biomassa mikroalga *Chlorella sp.* pada medium terbatas, dan fotobioreaktor.

BAB III METODE PENELITIAN

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



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan pustaka yang menjadi referensi penelitian serta sebagai dasar acuan pembahasan dari hasil penelitian. Beberapa tinjauan pustaka yang akan diuraikan pada bab ini antara lain yaitu mengenai pemanasan global, proses fotosintesis secara umum ataupun oleh mikroalga, biofiksasi secara umum, mikroalga secara umum, alterasi pencahayaan, pencahayaan kontinyu dan fotobioreaktor.

2.1. 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>, 20 Mei 2007). 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, karbon dioksida merupakan gas yang mempunyai kontribusi terbesar terhadap pemanasan global yaitu 82% dan CH₄ sebesar 15%. Konsentrasi karbon dioksida 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.

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

2.2. Gas Buang Hasil Pembakaran LPG

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 CO_2 , H_2 , CO , O_2 , N_2 , SO_x , H_2S , 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.



2.3. Mikroalga *Chlorella* sp.

Alga atau ganggang diklasifikasikan ke dalam tumbuhan, akan tetapi belum memiliki akar, batang dan daun sejati. Tumbuhan jenis ini dapat bertahan pada berbagai tipe habitat, dari kutub Artik sampai padang pasir yang kering. Ukuran tubuhnya beragam dari yang berukuran mikroskopik sampai yang mempunyai panjang beberapa meter. Dari ukuran selnya ada yang bersel satu (*uniseluler*) sampai ada pula yang terdiri dari banyak sel (*multiseluler*).

Seperti yang dijelaskan di atas bahwa alga belum memiliki akar, batang dan daun sejati, akan tetapi tumbuhan ini termasuk jenis tumbuhan autotrof karena sudah mempunyai klorofil sehingga mampu melakukan fotosintesis. Alga yang bersel satu umumnya hidup sebagai fitoplankton sedang yang bersel banyak dapat hidup sebagai nekton, bentos atau perifiton.

Chlorella sp. merupakan mikroalga hijau atau *Chlorophyta*. *Chlorella* berasal dari bahasa Yunani yaitu 'chloros' yang berarti hijau, dan 'ella' yang berarti kecil. Jadi *Chlorella* adalah suatu sel yang sangat kecil dan berwarna hijau. *Chlorella* sp telah ada sejak 2500 juta tahun yang lalu. Namun baru ditemukan oleh seorang sarjana mikrobiologi kebangsaan Belanda bernama Beyerink. Jenis ganggang ini di alam tidak kurang dari 25000. berdasarkan kualitasnya, yang paling baik adalah *Chlorella pyrenoidosa*. *Chlorella* sp. merupakan tumbuhan bersel tunggal pertama yang memiliki inti sejati (Lee dan Rosenbaum, 1987), yang sifat genetiknya tidak mengalami mutasi hingga sekarang (schopf, 1970). Ini dibuktikan dengan adanya penemuan fosil *Chlorella* sp. dari jaman *precambrian* (<http://www.tuberose.com>, 20 Mei 2007).

Tahun 1960, ilmuwan Jepang menemukan bahwa *Chlorella* sp. mengandung banyak vitamin, mineral, dan nutrien yang penting bagi tubuh. Sejak saat itu pengembangan *Chlorella* berpindah haluan kearah suplemen kesehatan. Apalagi ketika Dr. Fujimake dari *People's Scientific Research* di Tokyo berhasil melakukan pemisahan suatu substansi yang larut dalam air melalui *Chlorella* sp. secara elektroforesis yang selanjutnya dikenal dengan nama CGF (*Chlorella Growth Factor*). CGF dapat menunjang pertumbuhan dan meningkatkan kekebalan tubuh alami (<http://www.mercola.com>, 24 Mei 2007).



Chlorella sp merupakan mikroalga hijau yang sangat spesial karena kandungan klorofilnya yang paling tinggi dibandingkan seluruh mikroalga hijau bahkan seluruh tanaman tingkat tinggi (<http://www.tuberoze.com>, 20 Mei 2007). Sel *Chlorella* mempunyai dinding sel kuat dan getah usus manusia tidak mampu mencernakannya. Dinding *Chlorella* yang sangat tebal (14 mm) terdiri dari 27% protein; 9,2% lemak; 15,4% selulosa; 31% hemiselulosa; 3,3% glukosamin; dan 5,2% abu yang banyak mengandung zat besi serta kapur. Struktur dinding sel *Chlorella* mirip dengan dinding sel bakteri dan jamur. Dari berbagai penelitian tentang dinding sel, bahwa dinding sel yang utuh juga diperlukan sebagai salah satu perangsang sistem kekebalan tubuh, menyerap kolesterol, menyerap racun, dan merangsang limfosit dinding usus. Tetapi apabila *chlorella* dimaksudkan sebagai bahan pangan alternatif, maka seluruh dinding sel harus dipecahkan dan dipisahkan, apabila *Chlorella* dimaksudkan sebagai makanan kesehatan, maka perlu tersedia sebagian dinding sel dalam keadaan utuh.

Menurut data yang ada di lembaga penelitian alga yang berada di Kyoto (*Unus Suriawiria, 1998*) sampai saat ini sudah dikenal berbagai jenis *Chlorella sp.* antara lain yaitu:

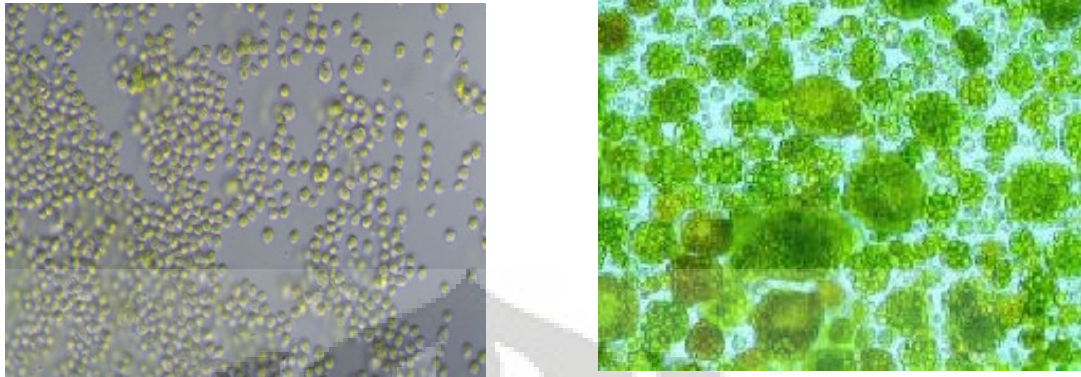
1. Golongan yang hidup bebas, diantaranya :

- a. *Chlorella vulgaris*
- b. *Chlorella conglomerata*
- c. *Chlorella simplex*
- d. *Chlorella pyrenoidosa*
- e. *Chlorella ellipsoides*
- f. *Chlorella miniata*
- g. *Chlorella prothecoides*

2. Golongan yang hidup endofitis :

- a. *Chlorella parasitica*
- b. *Chlorella conductrix*

Dari beberapa species *Chlorella* , yang paling sering dikembangkan saat ini adalah *Chlorella vulgaris* dan *Chlorella pyrenoidosa*.



Gambar 2. 1 Koloni *Chlorella vulgaris* (<http://chlorella.com>, 20 Mei 2007)

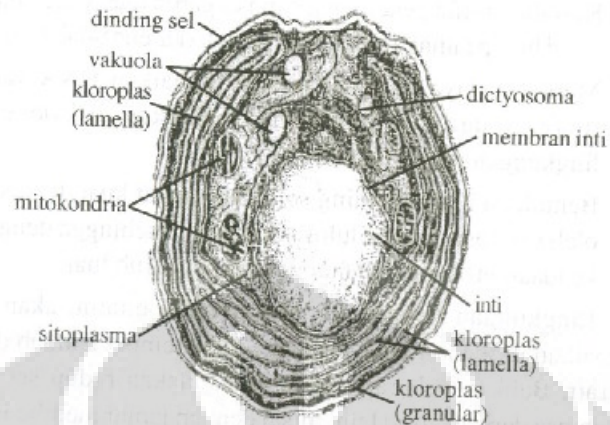
2.3.1. Taksonomi *Chlorella*

Berdasarkan klasifikasinya, *Chlorella* sp. Diklasifikasikan sebagai berikut (Sherma, 1987):

- Divisio : Chlorophyta
- Class : Chlorophyceae
- Ordo : Chlorococcales
- Familia : Chlorellaceae
- Genus : *Chlorella*
- Species : *Chlorella* sp

2.3.2. Morfologi *Chlorella*

Chlorella memiliki ukuran sel antara 3-15 μ dan hidup pada air tawar ataupun air laut secara bebas ataupun berkelompok. Struktur sel dari *Chlorella vulgaris* dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2. 2 Struktur Sel *Chlorella vulgaris*. (<http://www.tiberose.com>, 24 mei 2007)

Bentuk sel *Chlorella* adalah bulat dan lonjong, tidak bergerak, dan berdinding sel tebal. Secara umum bagian-bagian dari sel *Chlorella vulgaris* akan dijelaskan sebagai berikut:

2.3.2.1. Nukleus

Inti Sel (*nukleus*) merupakan suatu struktur dengan ukuran yang relatif besar yang berbentuk bulat dan dikelilingi oleh sitoplasma. Pada umumnya di dalam sebuah sel hanya ada satu nukleus, namun ada beberapa jenis sel yang memiliki dua atau lebih *nukleus*. 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.

Nukleus terutama terdiri dari *nukleoprotein* yaitu kombinasi protein dan asam nukleat. Zat ini banyak mengandung enzim. 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.

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.

2.3.2.2. Kloroplast



Kloroplast umumnya berbentuk seperti cangkir atau lonceng yang letaknya di tepi sel. *Kloroplast 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 yang akan digunakan untuk fotosintesis.

2.3.2.3. Mitokondria

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

Mitokondria berfungsi sebagai pusat pembangkit tenaga sel dengan menghasilkan ATP sebagai sumber energi. Selain itu mitokondria berperan penting dalam proses respirasi sel dan tempat pemecahan molekul protein dan lemak kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana yang selanjutnya digunakan sebagai sumber energi ([http: www.tuberose.com](http://www.tuberose.com), 26 Mei 2007).

2.3.2.4. Dinding Sel

Dinding sel tersusun dari *sellulosa*, *hemisellulosa*, 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.

2.3.2.5. Vakuola

Vakuola merupakan tempat pembuangan (*ekskresi*) dari zat-zat yang tidak diperlukan lagi oleh sel. Zat-zat ini akan tertimbun di dalam vakuola sehingga ukuran dari vakuola pada sel semakin lama akan semakin besar.

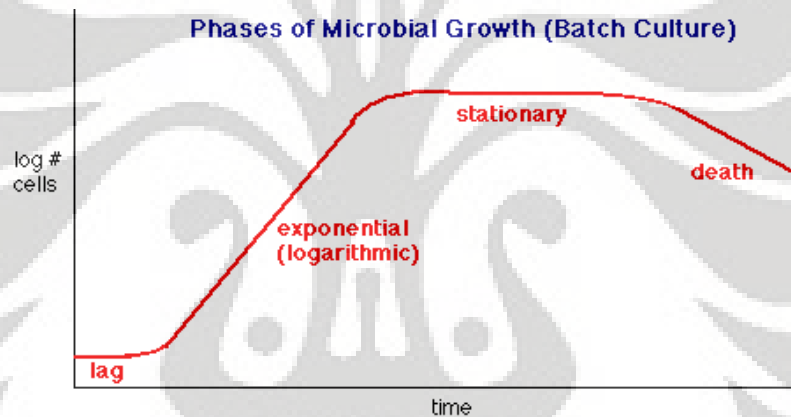
2.3.3. Fase Pertumbuhan *Chlorella* sp.

Chlorella berkembang biak secara aseksual dengan cara membelah diri dan membentuk *autospora*. Masing-masing sel yang sudah masak kemudian akan membelah dan menghasilkan 2,4,8, dan 16 *autospora*, akan tetapi kondisi 16 *autospora* jarang didapatkan. *Autospora* merupakan *spora non flagella* yang mempunyai bentuk seperti sel induknya, akan tetapi mempunyai ukuran tubuh lebih kecil. Selanjutnya *autospora* yang telah dihasilkan tadi dibebaskan dari sel

induk melalui mekanisme penghancuran /larutnya dinding sel dewasa dan berkembang hingga mencapai ukuran sel induknya.

Waktu regenerasi dari *Chlorella* sangat cepat, oleh karena itu dalam waktu yang relatif singkat perbanyakan sel akan terjadi secara cepat, terutama jika tersedianya cahaya sebagai sumber energi, walaupun dalam jumlah minimal. Pada umumnya perbanyakan sel *Chlorella* terjadi dalam kurun waktu 4-14 jam, dan tergantung lingkungan yang mendukungnya.

Pertumbuhan sel dari *Chlorella vulgaris* terdiri dari empat fasa yaitu fasa lag, fasa eksponensial (logaritmik), fasa stasioner, dan fasa kematian. Keempat fasa tersebut dapat ditunjukkan dengan kurva jumlah sel vs waktu seperti pada Gambar II.3.



Gambar 2. 3 Kurva Pertumbuhan *Chlorella vulgaris*. (<http://www.nhm.ac.uk>, 20 Mei 2007)

Apabila sejumlah kecil alga atau bakteri diinokulasikan dalam medium kultur dengan volume tertentu, dan jumlah bakteri dihitung sebagai fungsi waktu, maka pola pertumbuhan berdasarkan jumlah sel dapat dikelompokkan menjadi empat fasa, yaitu:

1. Fase Tunda (*lag phase*).

Fasa tunda (*lag phase*) merupakan fasa yang terjadi setelah pemberian inokulum ke dalam media kultur. Pada fasa 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 fasa ini diperlukan sintesis enzim yang baru sehingga hampir tidak terdapat laju pertumbuhan. Sampai dengan enzim baru tersebut cukup maka mikroorganisme tidak akan berkembang biak. Fasa ini dapat dikurangi atau dihilangkan dengan menggunakan *Chlorella vulgaris* yang tidak sedang berada pada fasa stasioner.

2. Fase pertumbuhan logaritmik (*log phase*).

Pada fasa ini sel membelah pada laju yang merupakan waktu regenerasi. Dalam fasa ini alga atau bakteri mampu memproses makanannya. Bahan sel baru terbentuk dengan laju yang konstan, tetapi bahan-bahan baru ini bersifat katalitik dan massa bertambah secara eksponensial. Pada fasa ini terjadi tingkat pertumbuhan sel yang optimum dan sel berada pada tingkat yang stabil. Pada fasa ini waktu dari jumlah organisme untuk mencapai dua kali lipatnya bervariasi antara 20 menit hingga beberapa hari.

3. Fase Stasioner.

Ketika fasa ini berlangsung, populasi dari *Chlorella* tidak mengalami peningkatan lagi. Hal ini terjadi karena sel mulai kehabisan substrat dan nutrisi atau menumpuknya hasil metabolisme yang mungkin beracun sehingga mengakibatkan pertumbuhan berhenti sama sekali. Akan tetapi dalam kebanyakan kasus pergantian sel terjadi dalam sel stasioner, yaitu adanya kehilangan sel yang lambat karena kematian yang diimbangi oleh pembentukan sel-sel yang baru melalui pertumbuhan dan pembelahan.

4. Fase kematian (*Death phase*).

Pada saat fasa ini berlangsung, jumlah sel yang mati per satuan waktu secara perlahan-lahan bertambah dan akhirnya kecepatan mati dari sel-sel menjadi konstan. Pada fasa ini terjadi penumpukan dari hasil metabolisme yang beracun, kekurangan oksigen, dan hilangnya kemampuan organisme untuk menawarkan racun. Kecepatan kematian akan terjadi secara eksponensial.

