



UNIVERSITAS INDONESIA

**OPTIMASI PRODUKSI BIOMASSA DAN KEMAMPUAN FIKSASI CO₂
CHLORELLA VULGARIS MENGGUNAKAN PERPADUAN FILTRASI
DAN ALTERASI DENGAN MEMBRAN SERAT BERONGGA SEBAGAI
AERATOR**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

MAUDHI SEPTIAN

040506044X

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

DEPOK

JANUARI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Maudhi Septian

NPM : 0606076702

Tanda Tangan :

Tanggal : 6 Januari 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Maudhi Septian
NPM : 040506044X
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Optimasi Produksi Biomassa dan Kemampuan Fiksasi CO₂ *Chlorella Vulgaris* Menggunakan Perpaduan Filtrasi dan Alterasi Dengan Membran Serat Berongga Sebagai Aerator

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Ir. Dianursanti, MT. ()

Pembimbing 2 : Ir. Sutrasno K, M.Sc, PhD ()

Penguji : Ir. Rita Arbianti, M.Si ()

Penguji : Dr.Eng. Muhamad Sahlan S.si, M.Eng ()

Penguji : Elsa K. Mulia, PhD ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan YME, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi dengan judul Optimasi Produksi Biomassa dan Kemampuan Fiksasi CO₂ *Chlorella vulgaris* Menggunakan Perpaduan Filtrasi dan Alterasi dengan Membran Serat Berongga Sebagai Aerator dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ibu Ir. Dianursanti, M.T selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA., selaku kepala Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- (3) Bapak Ir. Sutrasno Kartohardjono, M.Sc.,Ph.D. selaku pembimbing akademis dan dosen pembimbing yang telah membantu saya dalam perkuliahan dan penyusunan skripsi ini.
- (4) Orangtua, adik dan nani yang telah memberikan dukungan dan doa tanpa henti
- (5) Para laboran, Mbak tiwi, Professor Ijal, Kang Jajat, Mas Eko, Pak Masturo, Mas Taufik, dan para karyawan DTK atas bantuannya selama ini

Saya menyadari bahwa makalah skripsi ini masih jauh dari sempurna dengan segala keterbatasan yang ada. Oleh karena itu, semua saran dan kritik yang membangun sangat saya harapkan.

Akhir kata, semoga makalah skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu

Depok, 6 Januari 2011

Penulis

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

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

Nama : Maudhi Septian

NPM : 040506044X

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

OPTIMASI PRODUKSI BIOMASSA DAN KEMAMPUAN FIKSASI CO₂ CHLORELLA VULGARIS MENGGUNAKAN PERPADUAN FILTRASI DAN ALTERASI DENGAN MEMBRAN SERAT BERONGGA SEBAGAI AERATOR

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 6 Januari 2011

Yang Menyatakan

(Maudhi Septian)

ABSTRAK

Nama : Maudhi septian

Program studi : Teknik Kimia

Judul : Optimasi produksi Biomassa dan Kemampuan Fiksasi CO₂ *Chlorella vulgaris* Menggunakan Perpaduan Filtrasi dan Alterasi dengan Membran Serat Berongga sebagai Aerator

Penggunaan membran sebagai aerator sangat diperlukan untuk mengurangi turbulensi dan shear stress dalam pengembangbiakan *Chlorella vulgaris* dalam fotobioreaktor. Dengan penggunaan membran laju aerasi dapat dikurangi dan CO₂ dapat tercampur lebih merata. Penggunaan filtrasi dan alterasi yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi pertumbuhan dan kemampuan fiksasi CO₂ *Chlorella vulgaris*. Dalam penelitian ini, kultivasi dilakukan pada kondisi: T-29°C. P-1 atm. CO₂-5%: Medium Benneck: Fotobioreaktor Kolom Gelembung berukuran 18 dm³: dan sumber cahaya lampu Phillip Halogen 20W/12V/50Hz. Dengan filtrasi dan alterasi terbukti dapat meningkatkan produksi biomassa sebesar 30% dibandingkan bila hanya menggunakan membran dan dapat meningkatkan fiksasi CO₂ menjadi 74,29% lebih besar dari penggunaan membran yang hanya 24,95%.

Kata Kunci :

Filtrasi, *Chlorella vulgaris*, Fotobioreaktor, Alterasi

ABSTRACT

Name : Maudhi Septian

Study Program : Chemical Engineering

Title : Optimization of Biomass Productio and CO₂ Fixation ability of *Chlorella Vulgaris* using a combination of Filtration and Alteration with Porous membran as Aerator

The use of membranes as an aerator is required to reduce turbulence and shear stress in breeding *Chlorella vulgaris* in photobioreactor. With the use of membrane, aeration rate can be reduced and the CO₂ can be mixed more evenly. The aims of using filtration and alterations in this research is to optimize growth and CO₂ fixation ability of *Chlorella vulgaris*. In this study, cultivation carried out under conditions: T-29 °C, P-1 atm, CO₂-5%: Medium Benneck: Bubble column photobioreactor volume is 18 dm³:and Phillips Halogen Lamp 20W/12V/50Hz as a light source. With filtration and alteration shown to increase biomass production by 30% compared to when only using membrane and can increase the fixation of CO₂ to be 74.29% larger than the use of a membrane that only 24.95%.

Keyword :

Filtration, Alteration, Photobioreactor, *Chlorella vulgaris*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
1.6 Sistematika Penulisan	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	9
2.1.1 Taksonomi <i>Chlorella vulgaris</i>	10
2.1.1 Morfologi <i>Chlorella vulgaris</i>	11
2.2 Mode Kultur.....	12
2.2.1 Kultur Batch.....	12
2.2.1.1 Fase Lag	12
2.2.1.2 Fase Logaritmik	13
2.2.1.3 Fase Penurunan Laju Pertumbuhan	13
2.2.1.4 Fase Stasioner	13
2.2.1.5 Fase Kematian.....	14
2.1.2 Kultur Kontinu	14
2.1.2 Kultur Semikontinu.....	15