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

Chlorella membutuhkan cahaya, CO₂, H₂O, nutrisi dan elemen-elemen yang lain. Berikut akan diuraikan beberapa faktor yang berhubungan dengan hal-



hal tersebut yang Sangay mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan mikroalga hijau *Chlorella* pada médium terbatas.

2.3.4.1. Jenis Médium

Médium pembiakan memegang peranan yang sangat penting dalam pertumbuhan dan perkembangan *Chlorella*. 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.

Terdapat berbagai jenis medium yang dapat digunakan sebagai media hidup mikroalga hijau *Chlorella*, seperti, Beneck, BG-11, MN Medium, ASN III. N-8 Medium, dan lain sebagainya. Semua jenis medium tersebut memiliki kandungan unsur hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroalga hijau *Chlorella*, seperti N, P, K, S, Ca dan mineral lainnya. Kebutuhan unsur hara bagi kehidupan alga secara garis besar terbagi dua, yaitu unsur hara makro dan unsur hara mikro. Unsur hara makro itu terdiri dari N, P, K, S, Na, Si, dan Ca, sedangkan unsur hara mikro terdiri dari Fe, Zn, Mn, Cu, Mg, Mo, Co dan B. Faktor jenis medium ini memiliki pengaruh yang cukup penting, karena maing-masing jenis medium memiliki kelebihan-kelebihan tersendiri yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroalga hijau *Chlorella*. Berikut akan disajikan tabel mengenai perbandingan antara medium *Beneck*, *Detmer*, *Walne* dan pupuk komersial.

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

2.3.4.2. Pencahayaan

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

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

2.3.4.2.1. Alterasi

Alterasi adalah perubahan perlakuan pencahayaan kontinu dengan memberikan intensitas cahaya yang semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah sel dari *Chlorella sp.*. Dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan dapat diketahui bahwa semakin banyak biomassa dari *Chlorella sp.* maka kultur akan semakin pekat, sehingga pencahayaan kontinu yang diberikan

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

2.3.4.2.2. Pencahayaan Kontinu

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

2.3.4.2.3. Terang Gelap

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

2.3.4.3. Konsentrasi CO₂

Karbon dioksida merupakan elemen paling penting dalam proses fotosintesis, oleh karena itu dengan tersedianya karbon dioksida yang cukup di dalam media otomatis akan mendukung pertumbuhan dari *Chlorella*. Ketersediaan CO₂ dapat dilakukan dengan menginjeleksikannya kemudian menggoyang-goyangkan media. Dengan aerasi, konsentrasi unsur hara dalam media dapat menyebar secara merata. CO₂ ini digunakan sebagai *carbon source* untuk melakukan fotosintesis/metabolisme yang menunjang pertumbuhan *Chlorella*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, konsentrasi CO₂ yang optimal untuk pertumbuhan mikroalga yaitu sekitar 5-10%.



2.3.4.4. pH

pH memiliki peran dalam mengatur kerja dari enzim. Perubahan pH sangat berpengaruh terhadap kinerja enzim dalam metabolisme sel sehingga akan mempengaruhi laju pertumbuhan sel. pH yang optimum bagi perkembangan *Chlorella vulgaris* adalah 7,0 – 8,0 (Round, 1973). *Chlorella sp.* Sangat tahan terhadap lingkungan asam sampai pada pH 2. Untuk mencegah perubahan pH media dalam kultur alga, perlu ditambahkan EDTA (*Ethyl Diamine Tetra Acetat*) ke dalam media, hal ini disebabkan karena EDTA dapat berfungsi sebagai *buffer* sehingga pH menjadi stabil.

2.3.4.5. Temperatur

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

2.3.4.6. Flowrate

Flowrate yang dimaksud adalah laju alir udara dan CO₂ asupan pada medium terbatas. Penentuan laju memperhitungkan model reaktor, perhitungan luas permukaan kontak, dan volume kultur.

2.4. Proses Fiksasi Karbondioksida dalam Sel *Chlorella sp.*

Fiksasi adalah proses pengikatan karbondioksida oleh sel yang selanjutnya akan digunakan untuk proses fotosintesis. Karbondioksida masuk ke tumbuhan melalui stomata yang terdapat di daun. Proses masuknya karbondioksida melalui stomata sangat dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain kadar air. Semakin rendah kadar air akan terjadi penurunan laju fiksasi oleh tumbuhan, hal ini dikarenakan dengan kurangnya kadar air stomata akan menutup. Proses pengikatan karbondioksida oleh sel *Chlorella* hanya dapat dilakukan oleh sel jika suatu senyawa tersebut dalam bentuk larutan, dalam hal ini larutan tersebut adalah larutan ionik. Karbondioksida bereaksi dengan air yang terdapat di medium, selanjutnya hasil dari reaksi ini adalah HCO₃⁻ yang merupakan senyawa ionik yang sangat mudah menembus selaput semi-permeabel pada dinding sel. Senyawa ionik ini kemudian digunakan oleh sel untuk menghasilkan glukosa melalui reaksi



fotosintesis. Proses pengikatan ini hanya dapat dilakukan oleh tumbuhan hijau yang mempunyai klorofil.

2.5. Fotosintesis

Fotosintesis berasal dari kata *foton* yang berarti cahaya dan *sintesis* yang berarti penyusunan. Fotosintesis merupakan proses biokimia yang menghasilkan makanan dengan memanfaatkan energi cahaya dan hanya bisa dilakukan oleh makhluk hidup yang berklorofil. Maka fotosintesis dapat diartikan sebagai proses sintesa dari zat organik dari zat anorganik (air, H₂S dan CO₂) dengan menggunakan cahaya matahari sebagai sumber energi (<http://www.chlorellafactor.com>, 20 April 2007).

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

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

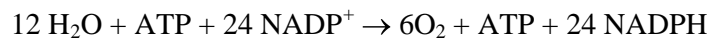
Sebagian besar reaksi fotosintesis yang terjadi di alam menggunakan air dan CO₂ sebagai sumber bahan anorganik. Persamaan reaksi jenis ini dapat dituliskan sebagai berikut :



Hill pada tahun 1937 berhasil membuktikan bahwa energi sinar yang diterima digunakan untuk memecah molekul air menjadi H⁺ dan O₂. Peristiwa ini dikenal sebagai fotolisis, yang merupakan tahap awal dari fotosintesis. Fotolisis berlangsung dengan bantuan cahaya sehingga disebut reaksi terang. Pada reaksi ini, molekul air (H₂O) terurai menjadi molekul oksigen (O₂) dan proton (H⁺). Dalam reaksi ini dihasilkan energi dalam bentuk ATP dan NADP⁺. Kemudian, H⁺



yang dihasilkan dalam reaksi penguraian air tersebut ditangkap oleh NADP^+ sehingga terbentuk NADPH. Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut :



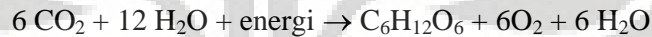
Reaksi terang yang dikemukakan oleh Hill tersebut terjadi di dalam *grana*. Sedangkan reaksi gelap yang dikemukakan oleh Blackman terjadi dalam *stroma*.

Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut :



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

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



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

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



Kebanyakan organisme fotosintetik, seperti tumbuhan, bakteri fotosintetik, dan *blue green algae* mengambil sumber karbon yang diperlukan untuk proses biosintesa dari CO_2 di atmosfer. Untuk melangsungkan proses ini (CO_2 fixation), organisme ini membutuhkan energi yang berasal dari fotosintesis dan sumber elektron tereduksi yang digunakan untuk mereduksi CO_2 menjadi karbon organik. Sumber elektron tereduksi ini disebut *reducing power*, dan biasanya berupa *reduced elektron carrier*, NADPH.

Setiap tahunnya lebih dari 10% dari total karbon dioksida yang berada di atmosfer tereduksi menjadi karbohidrat oleh organisme-organisme fotosintesis. Kebanyakan karbon yang tereduksi akan kembali ke atmosfer sebagai karbon dioksida oleh tumbuhan, mikrobial, metabolisme hewan dan pembakaran



biomassa. Pengetahuan mengenai proses *physio-chemical* dari proses fotosintesis sangat penting dalam hubungannya antara kehidupan organisme dengan atmosfer.

2.5. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Fotosintesis

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

1. Intensitas cahaya

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

2. Konsentrasi karbondioksida

Semakin banyak karbon dioksida di udara, maka semakin banyak jumlah bahan yang dapat digunakan oleh tumbuhan sebagai sumber fotosintesis. Meskipun demikian, konsentrasi 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 $\mu\text{mol mol}^{-1}$.

3. Suhu

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

4. Kadar air

Air seperti CO₂ merupakan bahan utama bagi terjadinya reaksi fotosintesis. Kekurangan air atau kekeringan menyebabkan stomata

menutup, menghambat penyerapan karbon dioksida sehingga mengurangi laju fotosintesis. Sedangkan peningkatan kadar air juga akan menaikkan laju fotosintesis.

5. Kadar fotosintat (hasil fotosintesis)

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

2.6. Fotobioreaktor

Makroalga ataupun Mikroalga mempunyai peranan yang sangat penting dalam bidang industri makanan dan suplemen. Mikroalga adalah organisme pertama *biological CO₂/O₂ exchanger* di bumi ini, penghasil biomassa, dan salah satu organisme grup ekologi yang beragam. Bakteri fotosintesis dan mikroalga telah menjadi bahan penelitian yang penting di dalam penelitian-penelitian, dunia industri, serta berbagai kepentingan yang lain. *Chlorella* merupakan mikroalga yang mempunyai potensi besar dalam bidang bioteknologi untuk diproduksi di berbagai bidang, diantaranya adalah untuk aplikasi makanan kesehatan, suplemen makanan, farmasi, dan lain sebagainya. Proses *biological C-fixation* untuk mengurangi emisi industri relatif lebih mahal dibandingkan dengan teknik penghilangan CO₂ secara konvensional, tetapi akan bernilai ekonomis dengan pemilihan jenis spesies mikroalga yang menghasilkan produk yang bernilai komersial tinggi. Dengan demikian, mikroalga *Chlorella* merupakan jenis mikroalga yang cocok untuk digunakan.

Proses reaksi yang menghasilkan produk-produk komersial maupun untuk produksi mikroorganisme fototropik diformulasikan dan dijalankan dalam sebuah sistem yang dinamakan fotobioreaktor. Sistem ini telah dievaluasi pada berbagai konsep konfigurasi dengan pertimbangan potensial produktivitas dan prospek ekonominya. Desain secara teknik dan basis teknologi untuk fotobioreaktor merupakan hal penting yang harus diperhatikan untuk keberhasilan ekonomi dalam bidang bioteknologi.

Terdapat dua jenis aliran di dalam suatu kultivasi medium kultur, yaitu sistem batch dan sistem kontinu. Permasalahan yang mungkin akan dijumpai dalam kultivasi mikroorganisme fototropik sistem batch adalah diperlukannya



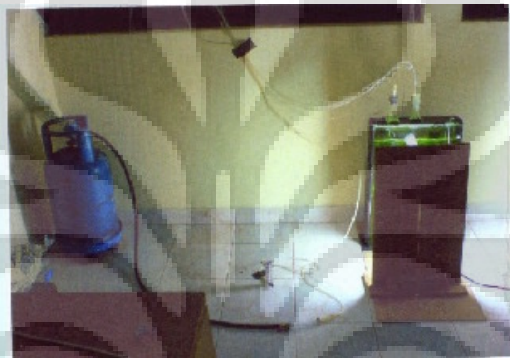
kecukupan sistem penerangan yang lebih baik untuk mempertahankan laju pertumbuhan yang maksimum. Dalam sistem batch, jika dengan intensitas penerangan yang konstan dalam fotobioreaktor, maka rasio intensitas cahaya per sel akan menurun dengan bertambahnya biomassa. Hal ini disebabkan oleh adanya fenomena *self-shading* dari cahaya, yaitu sel-sel akan mulai memblokir penetrasi cahaya yang akan masuk ke dalam fotobioreaktor.

Secara umum terdapat dua jenis kelas yang digunakan dalam fotobioreaktor, yaitu sistem terbuka dan sistem tertutup. Jenis fotobioreaktor terbuka dapat berupa kolam *outdoor*, yang biasanya mempunyai kekurangan dalam hal kontrol parameter proses secara akurat. Sistem ini menawarkan sedikit atau tidak adanya kontrol pada parameter temperatur dan intensitas cahaya, efisiensi penggunaan CO₂ yang kecil dikarenakan kurangnya aliran turbulen dan pelepasan gas-gas dari media kultur. Kontaminasi oleh mikroorganisme lain akan mempengaruhi pertumbuhan dari kultur yang diinginkan dan penurunan kualitas dari produk yang dihasilkan. Karena laju keluaran per volum reaktor kecil, menyebabkan suatu beban berat pada biaya produksi dan berdampak pada kecenderungan pertumbuhan pada fotobioreaktor tertutup.

Sistem tertutup menawarkan kontrol yang lebih bagus pada variabel proses, efisiensi penggunaan CO₂ yang lebih tinggi, dan sangat mengurangi adanya kontaminasi. Bentuk umum untuk sistem bioreaktor tertutup adalah *rigid tubular*, tetapi ada juga yang berbentuk *thin panel*, *helical coil*, dll (Ogbonna, 1997).

Suatu fotobioreaktor dengan intensitas cahaya yang terkontrol, disebut juga lumostat, dapat menjadi sebuah model fotobioreaktor yang dapat dipakai pada skala industri, dengan pengukuran pH dan *dissolved oxygen*. CO₂ (dan HCO₃⁻ + H⁺) akan dieliminasi dari medium dan digunakan sebagai sumber karbon oleh mikroorganisme fotosintetik, yang juga akan merubah pH dari medium. Gas O₂ yang dihasilkan harus dihilangkan untuk menghindari kerusakan pada fotobioreaktor dari presurisasi dan penurunan produktivitas yang disebabkan oleh terjadinya fotorespirasi di dalam kultur. Salah satu cara yang digunakan untuk menghilangkan konsentrasi O₂ di dalam media kultur adalah dengan titrasi gas H₂ secara katalitik. Laju dari titrasi H₂ dapat dilakukan secara proporsional dengan laju produksi O₂ dari proses fotosintesis dan dapat memberikan tambahan ukuran

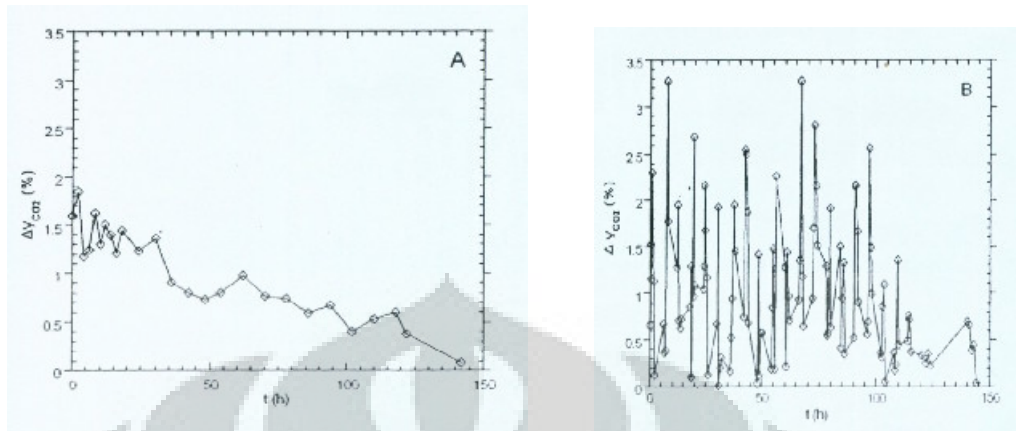
bebas untuk menentukan laju pertumbuhan *Chlorella* dalam fotobioreaktor. Jadi ada dua metode bebas yang dapat dipakai untuk menentukan konsentrasi biomassa, yaitu jumlah akumulasi tambahan CO₂ dan H₂. Sedangkan cara lainnya adalah dengan mengurangi konsentrasi O₂ yang dihasilkan dengan menggunakan sistem aerasi. Sistem aerasi ini menggunakan *bubbler*, *sparging* dan peralatan lainnya. Fotobioreaktor inilah yang dipakai dalam penelitian ini, yaitu fotobioreaktor kolom gelembung.



Gambar 2. 4 Fotobioreaktor kolom gelembung

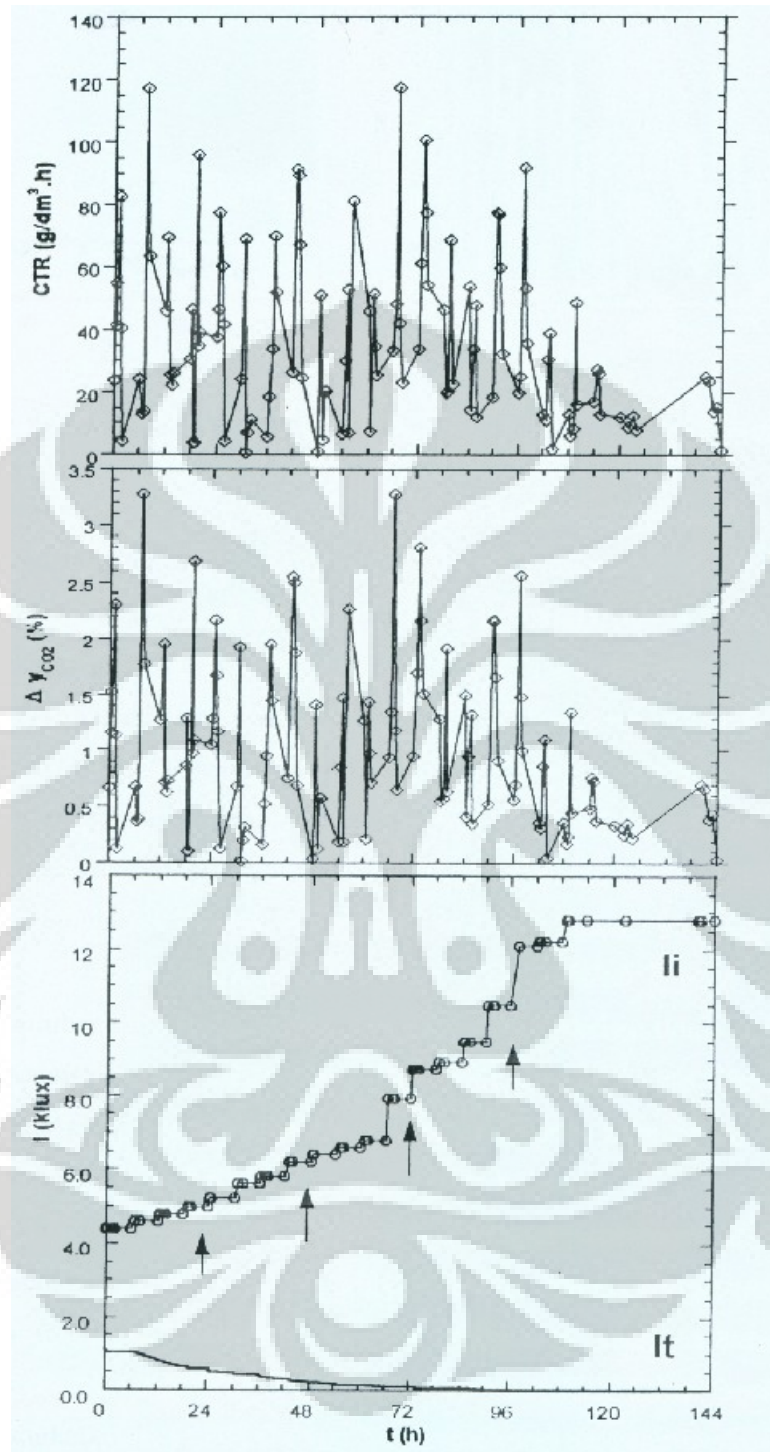
2.7. Alterasi Pencahayaan untuk Peningkatan Fiksasi Karbondioksida oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Penelitian alterasi pencahayaan untuk peningkatan fiksasi karbon dioksida oleh *Chlorella vulgaris* telah dilakukan oleh Heidi dan Paramita. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan metode alterasi pencahayaan dan pencahayaan kontinu. Fiksasi CO₂ di dalam fotobioreaktor pertama-tama ditunjukkan oleh adanya perbedaan konsentrasi inlet dan outlet gas CO₂ saat kultivasi. Selain itu, nilai Δy_{CO_2} (selisih konsentrasi CO₂) juga menandakan konsumsi gas CO₂ sebagai substrat/*carbon source* oleh mikroalga dalam bentuk [HCO₃]. Di bawah ini adalah gambar perbandingan besarnya Δy_{CO_2} berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Heidi.



Gambar 2.6. Perbandingan ΔV_{CO_2} antara alterasi Intensitas Cahaya untuk Pertumbuhan dan Peningkatan Nilai CTR (A = basis μ_{max} (Andika, 2004), B = basis CTR_{max} (Heidi, 2005))

CTR (*Carbon Transfer Rate*) merupakan banyaknya gas CO_2 yang ditranferkan dalam suatu volum medium yang dibutuhkan oleh metabolisme sel selama satu satuan waktu tertentu. Nilai CTR merupakan fungsi dari ΔV_{CO_2} sehingga hubungan antara keduanya dapat diilustrasikan seperti pada gambar II.6.



Gambar 2. 5 Pengaruh Alterasi Intensitas Cahaya Terhadap Nilai Δy_{CO_2} dan CTR (Heidi, 2005)

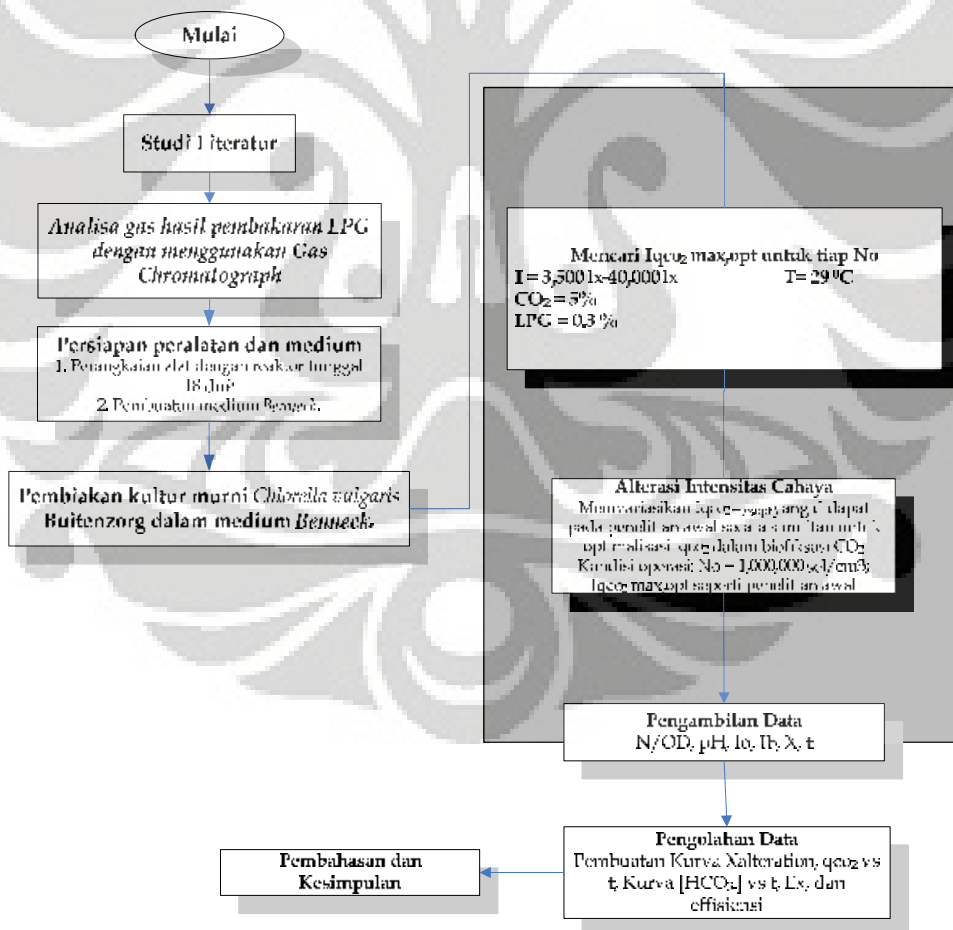
BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam bab ini akan diuraikan mengenai bagian alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, variabel penelitian dan beberapa prosedur penelitian serta perhitungan yang dilakukan dalam pengolahan data penelitian.

III.1. Diagram Alir Penelitian

Adapun alur dari proses penelitian yang dilakukan dapat digambarkan dalam diagram



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



III.2. Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang akan digunakan pada penelitian ini, antara lain :

1. Fotobioreaktor transparan berbentuk aquarium dengan volume 18 dm^3 yang dilengkapi dengan aliran *input* dan *output* gas dan udara.
2. *Air flow* udara *portable*.
3. Tabung gas LPG yang dilengkapi dengan *regulator*.
4. Bunsen untuk pembakaran.
5. Flowmeter udara dan flowmeter CO_2 .
6. Lampu Phillip Hallogen 20 W 12 V 50 Hz (sebagai sumber iluminasi) dan transformator 220 V primer/12 V sekunder.
7. T-septum yang terbuat dari bahan gelas (sebagai titik indikator konsentrasi CO_2 input fotobioreaktor).
8. Peralatan *glassware* yang terdiri dari erlenmeyer 100 ml (sebagai discharge gas CO_2 dan udara output fotobioreaktor), pipet ukur 5 ml, pipet *pasteur*, gelas ukur 10 ml dan 100 ml botol sampel sel, dan *beaker glass* 20 ml dan 100 ml.
9. Selang silikon dan selang plastik (sebagai rangkaian peralatan dan konektor rangkaian).
10. Unit gas Chromatography TCD Shimadzu GC-8A (untuk kontrol konsentrasi gas CO_2 input dan output fotobioreaktor), Recorder C-R6A Chromatopac (untuk mendapatkan printout dari hasil GC), tabung gas (*carrier gas*) Argon. Kolom yang digunakan adalah *active charcoal* dengan laju alir *carrier gas* sebesar 54,0 L/mnt.
11. Mikroskop cahaya elektrik XSZ-107BN (AC 220 Volts/50 Hz) dengan pembesaran maksimum 4000X (untuk mengamati sel dapat digunakan pembesaran 1000X, sedangkan untuk menghitung sel dapat digunakan pembesaran 1000X).
12. Set Neubauer Improved, Tiefe Depth Profondeur 0,1 mm 0,0025 mm² (sebagai alat untuk penghitungan sel)
13. *Counter Manual* (sebagai alat pencacah manual).
14. Syringe 1001 RT Hamilton 1 ml (*inlet-outlet*) (untuk mengambil sampel dari input dan output CO_2).



15. Set *Lighmeter* Luxtron LX-103 (sebagai alat penghitung kekuatan intensitas cahaya, dengan satuan *Lux* ataupun *Foot-candle*).
16. pH meter HANNA instrument HI 8314.
17. Lemari kerja UV (sebagai *transfer box*).
18. Lemari Reaktor terbuat dari kaca dan aluminum (sebagai tempat *running* fotobioreaktor).
19. Bunsen spiritus dan sprayer alkohol 70%.
20. *Plate* dan *magnetic stirrer* (untuk menjaga sampel tetap *uniform*).
21. Oven (untuk sterilisasi alat dan mengeringkan sel *Chlorella sp.*).
22. *Spectrophotometer* UV-VIS RS Spectrophotometer, LaboMed.Inc. (untuk menghitung OD/absorbansi pada 680nm).
23. *Centrifuge* (untuk memisahkan sel *Chlorella sp.* Dari mediumnya).

Bahan penelitian yang digunakan, yaitu :

1. Starter mikroalga hijau *Chlorella sp.* Dengan usia sekitar 72 jam yang telah dihitung sel awal-nya (inokulum) menggunakan *spektrofotometer* pada 600nm.
2. KH_2PO_4 , MgSO_4 , NaNO_3 , dan FeCl_3 untuk pembuatan medium *Beneck*.
3. *Aquadest* (sebagai bahan medium, mencuci alat).
4. Alkohol 70% (untuk mencuci alat/sterilisasi dan mencegah kontaminasi).
5. Tabung gas LPG

Stok mikroalga *Chlorella sp.* yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari lembaga riset ikan hias Depok. Informasi yang diketahui mengenai stok mikroalga ini adalah medium yang dipergunakan dan umur kulturnya, sehingga untuk mendapatkan jumlah sel yang diinginkan dalam penelitian perlu dilakukan penghitungan kerapatan sel dari stok ini, kemudian stok dimasukkan dalam lemari es agar pertumbuhannya terhambat. Setelah kerapatan sel dari *starter* diketahui, diambil sejumlah volum sehingga didapatkan kerapatan sel yang diinginkan pada medium *Beneck* yang baru dalam bioreaktor dengan volume total 18 dm^3 dengan menggunakan prinsip pengenceran.

III.3 Variabel Penelitian

Variabel yang dapat ditentukan dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel bebas, yaitu : intensitas cahaya optimal pada fiksasi CO₂ oleh mikroalga (I_{qco_2maks}), nilai absorbansi pada panjang gelombang 600 nm.
2. Variabel tergantung, yaitu : jumlah sel/kepadatan sel, pH, intensitas cahaya yang masuk dan yang ditransmisikan keluar reaktor, dan konsentrasi gas CO₂ yang masuk dan keluar fotobioreaktor.

III.4. Prosedur Penelitian

Berikut akan dijelaskan tahapan-tahapan penelitian, baik dari persiapan awal sampai tahap pengambilan data

III.4.1. Analisis Gas Hasil Pembakaran LPG

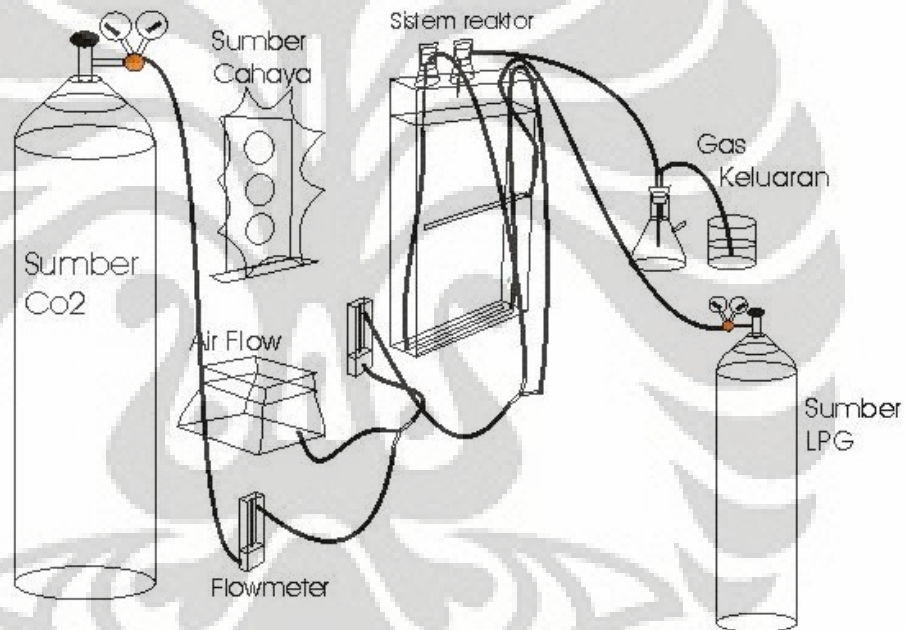
Untuk penelitian ini digunakan gas hasil pembakaran LPG yang dimodelkan. Pertama kali kita mengambil gas hasil pembakaran LPG kemudian dianalisis menggunakan *Gas Chromatography* sehingga kita bisa mengetahui komposisi gas bakar tersebut. Selanjutnya kita memodelkan komposisi gas tersebut dan kemudian komposisi gas yang sudah dimodelkan tersebut dialirkan ke dalam fotobioreaktor untuk diketahui pengaruhnya terhadap pertumbuhan *Chlorella sp.*

III.4.2. Rangkaian Peralatan

Penelitian ini menggunakan fotobioreaktor berukuran 20 dm³ dengan peralatan pendukungnya yang dirangkai di dalam suatu lemari tertutup yang dimaksudkan untuk mencegah masuknya kontaminan, seperti yang ditunjukkan gambar 3.2. Fotobioreaktor yang akan digunakan diletakkan dalam posisi sejajar dan 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 nya.

Kalibrasi *flowmeter* juga dilakukan agar dapat 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. Pada tiap sambungan selang dilapisi dengan selotip untuk memastikan tidak ada sambungan yang bocor sekaligus mencegah kontaminan masuk kedalam rangkaian. Sumber iluminasi yang digunakan adalah dua buah lampu *halogen* dengan kekuatan intensitas cahaya sampai 110,000 lx.

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



Gambar 3. 2 Skema Alat Penelitian

III.4.3. Sterilisasi Peralatan

Sterilisasi merupakan hal penting yang harus dilakukan. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kontaminan yang berada di peralatan yang akan digunakan, sehingga pertumbuhan *Chlorella* tidak terhambat. Adapun langkah-langkah untuk sterilisasi alat adalah sebagai berikut :

1. Pencucian Peralatan

Peralatan yang akan digunakan dicuci terlebih dahulu dengan air sabun kemudian dibilas dengan air sampai tidak terdapat sabun yang menempel.



2. Pengeringan

Setelah peralatan dicuci dan dibilas sampai bersih, kemudian dikeringkan dengan menggunakan tisu atau kompressor udara. Selanjutnya peralatan yang sudah kering tersebut ditutup dengan *aluminium foil*, untuk mencegah masuknya kontaminan.

3. Sterilisasi

Peralatan dari kaca disterilisasi menggunakan oven dengan suhu 100° C selama kurang lebih 1 jam.

4. Penyimpanan

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

III.4.4. Pembuatan Medium Beneck

Dalam penelitian ini medium yang digunakan sebagai kultur media pertumbuhan *Chlorella sp.* adalah medium *Beneck*. Medium ini dipilih karena mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya bahwa medium ini cukup baik untuk media hidup *Chlorella sp.* dan juga medium ini mudah dibuat. Untuk keperluan pembuatan medium sintetik yang dalam penelitian ini menggunakan *Beneck*, maka diperlukan senyawa-senyawa kimia yang merupakan komposisi medium. Komposisi tersebut dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 3. 1 Komposisi *Beneck*

No	Stok	Larutan stok
1	MgSO ₄	100 mg/lt
2	KH ₂ PO ₄	200 mg/lt
3	NaNO ₃	500 mg/lt
4	FeCl ₃	3-5 mg/lt

Sementara itu persiapan medium yaitu medium *Benneck* dibuat dengan cara melarutkan 2000 mg MgSO₄, 4000 mg KH₂PO₄, 10000 mg NaNO₃, dan 60 – 100 mg FeCl₃ dalam 18 liter aquadest. Larutan ini kemudian dikukus di dalam panci bertekanan selama 1 jam dengan api sedang, Setelah itu larutan dipisahkan



dari padatan yang mengendap pada bagian bawahnya dan didinginkan. Larutan ini selanjutnya digunakan sebagai medium pertumbuhan *Chlorella vulgaris*.

III.4.5. Pemiakan Kultur Murni

Kultur murni yang didapat dibiakkan lagi sebelum dapat digunakan dalam penelitian, selain untuk memperbanyak stock *Chlorella*, juga diharapkan *Chlorella* beradaptasi dalam medium baru sebelum digunakan.

Cara pembiakan mikroalga *Chlorella sp*:

1. Menyiapkan medium dan peralatan pembiakan (wadah, selang udara, tutup wadah) dan disterilkan terlebih dahulu.
2. Stock murni *Chlorella sp*. kemudian dimasukkan ke dalam wadah steril dan dicampur dengan medium *Beneck* yang sudah steril.
3. Kultur tersebut kemudian di-*bubbling* dengan menggunakan kompresor udara dan CO₂ sebesar 1 v/vm. Pada tahap ini juga harus diberikan cahaya, namun intensitas cahaya diatur cukup kecil kurang lebih 1,000 lx.
4. Pemiakan dapat dilakukan selama satu minggu atau lebih bila bertujuan untuk memperbanyak stock yang ada, tetapi untuk mencapai lag time hanya diperlukan 2-3 hari.

III.4.6. Penentuan Jumlah Inokulum *Chlorella sp*.

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

Langkah-langkah penghitungan :

1. Kultur yang akan dihitung jumlah inokulumnya, diaduk sampai semua endapan *Chlorella vulgaris Buitenzorg* yang merata dalam medium.
2. Mengambil sampel inokulum dengan pipet tetes secukupnya (jika menggunakan mikroskop); mengambil 5 ml (jika menggunakan spektrofotometer)



3. Penghitungan sel dapat dilakukan dengan menggunakan mikroskop maupun *spektrofotometer*, dengan catatan untuk penghitungan menggunakan *spektrofotometer* telah dibuat kurva kalibrasi OD vs Nsel

(a) Menggunakan Mikroskop

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

(b) Menggunakan *Spektrofotometer*

- ❖ *Spektrofotometer* di-set pada panjang gelombang 680nm. Panjang gelombang 680nm didapat dari *peak* yang keluar selama kalibrasi panjang gelombang dengan menggunakan *Spektrofotometer double beam*. Untuk melihat nilai OD pada penelitian ini digunakan *spektrofotometer single beam*, dan cahaya tampak (VIS) sebagai sumber cahaya yang akan diabsorpsi oleh *Chlorella sp.*
- ❖ Kalibrasi *spektrofotometer* dengan menggunakan kuvet berisi *aquadest/medium* pada panjang gelombang yang sama, kemudian mengatur agar absorbansinya menunjukkan angka 0.000 (*nol*).
- ❖ Masukkan sampel ke dalam kuvet, kemudian uji dalam *spektrofotometer*. Data yang diambil adalah nilai absorbansi pada *range* 0.2-0.4, jika melebihi dari *range* tersebut maka sampel harus diencerkan sampai nilai absorbansinya mencapai *range* tersebut. Nilai OD 0.2-0.4 merupakan *range* di dalam nilai T(*Transmission*) 15-65. Kemudian jumlah selnya dapat diketahui dari kurva kalibrasi OD vs Nsel. Jika dilakukan

pengenceran maka jumlah selnya dikalikan jumlah pengenceran yang dilakukan.

III.4.7. Pembuatan Kurva Kalibrasi

Pembuatan kurva kalibrasi ini bertujuan untuk memudahkan penghitungan sampel yang memiliki jumlah sel yang banyak dan mengetahui berat kering dari suatu sampel dengan hanya mengatur absorbansinya (*OD*) menggunakan *spektrofotometer* cahaya tampak. Pembuatan kurva kalibrasi dilakukan pada panjang gelombang 680nm. Sedangkan pembuatan kurva kalibrasi CO₂ dan udara (Volume vs Area) merupakan kalibrasi untuk mendapatkan konsentrasi karbon dioksida di dalam campuran CO₂ dengan udara maupun dengan campuran gas hasil bakar lainnya dengan mengetahui luas area dari *print out recorder Gas Chromatography*.

1. Kurva Kalibrasi N_{sel} vs OD₆₈₀

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

Untuk membuat kurva kalibrasi N sel vs OD₆₈₀:

1. Meneteskan sampel pada *Neubauer Improved* secukupnya (± 2 tetes pada ruang atas/bawah). Sampel ini kemudian ditutup dengan kaca preparat.
2. Menempatkan sampel di bawah mikroskop, kemudian mikroskop diset sehingga memiliki perbesaran 100 kali dan menghitung jumlah sel dengan menggunakan pencacah manual.
3. Data absorbansi dengan jumlah sel dihubungkan sehingga membentuk suatu kurva kalibrasi OD₆₈₀ vs N sel.

2. Kurva Kalibrasi X vs OD₆₈₀

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 110⁰ C sampai benar-benar kering, kemudian ditimbang.



3. Kurva Kalibrasi CO₂ (Volume vs Area)

Kurva ini dibuat dengan cara menginjeksikan gas CO₂ teknis dengan volum yang berbeda-beda ke dalam *Gas Chromatography* untuk mendapatkan luas area pada tiap volum tersebut. Volum pengukuran divariasikan antara 0.1-1 µL, sesuai dengan kapasitas *micro syringe* yang digunakan. Kemudian dibuat regresi linier antara volum dengan luas area yang diperoleh.

4. Kurva kalibrasi Luas Area Udara

Kurva ini dibuat dengan cara menginjeksikan udara keluaran kompresor dengan volum yang berbeda-beda ke dalam GC (*Gas Chromatograph*) untuk mendapatkan luas area pada tiap volum tersebut. Volum pengukuran divariasikan antara 0.1-1 µL, sesuai dengan kapasitas *micro syringe* yang digunakan. Kemudian dibuat regresi linier antara volum dengan luas area yang diperoleh.

Catatan :

Penggunaan GC :

1. Sampel diinjeksikan dengan menggunakan *micro syringe* bervolum 1 µL
2. Data luas area dari recorder dimasukkan ke dalam persamaan kalibrasi luas area untuk memperoleh persen konsentrasi gas CO₂ yang sesungguhnya.

III.4.8. Pelaksanaan Penelitian dalam Fotobioreaktor

Penelitian ini merupakan alterasi (perubahan) dari intensitas cahaya untuk fiksasi karbondioksida ($I_{qCO_2max,opt}$) secara simultan sesuai dengan pertambahan jumlah sel (N)/biomassa (X) selama masa kultivasi.

Hal yang perlu diperhatikan adalah semua prosedur penelitian harus dilakukan secara *aseptik* dengan menggunakan bunsen dan alkohol 70%, untuk menghindari atau mengurangi efek kontaminasi. Hal ini sangat penting karena efek kontaminasi dapat menghambat pertumbuhan mikroalga.

Pada penelitian ini digunakan kondisi operasi sebagai berikut:

1. Temperatur fotobioreaktor sebesar 29⁰ C (*temperatur ambient*)
2. Tekanan gas dan udara dalam fotobioreaktor sebesar 1 atm (*atmosferik*)
3. Kecepatan superfisial (U_G) sebesar 15.7 m/jam



4. Konsentrasi CO₂ *input* sebesar kurang lebih 5 % dalam campuran antara udara dan CO₂ murni.

III.4.9. Pengambilan Data

Data yang diambil dalam penelitian ini :

1. Kerapatan sel (*sel/ml*)
2. pH fotobioreaktor
3. Intensitas cahaya *front* [I_o] dan *back* [I_b] (Lux)
4. Konsentrasi gas CO₂ dalam *input* dan *output* reaktor.

Langkah-langkah pengambilan data :

1. Sampel diambil dari reaktor untuk dihitung jumlah selnya/absorbansinya (N/OD) bersamaan dengan mengambil nilai pH, konsentrasi gas CO₂ dalam udara *input* dan *output* (y_{co2}) dan intensitas yang masuk (I_o) maupun yang ditransmisikan ke belakang reaktor (I_b).
2. Langkah-langkah pengambilan data diulangi setiap interval waktu yang telah ditetapkan.

III.5. Metode Perhitungan Hasil Data Observasi

Variabel penelitian yang diambil yaitu OD₆₀₀, pH, y_{co2}, I_o dan I_b akan diolah menggunakan beberapa metode perhitungan, antara lain :

III.5.1. Perhitungan CTR (Wijanarko, A., 2003)

CTR (*Carbon Transfer Rate*) merupakan banyaknya gas CO₂ yang ditransferkan dalam suatu volum medium yang dibutuhkan oleh metabolisme sel selama satu satuan waktu tertentu. Persamaan untuk perhitungan CTR adalah seperti ditunjukkan di bawah ini :

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

$$\text{di mana } \alpha_{CO_2} = \frac{U_G \cdot A \cdot M_{CO_2} \cdot P}{V_{med} \cdot R \cdot T}$$

dengan :

U_G = kecepatan superficial gas yang diumpankan. ($\frac{dm^3}{hr}$)

A = Luas permukaan reaktor yang menghadap ke sumber cahaya. (m²)



M_{CO_2} = massa molekul relatif CO_2 . $\left(\frac{gr}{mol}\right)$

P = tekanan operasi. (atm)

V_{med} = volume medium. (dm^3)

R = konstanta *Rydberg* = $0,08205 \frac{dm^3 \cdot atm}{mol \cdot K}$

T = temperatur operasi (K)

Sedangkan persamaan untuk mencari nilai q_{CO_2} adalah :

$$q_{CO_2} = \frac{CTR}{X} \quad (\text{CTR dalam } \frac{g}{dm^3 \cdot h} \text{ dan } q_{CO_2} \text{ dalam } h^{-1})$$

dengan :

X = berat kering sel *Chlorella vulgaris* $\left(\frac{gr}{dm^3}\right)$

III.5.2. Perhitungan $[HCO_3^-]$ (Wijanarko, A., 2004a)

Dengan menggunakan persamaan *Henderson-Hasellbach*, dapat dicari besar konsentrasi $[HCO_3^-]$ dalam reaktor, yaitu:

$$K_{CO_2} = \frac{[HCO_3^-] \cdot [H^+]}{[CO_2]} \quad (\text{Wijanarko, 2000})$$

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

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

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

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

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

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

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

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 diumpankan.

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

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

T = temperatur operasi (K)

T_0 = temperatur standar (K)

Konstanta-konstanta aktivitas gas CO_2 :

$$\begin{array}{lll} A_k = 40.557 & B_k = -36.782 & C_k = 0 \\ A_h = 22.771 & B_h = -11.452 & C_h = -3.117 \end{array}$$

III.5.3. Perhitungan X

Jumlah biomassa yang dihasilkan dari kultur mikrolaga dapat dihitung secara langsung dengan mengkorelasikan hasil pengukuran kerapatan optik pada 600 nm (OD_{600}) dari kultur mikroalga dengan menggunakan kurva kalibrasi OD_{680} versus berat kering sel *Chlorella vulgaris*.

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

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

dimana:

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

N = jumlah sel (sel/cm^3)



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

III.5.4. Pengolahan Data I

Nilai I_0 (jumlah intensitas yang diterima oleh reaktor) dan I_b (besar intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh reaktor) digunakan untuk menentukan besarnya nilai energi yang digunakan untuk produksi biomassa dari *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 medium (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 mengenai pelaksanaan setiap tahapan penelitian, pengukuran data serta analisis dan hasil-hasil penelitian. Bab ini juga akan memperlihatkan analisis dan perbandingan kurva-kurva dari hasil penelitian dengan hasil penelitian lain.

4.1. Pembahasan Umum

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan sebelum sampai ke tahapan utama. Tahapan paling awal adalah menguji kandungan gas buang hasil pembakaran LPG, setelah itu memasuki tahapan utama yaitu berupa alterasi pencahayaan yang bertujuan untuk mengoptimalkan produksi biomassa.

Mikroalga yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *Chorella vulgaris* yang berasal dari koleksi kultur Sub Balai Penelitian Perikanan Air Tawar Depok. Penamaan *nomenclature Buitenzorg* diambil untuk identitas jenis *Chlorella* ini karena berasal dari daerah Bogor yang pada zaman Belanda disebut sebagai *buitenzorg*. Penelitian ini dimulai dengan melakukan kultur awal pada *Chorella vulgaris Buitenzorg* untuk pembuatan stock. Tahapan ini mencakup sterilisasi peralatan yang digunakan, pembuatan medium Beneck, dan pembiakan kultur murni *Chorella vulgaris Buitenzorg*. Medium Beneck dipilih sebagai media hidup *Chorella vulgaris Buitenzorg* ini karena *Beneck* mengandung senyawa makro seperti $MgSO_4$, KH_2PO_4 dan $NaNO_3$ yang sangat dibutuhkan dalam pertumbuhannya untuk pembelahan sel serta pembentukan asam nukleat dan protein.

Pada percobaan kali ini, kita akan melihat pertumbuhan biomassa *Chlorella Vulgaris* pada fotobioreaktor skala menengah yang bervolume 18 liter dengan metode yang telah teruji pada penelitian sebelumnya pada skala kecil. Fotobioreaktor yang digunakan berdimensi 38,5 x 10 x 60 cm dengan permukaan bagian depan yang terkena cahaya adalah 38,5 x 60 cm. Jadi desain yang digunakan setipis mungkin. Hal ini bertujuan untuk mengurangi efek *self shading*



pada sel-sel *Chlorella Vulgaris*, yaitu efek penghalangan cahaya oleh sel-sel yang ada di depannya. Akibat dari efek ini adalah tidak meratanya intensitas yang diterima oleh setiap sel akibat kerapatan (kepekatan) yang dimilikinya. Ilustrasi dari reaktor yang digunakan dapat dilihat pada gambar pada BAB III.

Pengujian kandungan gas hasil pembakaran LPG bertujuan untuk memperoleh model dari gas buang LPG tersebut sehingga didapatkan konsentrasinya yang akan digunakan untuk sumber *carbon source* untuk *Chlorella*. Pengujian ini menggunakan *Gas Chromatography* dengan *carrier gas* adalah helium.

Pembiakan kultur murni *Chlorella vulgaris Buitenzorg* dalam medium benecck dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh kondisi mikroalga yang homogen sebagai stock yang akan digunakan; memperbanyak sel, dan untuk membiasakan mikroalga pada kondisi operasi yang akan digunakan pada proses penelitian ini. Pembiakan kultur murni ini dilakukan sampai jumlah selnya mencapai maksimum dengan pencahayaan kontinyu dibawah 1 klux, konsentrasi CO₂ 5 % dan laju alir udara asupan 1 v/vm.

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

Setelah semua peralatan disiapkan dan disterilkan maka siap untuk dilakukan perlakuan awal pada *Chlorella Vulgaris* sebelum memasuki tahap pembiakan. Tahap ini dinamakan tahap pra kultur. Tahap ini bertujuan untuk membiakan sel dan melewati sel pada fasa lag, sehingga pengambilan data dimulai saat sel telah berada pada fasa log/eksponensial. Selain itu, tahap ini juga berfungsi untuk membantu *Chlorella Vulgaris* untuk beradaptasi dengan lingkungannya. Saat waktu beradaptasi ini *Chlorella Vulgaris* tidak dapat



berkembang baik dengan baik. Lama dari pra kultur ini berkisar antara 3-4 hari. Pra kultur ini dilakukan dalam fotobioreaktor yang akan digunakan. Prosesnya adalah mengalirkan udara tanpa CO₂ dengan kecepatan supervisial sebesar 15.7 m/jam. Kecepatan ini digunakan karena kecepatan ini adalah kecepatan yang optimal untuk pertumbuhan sel dalam fotobioreaktor.

Langkah selanjutnya yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pembuatan kurva kalibrasi. Ada beberapa kurva kalibrasi yang harus dibuat dalam penelitian ini, diantaranya adalah kalibrasi luas area GC untuk CO₂, kalibrasi luas area GC untuk udara. Pada penelitian ini kurva kalibrasi tersebut menggunakan kurva kalibrasi yang sudah ada.

Kalibrasi pertama yang akan dibahas adalah kalibrasi luas area GC untuk CO₂, kalibrasi luas area GC untuk udara. Pada dasarnya cara mengkalibrasi luas area GC untuk CO₂ dengan kalibrasi luas area GC untuk udara adalah sama. Kurva ini dibuat dengan cara menyuntikkan gas CO₂ dengan volume berbeda-beda ke dalam *Gas Chromatography* (GC). Volume CO₂ yang disuntikkan berkisar dari 0.1 μ L sampai 1 μ L. Hasil GC yang dilihat adalah areanya. Nilai-nilai volume CO₂ vs area kemudian diplot dan dibuat regresi linear. Dari regresi linear tersebut akan didapatkan persamaan untuk mendapatkan kalibrasi nilai CO₂. Cara yang sama juga dilakukan pada udara untuk mendapatkan persamaan dari pengeplotan nilai-nilai volume udara vs area dengan regresi linear. Dua persamaan yang didapatkan dari kalibrasi luas CO₂ dan kalibrasi luas area akan digunakan untuk menghitung konsentrasi karbondioksida di dalam udara *input* dan *output*.

Setelah semua tahapan untuk kalibrasi telah dilaksanakan, maka penelitian akan masuk ke tahapan berikutnya, yaitu alterasi intensitas cahaya dengan komposisi gas input berupa 5 % CO₂, 0.3 % LPG dan 94.7 % udara. Sebenarnya sebelum penelitian ini dilakukan, terlebih dahulu menguji ketahanan *chlorella* terhadap LPG, dengan variasi LPG yang dimasukkan sebesar 0.3, 0.5 dan 1 % volum sehingga didapatkan volum optimum untuk pertumbuhan sebesar 0.3 % v/v LPG. Dari uji ketahanan *chlorella* terhadap LPG diketahui bahwa semakin besar konsentrasi LPG yang dimasukkan maka ketahanan *Chlorella* tersebut semakin berkurang sehingga dalam penelitian ini dipakai 0.3 % v/v LPG. Dalam penelitian



ini data yang diambil antara lain adalah *optical density*, pH, jumlah cahaya masuk dan keluar dan juga CO₂ masuk dan CO₂ keluar. Dari data tersebut kita dapat melihat pertumbuhan dari mikroalga ini dan proses fiksasinya.

Penelitian yang kedua yang digunakan sebagai pembanding adalah pencahayaan kontinyu dengan gas input berupa 5 % CO₂, 0.3 % LPG dan 94.7 % udara. Dari kedua penelitian ini dapat diketahui bahwa dengan pencahayaan alterasi fasa log dan waktu hidup dari *chlorella sp.* lebih lama dibandingkan dengan pencahayaan kontinyu.

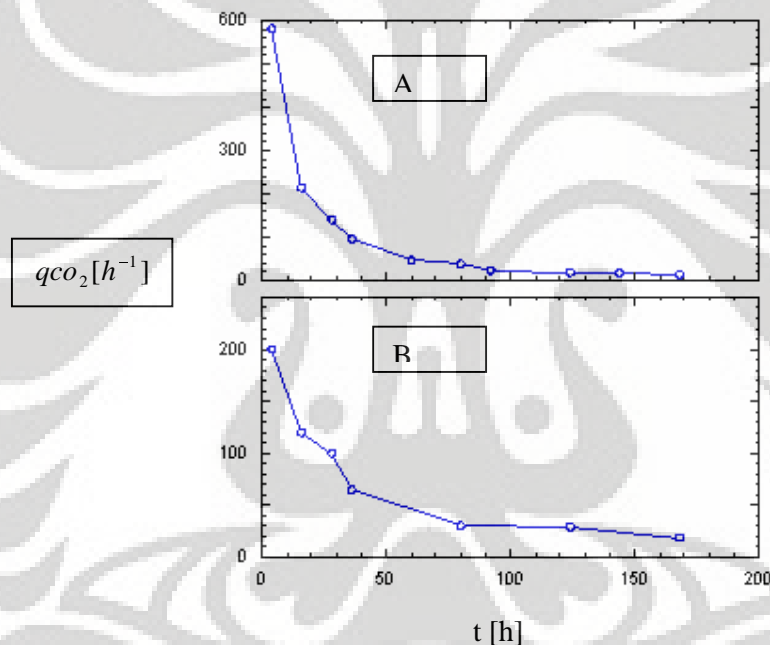
Penelitian yang menggunakan pencahayaan alterasi didasarkan pada intensitas optimum untuk fiksasi karbondioksida karena intensitas optimum untuk fiksasi karbondioksida mempunyai nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan intensitas optimum untuk pertumbuhan sehingga *Chlorella sp.* mempunyai waktu hidup yang lebih lama. Pencahayaan alterasi yang berbasis fiksasi karbondioksida menghasilkan nilai rata-rata q_{CO_2} 2 kali lipat dibandingkan dengan pencahayaan kontinyu yang berbasis pertumbuhan. Hal ini disebabkan karena dengan intensitas optimum untuk fiksasi maka sel-sel *Chlorella sp.* mempunyai kekuatan untuk memfiksasi karbondioksida pada titik optimumnya. Dari kedua penelitian tersebut dapat diketahui bahwa pencahayaan alterasi yang berbasis fiksasi karbondioksida mempunyai ketahanan yang lebih baik terhadap LPG dibandingkan dengan pencahayaan kontinyu yang berbasis pertumbuhan, hal ini dapat dilihat pada grafik X vs t dengan pencahayaan alterasi yang mempunyai waktu hidup sel lebih lama dibandingkan pencahayaan kontinyu. Pencahayaan alterasi juga menghasilkan nilai rata-rata q_{CO_2} 2 kali lipat dibandingkan dengan pencahayaan kontinyu yang berbasis pertumbuhan sehingga dengan pencahayaan alterasi menghasilkan dua keuntungan yaitu ketahanan yang lebih baik dan nilai rata-rata q_{CO_2} yang lebih besar.

4.2. Penentuan Sistem Pencahayaan yang akan dipakai selama masa kultivasi

Ada beberapa sistem pencahayaan yang dapat dipilih untuk mengkultivasi *Chlorella sp.* Sistem pencahayaan tersebut diantaranya adalah sistem pencahayaan 'kontinyu, terang gelap (fotoperiodesitas), dan alterasi pencahayaan. Pemilihan

sistem pencahayaan untuk penelitian ini didasari oleh penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Sang Made Khresna di dalam skripsinya pada tahun 2004, yaitu alterasi pencahayaan yang menggunakan kurva basis pertumbuhan untuk meningkatkan produksi biomassa.

Pada penelitian tersebut, dilakukan kultivasi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan sistem alterasi pencahayaan dengan jumlah sel awal 1,000,000/cm³ pada $I_{qco_2 \max, opt}$ 4.5 klux. Sebagai pembanding/referensi dikultur juga inokulum *Chlorella vulgaris* Buitenzorg juga sejumlah 1,000,000 sel/cm³ pada 5 klux secara kontinyu. Grafik hubungan antara q_{co_2} terhadap waktu (t) yang didapat dari penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Grafik q_{co_2} terhadap waktu selama masa kultivasi

A: Alterasi pencahayaan dengan kurva basis fiksasi karbondioksida

B : Pencahayaan Kontinyu dengan kurva basis pertumbuhan

Hasil yang didapat menunjukkan bahwa nilai rata-rata q_{co_2} yang digunakan pada alterasi pencahayaan sebesar $7.07 h^{-1}$ dan pencahayaan kontinu sebesar $3.4 h^{-1}$. Dapat dilihat bahwa rata-rata nilai q_{co_2} yang digunakan pada alterasi pencahayaan lebih besar hampir 2 kali lipat dibandingkan dengan pencahayaan



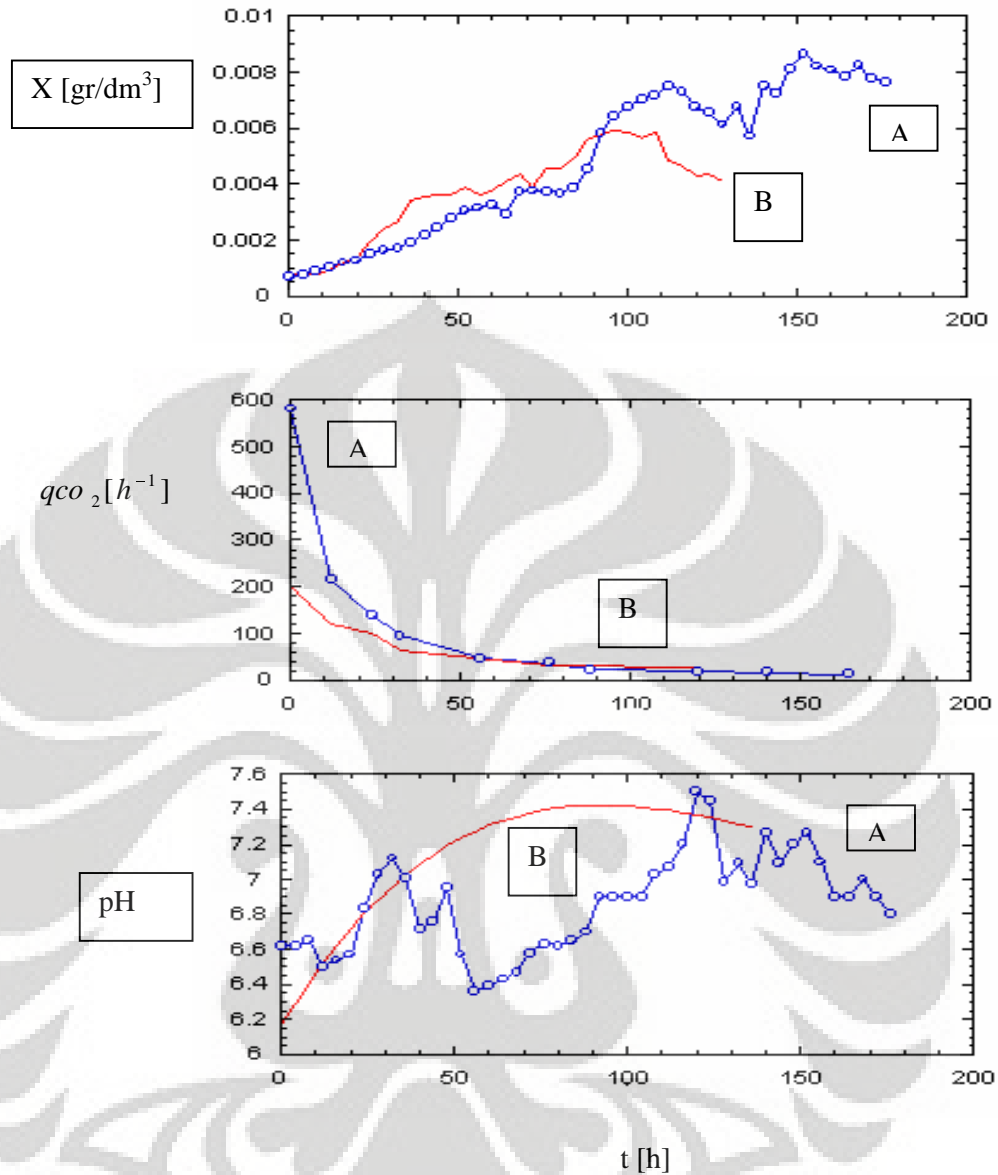
kontinyu. Hal inilah yang melatarbelakangi pemilihan sistem yang dipakai di dalam penelitian ini.

4.3. Hasil Pengamatan selama Alterasi Pencahayaan

Pada penelitian tahap ini inokulum awal yang digunakan adalah 1,000,000 sel/cm³ dan $I_{qco_2, maks, opt}$ yang digunakan pada awal kulturisasi adalah 4.5 klux sesuai hasil penelitian tahap pertama. Untuk selanjutnya $I_{qco_2, maks, opt}$ akan ditingkatkan sesuai perkembangan jumlah sel/biomassa pada kultur.

Data-data yang diambil selama penelitian ini diantaranya adalah nilai OD 600 yang akan dikonversikan menjadi nilai X (gr/dm³), data y_{CO_2} input dan y_{CO_2} output, nilai pH, dan intensitas yang ditransmisikan (I_b). Data-data selama masa alterasi pencahayaan dapat dilihat pada gambar di bawah mi.

Data-data yang didapatkan selama masa alterasi pencahayaan pada penelitian ini akan dibandingkan dengan data-data yang didapat dari penelitian sebelumnya. Hal ini bertujuan untuk melihat kecenderungan yang terjadi selama masa alterasi pencahayaan dan pencahayaan kontinyu.

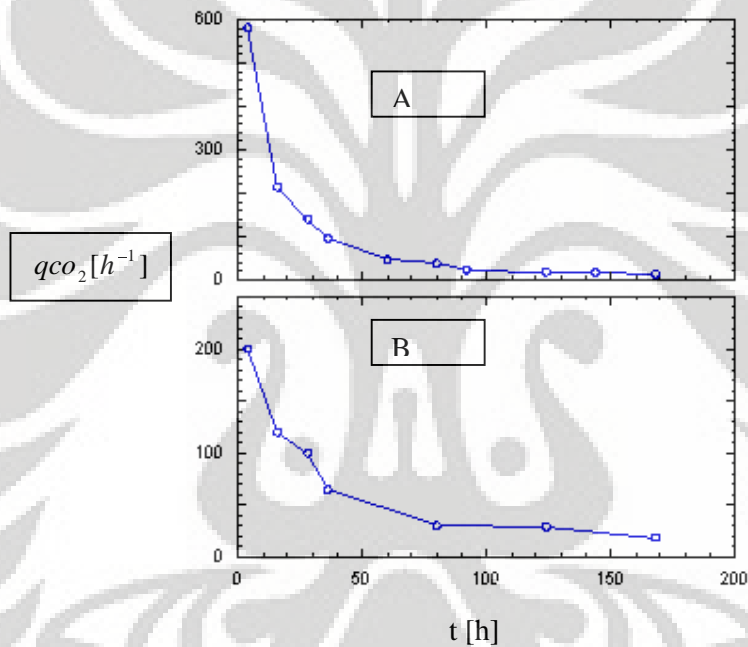


Gambar 4. 2 Hasil Pengamatan (A. Alterasi pencahayaan dengan kurva basis fiksasi karbondioksida, dan B. Pencahayaan kontinyu dengan kurva basis pertumbuhan)

4.4. Pengaruh Alterasi Pencahayaan terhadap Fiksasi Karbondioksida oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Data-data yang didapat selama masa kultivasi dengan alterasi pencahayaan kemudian diolah lebih lanjut. Nilai X dan Δy_{CO_2} merupakan komponen utama untuk menghitung q_{CO_2} yang merupakan tujuan utama yang ingin dilihat hasilnya dari penelitian ini. Sesuai dengan rumus untuk menghitung q_{CO_2} :

$$q_{CO_2} = \frac{\Delta y_{CO_2} \cdot \alpha_{CO_2}}{X}$$

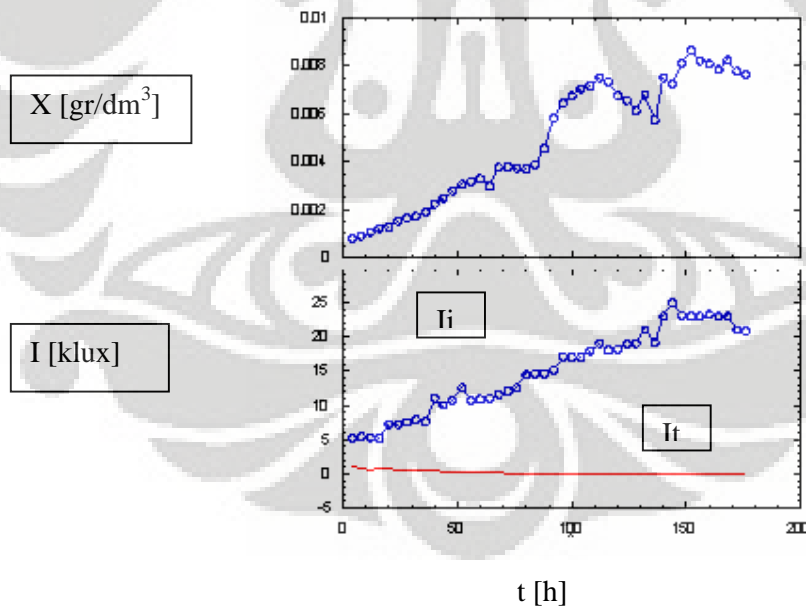


Gambar 4. 3 Fiksasi karbondioksida selama penelitian (A. Alterasi pencahayaan dengan menggunakan kurva basis fiksasi karbondioksida, dan B. Pencahayaan kontinyu dengan menggunakan kurva basis pertumbuhan)

4.5. Pengaruh Alterasi Pencahayaan terhadap Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Pada penelitian ini, data yang juga diamati adalah nilai OD_{600} yang akan dikonversikan menjadi nilai biomassa (X). Nilai biomassa diamati untuk melihat gambaran pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg selama masa alterasi pencahayaan. Penelitian ini juga bertujuan membandingkan produksi biomassa yang terjadi selama masa alterasi pencahayaan dengan menggunakan kurva basis fiksasi karbondioksida dan pencahayaan kontinyu menggunakan kurva basis pertumbuhan.

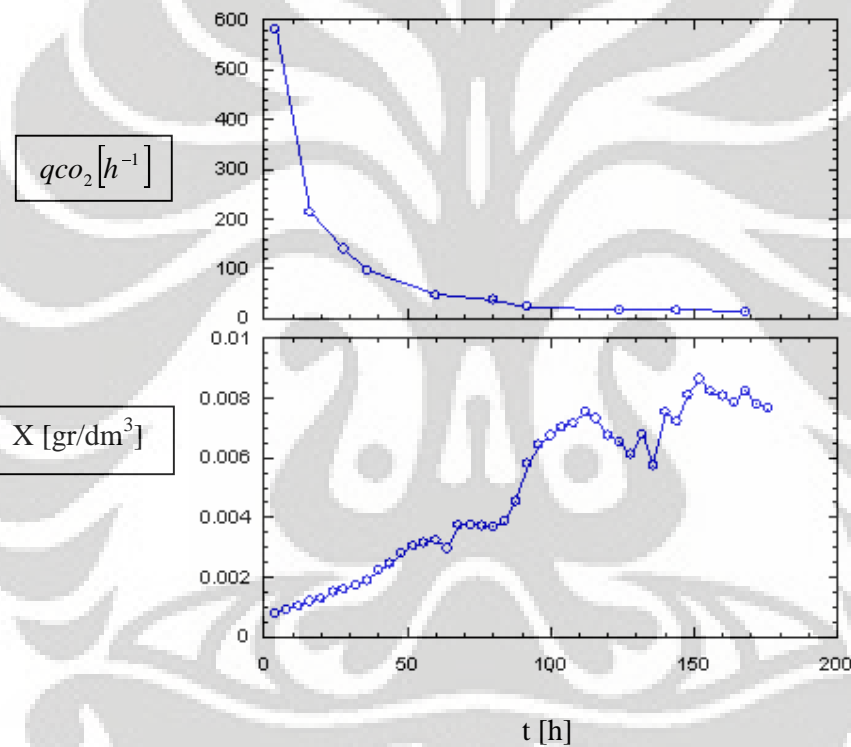
Pembandingan ini mempunyai tujuan untuk melihat seberapa besar peningkatan biomassa yang terjadi selama masa alterasi pencahayaan apabila intensitas cahaya yang digunakan adalah intensitas yang berdasarkan kurva basis pertumbuhan karena nilai-nilai intensitas cahaya dari kurva basis fiksasi karbondioksida mempunyai nilai yang lebih kecil daripada nilai-nilai intensitas cahaya dari kurva basis pertumbuhan. Gambar di bawah ini akan memperlihatkan perbedaan produksi biomassa selama masa kultivasi dari kedua alterasi tersebut.



Gambar 4. 4 Produksi biomassa (X) selama masa alterasi pencahayaan

4.6. Korelasi antara q_{CO_2} dengan X

Pada penelitian ini q_{CO_2} berkaitan erat dengan nilai X selama masa kultivasi dengan alterasi pencahayaan. Semakin banyak terjadi pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg di dalam fotobioreaktor maka q_{CO_2} akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan produksi biomassa yang meningkat mengakibatkan karbondioksida yang tersedia untuk setiap sel semakin sedikit. Karena hal inilah fiksasi karbondioksida semakin kecil. Korelasi antara q_{CO_2} dan X dapat dilihat pada Gambar



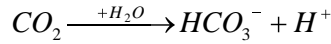
Gambar 4. 5 Korelasi q_{CO_2} dan X selama masa alterasi pencahayaan

4.7. Pengaruh Alterasi Pencahayaan terhadap Nilai pH

Pengambilan data pH selama masa alterasi mempunyai tujuan untuk melihat kaitannya dengan aktivitas sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg selama masa alterasi. Pada saat gas CO_2 masuk dalam kultur, proses yang terjadi adalah

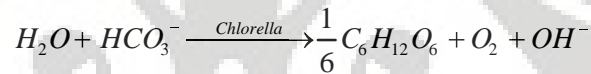


pembentukan senyawa bikarbonat (pada *ekstraselular*) seperti pada reaksi berikut :



Senyawa bikarbonat inilah yang kemudian diserap oleh sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Senyawa bikarbonat sendiri terbentuk karena adanya reaksi antara CO_2 yang terlarut dalam larutan medium dengan air. Perhitungan terhadap $[HCO_3^-]$ dimaksudkan untuk mengetahui jumlah $[HCO_3^-]$ yang tersedia, yang dapat dikonsumsi oleh sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dalam pertumbuhannya. Konsentrasi $[HCO_3^-]$ dihitung dari perubahan pH kultur yang terjadi sebagai akibat adanya aktivitas pertumbuhan 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^- sebagaimana tergambar pada persamaan reaksi berikut:



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

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

dengan : P_T = temperatur operasi. (atm)

y_{CO_2} = konsentrasi gas CO_2 yang diumpankan.

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

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

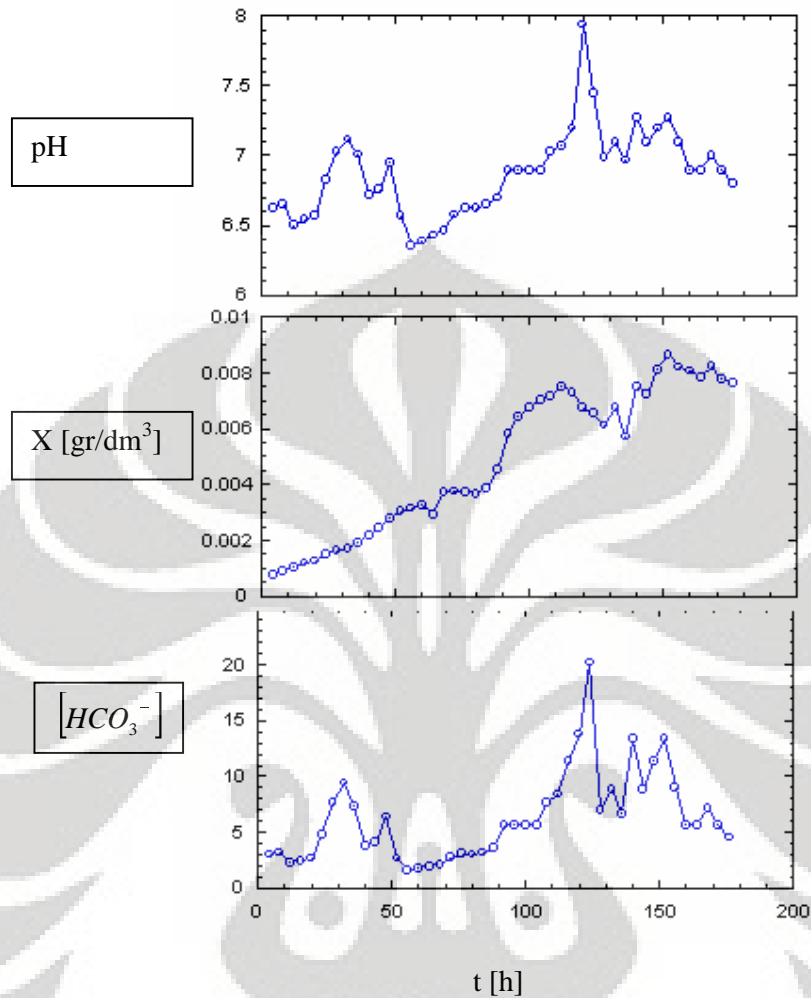
T = temperatur operasi (K)

T_0 = temperatur standar (K)

Konstanta-konstanta aktivitas gas CO_2 :

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

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

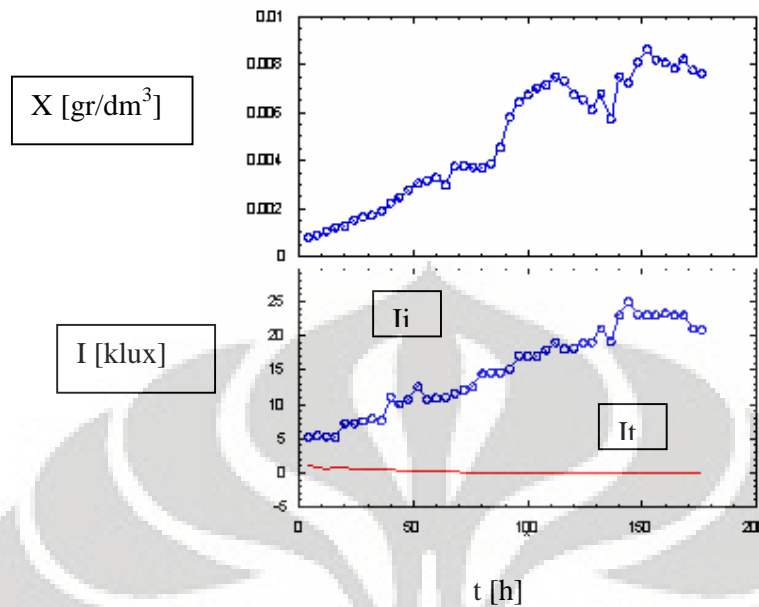


Gambar 4. 6 Nilai pH dan $[\text{HCO}_3^-]$ selama masa alterasi pencahayaan

4.8. Perhitungan E_x dan η_{bp}

Dari data I_0 dan I_b yang diambil dalam penelitian maka dapat dihitung nilai I_i dan I_t pada alterasi pencahayaan dan pencahayaan kontinyu, yang kemudian digunakan untuk menghitung energi yang digunakan untuk produksi biomassa (E_x) dan efisiensi konversi energi cahaya untuk produksi biomassa (η_{bp}).

Perhitungan E_x dan η_{bp} dapat dilihat pada lampiran.


 Gambar 4. 7 Grafik Plot I_t dan I_i selama masa alterasi

Dari perhitungan didapatkan nilai E_x adalah sebesar 1.256 J/g dan η_{bp} adalah 0.9 %. Kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan hasil pencahayaan kontinyu yang menggunakan kurva basis pertumbuhan.

Tabel 4. 1 Perbandingan penggunaan energi dan efisiensi dari masing-masing reaktor

Sistem reaktor	E_x	E	η
Alterasi	1.256 J/mg	13.59 J/mg	0.9 %
Kontinu	1.519J/mg	43.3 J/mg	0.86 %

Ternyata nilai E_x yang merupakan energi untuk memproduksi biomassa yang didapatkan pada penelitian ini lebih rendah daripada nilai E_x pada sistem pencahayaan kontinyu. Salah satu penyebab hal ini terjadi adalah karena produksi biomassa pada penelitian ini lebih besar daripada penelitian yang menggunakan sistem pencahayaan kontinyu.

Konversi energi cahaya untuk produksi biomassa (η_{bp}) pada penelitian ini lebih besar dibanding η_{bp} pada pencahayaan kontinyu. Hal ini disebabkan karena pada pencahayaan kontinyu energi yang tersedia pada kultur untuk meningkatkan



intensitas cahaya yang dilakukan selama masa kultivasi lebih kecil dibandingkan dengan pencahayaan alterasi yang menggunakan kurva basis fiksasi karbondioksida.



BAB V

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini dengan mengkultivasi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada fotobioreaktor kolom gelembung dalam medium *Beneck*, temperatur 29⁰C, tekanan 1 atm, sumber pencahayaan lampu Phillip 20 W/12 V/50 Hz, CO₂ input 5 %, LPG 0,3 %, dan volume 18 dm³ adalah:

1. Penelitian ini menghasilkan ketahanan sel *Chlorella sp.* yang lebih baik dibandingkan dengan pencahayaan kontinyu. Hal ini bisa dilihat dari waktu hidup sel, dengan waktu hidup untuk pencahayaan alterasi selama 176 jam dan pencahayaan kontinyu selama 128 jam.
2. Penelitian ini menghasilkan biomassa yang lebih besar dibandingkan dengan pencahayaan kontinyu, yaitu sebesar 9 mg/dm³.
3. Penelitian ini menghasilkan q_{CO_2} rata-rata 7,07 h⁻¹, hampir dua kali lebih tinggi jika dibandingkan dengan pencahayaan kontinyu dengan kurva basis pertumbuhan, yaitu 3,4 h⁻¹.
4. Sebaiknya dilakukan pengujian untuk mencari intensitas cahaya yang optimum untuk pertumbuhan sel *Chlorella sp.* apabila dialiri model gas hasil pembakaran LPG. Penelitian ini hanya menggunakan intensitas optimum untuk fiksasi karbondioksida yang hanya dialiri CO₂ murni bukan intensitas optimum fiksasi untuk kultivasi yang dialiri model gas hasil pembakaran LPG.

DAFTAR PUSTAKA

- Andika, Sang Made Kresna. 2004. Skripsi “*Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella vulgaris Buitenzorg dengan Alterasi Pencahayaan dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung*”. Departemen Gas dan Petrokimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- Anonim. *Mikroalga Culturing*. <http://www.nhm.ac.uk>. April 2007
- _____. *Potensi Chlorella*. <http://www.chlorellafactor.com>. Mei 2007
- _____. *Mikroalga*. <http://www.chlorellafactor.com>. Mei 2007
- _____. *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>
- 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 Mikroalga Chlorella vulgaris Buitenzorg*, Departemen Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2005.
- 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.
- Steenblock, D., 1987. *Chlorella Natural Medicinal Algae*. Aging Research Institute, El Toro, CA.
- Suhartono et al. *Potensi Bioteknologi*. Erlangga. Jakarta. 2000
- Suriawiria, Unus, *Chlorella Untuk Kesehatan dan Kebugaran*, Papas Sinar Sinanti, 2005..
- Widiastuti, Paramita, *Peningkatan Fiksasi Karbondioksida oleh Chlorella Vulgaris Buitenzorg dengan Alterasi Pencahayaan dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung*, Departemen Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2005.
- Wijanarko, A., K. Othaguchi, *Alteration of Light Illumination During Microbial Growth : An Enhancement Effort of Biomass Production and Carbon Dioxide Fixation of Psychrophylic Cyanobacterium Anabaena cylindrica IAM MI*, Department of Chemical Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2000.
- Wijanarko, A., dkk., *Reactor in Series Approximation, An Enhancement Effort of CO₂ Removal and Biomass Production by Anabaena cylindrica*, Department of Chemical Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2003.
- Wirosaputro, Sukiman, *Chlorella Untuk Kesehatan Global*, Gadjah Mada University Press, 2002.

LAMPIRAN A

KURVA KALIBRASI DAN TABEL KONVERSI OD₆₈₀, N SEL, DAN X

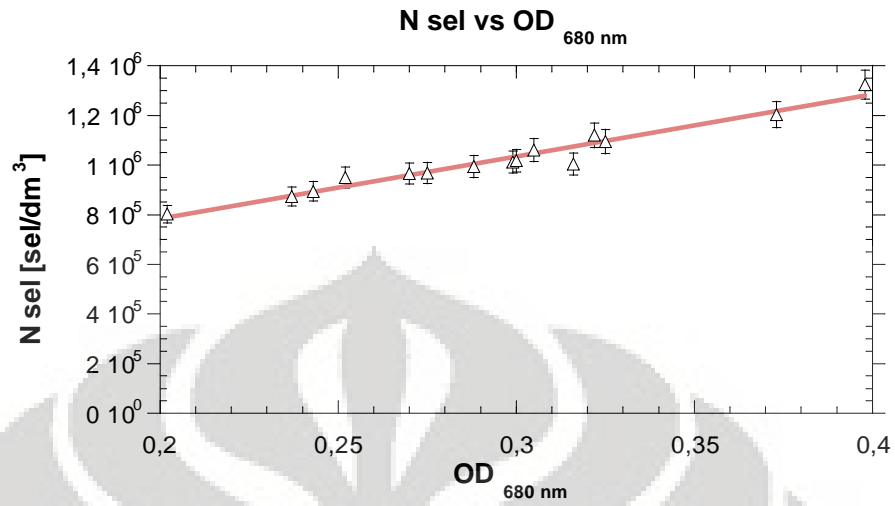
A.1 Kurva Kalibrasi OD₆₈₀ vs N_{sel} dan OD₆₈₀ vs X.

Prosedur pembuatan kurva kalibrasi OD₆₈₀ vs N sel dan OD₆₈₀ vs X dijelaskan pada subbab III.4.3. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut :

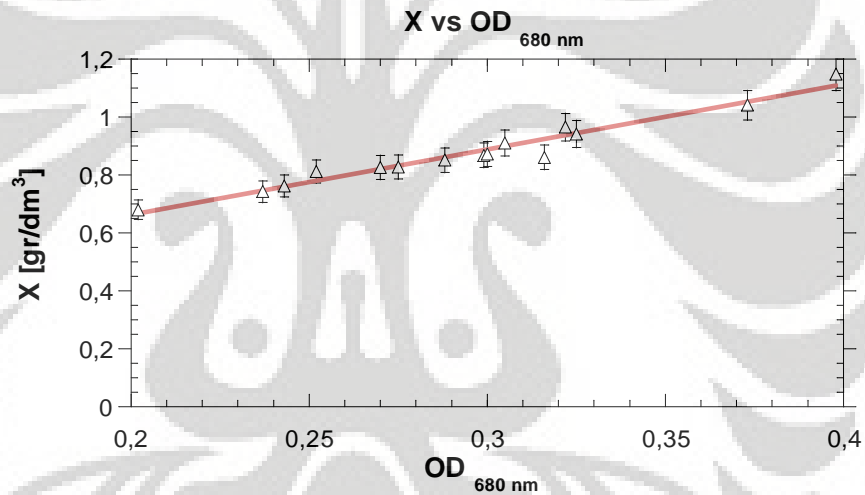
OD	N sel	X
0,202	802.500	0,680
0,237	873.000	0,743
0,243	893.750	0,762
0,252	950.000	0,812
0,270	965.000	0,826
0,275	967.500	0,828
0,288	993.750	0,852
0,299	1.012.000	0,868
0,300	1.017.500	0,873
0,305	1.060.000	0,911
0,316	1.003.750	0,861
0,322	1.120.000	0,965
0,325	1.093.750	0,942
0,373	1.203.000	1,040
0,398	1.323.750	1,149

Lalu titik-titik tersebut diplot di dalam suatu grafik. Selanjutnya dihitung persamaan linear yang menunjukkan hubungan antara OD₆₈₀ dan N sel serta OD₆₈₀ dengan X dengan menggunakan metode kuadrat terkecil sehingga didapatkan grafik dan persamaan sebagai berikut :

$$y = 2,8362e+05 + 2,5028e+06x \quad R = 0,97766$$



$$y = 0,21216 + 2,2544x \quad R = 0,97788$$



A.2 Tabel Konversi OD₆₈₀ vs N_{sel} dan OD₆₈₀ vs X.

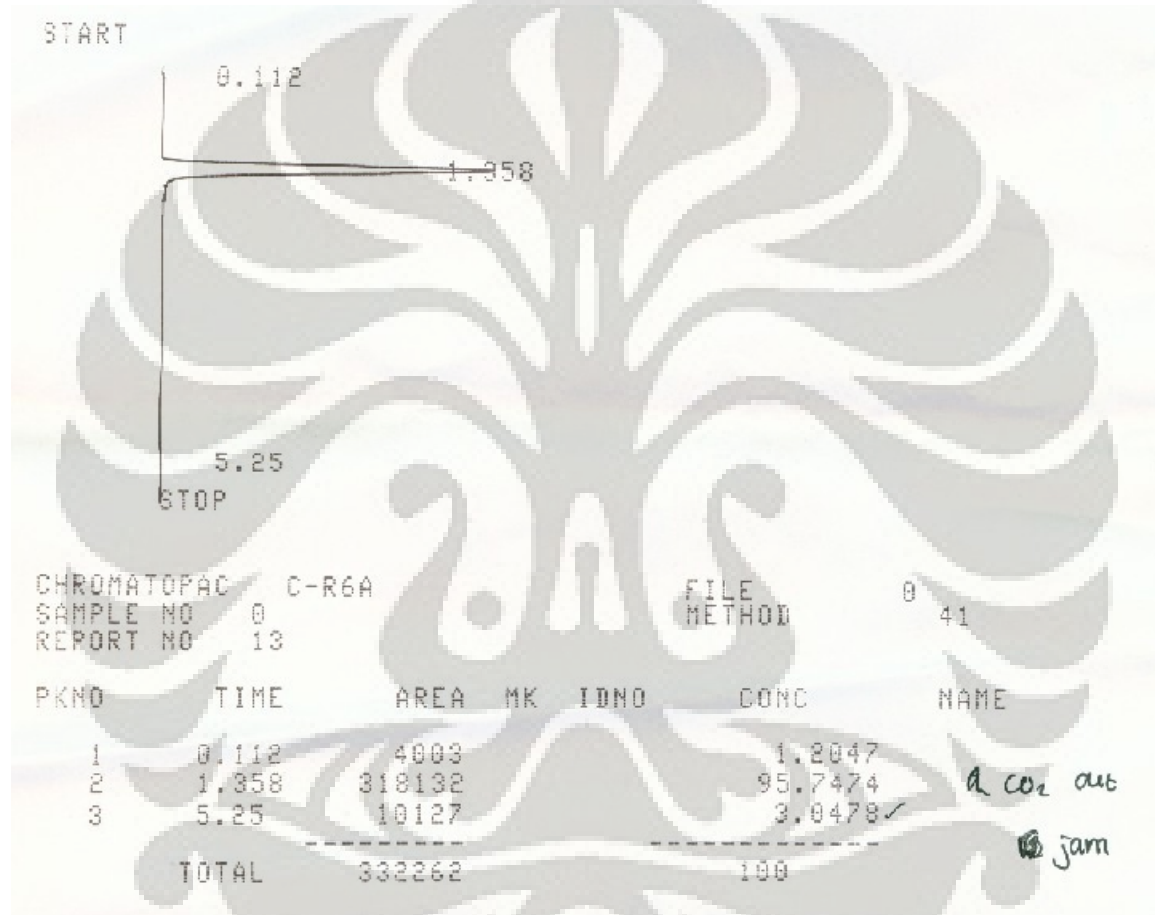
OD ₆₈₀	N sel (sel/cm ³)	X (g/dm ³)	OD ₆₈₀	N sel (sel/cm ³)	X (g/dm ³)
0,200	883.620	0,6632	0,211	916.620	0,6880
0,201	886.620	0,6655	0,212	919.620	0,6902
0,202	889.620	0,6677	0,213	922.620	0,6925
0,203	892.620	0,6700	0,214	925.620	0,6947
0,204	895.620	0,6722	0,215	928.620	0,6970
0,205	898.620	0,6745	0,216	931.620	0,6992
0,206	901.620	0,6767	0,217	934.620	0,7015
0,207	904.620	0,6790	0,218	937.620	0,7037
0,208	907.620	0,6812	0,219	940.620	0,7060
0,209	910.620	0,6835	0,220	943.620	0,7083

0,210	913.620	0,6857	0,221	946.620	0,7105
OD₆₈₀	N sel (sel/cm³)	X (g/dm³)	OD₆₈₀	N sel (sel/cm³)	X (g/dm³)
0,222	949.620	0,7128	0,259	1.060.620	0,7961
0,223	952.620	0,7150	0,260	1.063.620	0,7984
0,224	955.620	0,7173	0,261	1.066.620	0,8006
0,225	958.620	0,7195	0,262	1.069.620	0,8029
0,226	961.620	0,7218	0,263	1.072.620	0,8051
0,227	964.620	0,7240	0,264	1.075.620	0,8074
0,228	967.620	0,7263	0,265	1.078.620	0,8096
0,229	970.620	0,7285	0,266	1.081.620	0,8119
0,230	973.620	0,7308	0,267	1.084.620	0,8141
0,231	976.620	0,7330	0,268	1.087.620	0,8164
0,232	979.620	0,7353	0,269	1.090.620	0,8186
0,233	982.620	0,7375	0,270	1.093.620	0,8209
0,234	985.620	0,7398	0,271	1.096.620	0,8231
0,235	988.620	0,7420	0,272	1.099.620	0,8254
0,236	991.620	0,7443	0,273	1.102.620	0,8276
0,237	994.620	0,7465	0,274	1.105.620	0,8299
0,238	997.620	0,7488	0,275	1.108.620	0,8321
0,239	1.000.620	0,7510	0,276	1.111.620	0,8344
0,240	1.003.620	0,7533	0,277	1.114.620	0,8366
0,241	1.006.620	0,7556	0,278	1.117.620	0,8389
0,242	1.009.620	0,7578	0,279	1.120.620	0,8411
0,243	1.012.620	0,7601	0,280	1.123.620	0,8434
0,244	1.015.620	0,7623	0,281	1.126.620	0,8457
0,245	1.018.620	0,7646	0,282	1.129.620	0,8479
0,246	1.021.620	0,7668	0,283	1.132.620	0,8502
0,247	1.024.620	0,7691	0,284	1.135.620	0,8524
0,248	1.027.620	0,7713	0,285	1.138.620	0,8547
0,249	1.030.620	0,7736	0,286	1.141.620	0,8569
0,250	1.033.620	0,7758	0,287	1.144.620	0,8592
0,251	1.036.620	0,7781	0,288	1.147.620	0,8614
0,252	1.039.620	0,7803	0,289	1.150.620	0,8637
0,253	1.042.620	0,7826	0,290	1.153.620	0,8659
0,254	1.045.620	0,7848	0,291	1.156.620	0,8682
0,255	1.048.620	0,7871	0,292	1.159.620	0,8704
0,256	1.051.620	0,7893	0,293	1.162.620	0,8727
0,257	1.054.620	0,7916	0,294	1.165.620	0,8749
0,258	1.057.620	0,7938	0,295	1.168.620	0,8772
0,259	1.060.620	0,7961	0,296	1.171.620	0,8794
0,260	1.063.620	0,7984	0,297	1.174.620	0,8817
0,261	1.066.620	0,8006	0,298	1.177.620	0,8839
0,251	1.036.620	0,7781	0,299	1.180.620	0,8862
0,252	1.039.620	0,7803	0,300	1.183.620	0,8885
0,253	1.042.620	0,7826	0,301	1.186.620	0,8907
0,254	1.045.620	0,7848	0,302	1.189.620	0,8930
0,255	1.048.620	0,7871	0,303	1.192.620	0,8952
0,256	1.051.620	0,7893	0,304	1.195.620	0,8975

0,257	1.054.620	0,7916	0,305	1.198.620	0,8997
0,258	1.057.620	0,7938	0,306	1.201.620	0,9020
OD₆₈₀	N sel (sel/cm³)	X (g/dm³)	OD₆₈₀	N sel (sel/cm³)	X (g/dm³)
0,307	1.204.620	0,9042	0,349	1.330.620	0,9988
0,308	1.207.620	0,9065	0,350	1.333.620	1,0011
0,309	1.210.620	0,9087	0,351	1.336.620	1,0033
0,310	1.213.620	0,9110	0,352	1.339.620	1,0056
0,311	1.216.620	0,9132	0,353	1.342.620	1,0078
0,312	1.219.620	0,9155	0,354	1.345.620	1,0101
0,313	1.222.620	0,9177	0,355	1.348.620	1,0123
0,314	1.225.620	0,9200	0,356	1.351.620	1,0146
0,315	1.228.620	0,9222	0,357	1.354.620	1,0168
0,316	1.231.620	0,9245	0,358	1.357.620	1,0191
0,317	1.234.620	0,9267	0,359	1.360.620	1,0213
0,318	1.237.620	0,9290	0,360	1.363.620	1,0236
0,319	1.240.620	0,9312	0,361	1.366.620	1,0259
0,320	1.243.620	0,9335	0,362	1.369.620	1,0281
0,321	1.246.620	0,9358	0,363	1.372.620	1,0304
0,322	1.249.620	0,9380	0,364	1.375.620	1,0326
0,323	1.252.620	0,9403	0,365	1.378.620	1,0349
0,324	1.255.620	0,9425	0,366	1.381.620	1,0371
0,325	1.258.620	0,9448	0,367	1.384.620	1,0394
0,326	1.261.620	0,9470	0,368	1.387.620	1,0416
0,327	1.264.620	0,9493	0,369	1.390.620	1,0439
0,328	1.267.620	0,9515	0,370	1.393.620	1,0461
0,329	1.270.620	0,9538	0,371	1.396.620	1,0484
0,330	1.273.620	0,9560	0,372	1.399.620	1,0506
0,331	1.276.620	0,9583	0,373	1.402.620	1,0529
0,332	1.279.620	0,9605	0,374	1.405.620	1,0551
0,333	1.282.620	0,9628	0,375	1.408.620	1,0574
0,334	1.285.620	0,9650	0,376	1.411.620	1,0596
0,335	1.288.620	0,9673	0,377	1.414.620	1,0619
0,336	1.291.620	0,9695	0,378	1.417.620	1,0641
0,337	1.294.620	0,9718	0,379	1.420.620	1,0664
0,338	1.297.620	0,9740	0,380	1.423.620	1,0687
0,339	1.300.620	0,9763	0,381	1.426.620	1,0709
0,340	1.303.620	0,9786	0,382	1.429.620	1,0732
0,341	1.306.620	0,9808	0,383	1.432.620	1,0754
0,342	1.309.620	0,9831	0,384	1.435.620	1,0777
0,343	1.312.620	0,9853	0,385	1.438.620	1,0799
0,344	1.315.620	0,9876	0,386	1.441.620	1,0822
0,345	1.318.620	0,9898	0,387	1.444.620	1,0844
0,346	1.321.620	0,9921	0,399	1.480.620	1,1114
0,347	1.324.620	0,9943	0,400	1.483.620	1,1137
0,348	1.327.620	0,9966			

LAMPIRAN B

CONTOH HASIL ANALISIS KONSENTRASI CO₂ MENGUNAKAN GC - TCD



LAMPIRAN C

DATA HASIL PENELITIAN

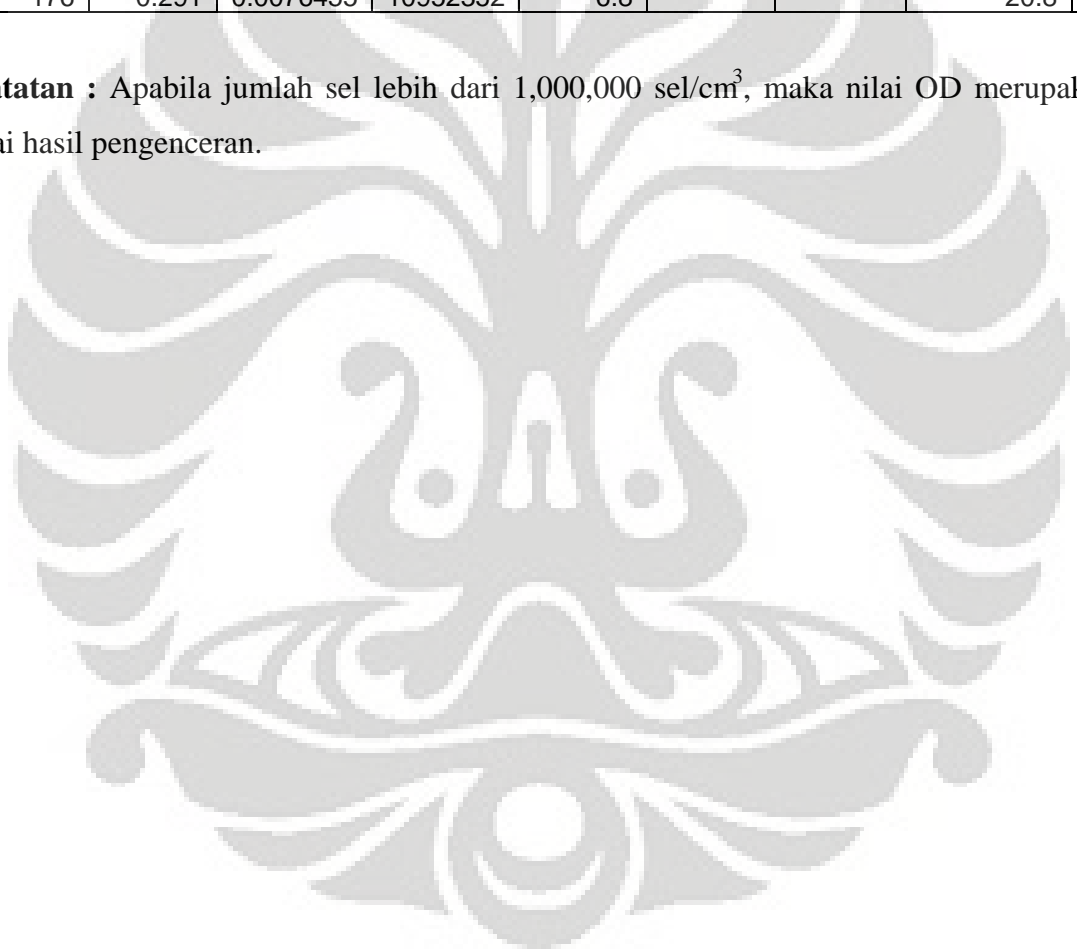
A. DATA HASIL PERCOBAAN DAN PERHITUNGAN

1. Komposisi gas input CO₂ 5% v/v, LPG 0.3 %, 94.7%v/v dengan alterasi pencahayaan

t	OD	X (gr/dm ³)	Nsel	pH	yco2in	yco2out	Imaks (Klux)	I _{back} (Klux)
0	0.21	0.000683	957510	6.62			5	0.86
4	0.24	0.000784	1099080	6.62	5.3	2.3	5.17	0.67
8	0.275	0.0009018	1264245	6.65			5.43	0.62
12	0.32	0.0010533	1476600	6.5			5.3	0.48
16	0.365	0.0012048	1688955	6.54	5.5	3.8	5.2	0.576
20	0.386	0.0012755	1788054	6.57			7.2	0.526
24	0.16	0.0015178	1476600	6.83			7.2	0.34
28	0.183	0.0016188	1693674	7.03	5.5	4	7.5	0.34
32	0.274	0.0017198	2552532	7.12			7.9	0.32
36	0.348	0.001905	3250944	7.01	5.5	4.3	7.6	0.28
40	0.335	0.0022214	3128250	6.72			11	0.28
44	0.273	0.0024604	3831381	6.76			10	0.25
48	0.287	0.0027802	4029579	6.95			10.7	0.22
52	0.29	0.0030427	4072050	6.57			12.6	0.23
56	0.32	0.0031599	4496760	6.36			10.7	0.14
60	0.33	0.0032609	4638330	6.39	5.3	4.3	10.9	0.12
64	0.3	0.0029579	4213620	6.43			11	0.11
68	0.286	0.0037554	5365056	6.47			11.6	0.091
72	0.287	0.0037689	5383932	6.58			12	0.082
76	0.284	0.0037285	5327304	6.63			12.6	0.07
80	0.281	0.0036881	5270676	6.62	5.5	4.6	14.4	0.065
84	0.295	0.0038766	5534940	6.65			14.6	0.056
88	0.344	0.0045364	6459864	6.7			14.7	0.031
92	0.352	0.0058051	8271960	6.9	5.2	4.3	15.1	0.031
96	0.326	0.006441	9196884	6.9			17.1	0.03
100	0.341	0.006744	9621594	6.9			17	0.025
104	0.356	0.0070469	10046304	6.9			17	0.02
108	0.362	0.0071681	10216188	7.03			17.9	0.019
112	0.379	0.0075114	10697526	7.07			19	0.018
116	0.37	0.0073297	10442700	7.2			18	0.017
120	0.341	0.006744	9621594	7.94			18.2	0.014

124	0.331	0.006542	9338454	7.45	5.3	4.5	18.9	0.013
128	0.31	0.0061178	8743860	6.99			19	0.012
132	0.343	0.0067843	9678222	7.09			21	0.01
136	0.291	0.0057341	8205894	6.97			19.2	0.008
140	0.379	0.0075114	10697526	7.27			23	0.007
144	0.365	0.0072287	10301130	7.09	5.5	4.7	25	0.006
148	0.308	0.0081033	11594136	7.2			23.1	0.005
152	0.328	0.0086419	12349176	7.27			23	0.003
156	0.312	0.008211	11745144	7.1			23	0.001
160	0.307	0.0080763	11556384	6.9			23.3	0.001
164	0.298	0.007834	11216616	6.9			23	0.001
168	0.313	0.0082379	11782896	7	5.4	4.7	23	0.001
172	0.296	0.0077801	11141112	6.9			21	0.001
176	0.291	0.0076455	10952352	6.8			20.8	0.001

Catatan : Apabila jumlah sel lebih dari 1,000,000 sel/cm³, maka nilai OD merupakan nilai hasil pengenceran.



LAMPIRAN D

PENGOLAHAN DATA pH

D.1. Contoh Pengolahan Data.

Seperti telah dituliskan pada hasil pembahasan nilai dari pH digunakan untuk menentukan $[HCO_3^-]$ dengan menggunakan persamaan :

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

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

$$y_{CO_2} = 10 \% = 0,10$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Contoh : Untuk alterasi pencahayaan pada jam ke-0 pada reaktor 1, nilai pH terukur adalah 5,37. Dengan memasukkan nilai tersebut ke dalam persamaan didapatkan :

$$[HCO_3^-] = \frac{1,43972 \cdot 10^{-6}}{10^{-5,37}} = 3,38 \cdot 10^{-4} \text{ M} = 0,338 \text{ mM}$$

Waktu (jam)	pH	[HCO ₃ ⁻]
0	6.62	2.986
4	6.62	2.986
8	6.65	3.200
12	6.5	2.265
16	6.54	2.484
20	6.57	2.661
24	6.83	4.843
28	7.03	7.675
32	7.12	9.443
36	7.01	7.330
40	6.72	3.759
44	6.76	4.122
48	6.95	6.384
52	6.57	2.661
56	6.36	1.641
60	6.39	1.758
64	6.43	1.928
68	6.47	2.114
72	6.58	2.723
76	6.63	3.056
80	6.62	2.986
84	6.65	3.200
88	6.7	3.590
92	6.9	5.690
96	6.9	5.690
100	6.9	5.690
104	6.9	5.690
108	7.03	7.675
112	7.07	8.416
116	7.2	11.353
120	7.94	62.387
124	7.45	20.188
128	6.99	7.000
132	7.09	8.812
136	6.97	6.685
140	7.27	13.338
144	7.09	8.812
148	7.2	11.353
152	7.27	13.338
156	7.1	9.018
160	6.9	5.690
164	6.9	5.690
168	7	7.163
172	6.9	5.690

LAMPIRAN E

CONTOH DAN HASIL PERHITUNGAN CTR DAN q_{CO_2}

E.1. HASIL PERHITUNGAN CTR, q_{CO_2}

E.1.1. Contoh Perhitungan CTR (*Carbondioxide Transfer Rate*)

Contoh perhitungan konsentrasi bikarbonat CTR pada penelitian ini:

Rumus yang digunakan :

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

$P = 1 \text{ atm (ambient pressure)}$

$T = 29^\circ\text{C} = 302^\circ\text{K}$

$U_G = 0.4 \text{ dm/h}$

$A = 3.85 \text{ dm}^2$

$V_{med} = 18 \text{ dm}^3$

Dalam penelitian ini :

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

$$\begin{aligned} \alpha_{CO_2} &= \frac{0.4 \text{ dm/h} \times 3.85 \text{ dm}^2 \times 44 \text{ g/mol} \times 1}{18 \text{ dm}^3 \times 0.082 \text{ L.atm/mol}^0 \cdot \text{K} \times 302} \\ &= 0.152 \text{ g/dm}^3 \cdot \text{h} \end{aligned}$$

CTR pada alterasi pencahayaan jam ke-4 didapatkan dengan memasukkan nilai Δy_{CO_2} pada alterasi pencahayaan jam ke-4 yaitu 3 ke dalam persamaan di atas, sebagai berikut :

$$CTR_{t=4} = 3 \times 0.152 = 0.456 \text{ g/dm}^3$$

E.1.2. Contoh Perhitungan q_{CO_2}

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

Rumus yang digunakan :

$$q_{CO_2} = \frac{\Delta y_{CO_2} \cdot \alpha_{CO_2}}{X}$$

q_{co_2} pada alterasi pencahayaan jam ke-4 didapatkan dengan memasukkan nilai Δy_{CO_2} dan X pada alterasi pencahayaan jam ke-4, yaitu 3 dan $0.00078401 \text{ g/dm}^3$ ke dalam persamaan di atas, sebagai berikut :

$$q_{\text{co}_2} = \frac{3.0.152 \text{ g} / \text{dm}^3 \cdot \text{h}}{0.00078401 \text{ g} / \text{dm}^3} = 581.625 \text{ h}^{-1}$$

T [h]	pH	yco2in	yco2out	Δy_{co_2}	Alpha	CTR	qco2	[HCO3]
0	6.62				0.152			
4	6.62	5.3	2.3	3	0.152	0.456	581.62	
8	6.65				0.152			
12	6.5				0.152			
16	6.54	5.5	3.8	1.7	0.152	0.258	214.14	
20	6.57				0.152			
24	6.83				0.152			
28	7.03	5.5	4	1.5	0.152	0.228	140.84	
32	7.12				0.152			
36	7.01	5.5	4.3	1.2	0.152	0.182	95.54	
40	6.72				0.152			
44	6.76				0.152			
48	6.95				0.152			
52	6.57				0.152			
56	6.36				0.152			
60	6.39	5.3	4.3	1	0.152	0.152	46.61	
64	6.43				0.152			
68	6.47				0.152			
72	6.58				0.152			
76	6.63				0.152			
80	6.62	5.5	4.6	0.9	0.152	0.137	37.15	
84	6.65				0.152			
88	6.7				0.152			
92	6.9	5.2	4.3	0.9	0.152	0.137	23.59	
96	6.9				0.152			
100	6.9				0.152			
104	6.9				0.152			
108	7.03				0.152			
112	7.07				0.152			
116	7.2				0.152			
120	7.94				0.152			
124	7.45	5.3	4.5	0.8	0.152	0.122	18.65	
128	6.99				0.152			
132	7.09				0.152			
136	6.97				0.152			
140	7.27				0.152			
144	7.09	5.5	4.7	0.8	0.152	0.122	16.88	
148	7.2				0.152			
152	7.27				0.152			

156	7.1				0.152			
160	6.9				0.152			
164	6.9				0.152			
168	7	5.4	4.7	0.7	0.152	0.106	12.87	
172	6.9				0.152			
176	6.8				0.152			

Keterangan : $CTR = \text{g/dm}^3 \cdot \text{h}$
 $q_{\text{CO}_2} = \text{h}^{-1}$

$[\text{HCO}_3^-] = \text{mM}$

$\alpha_{\text{CO}_2} = 0.152 \text{ g/dm}^3 \cdot \text{H}$

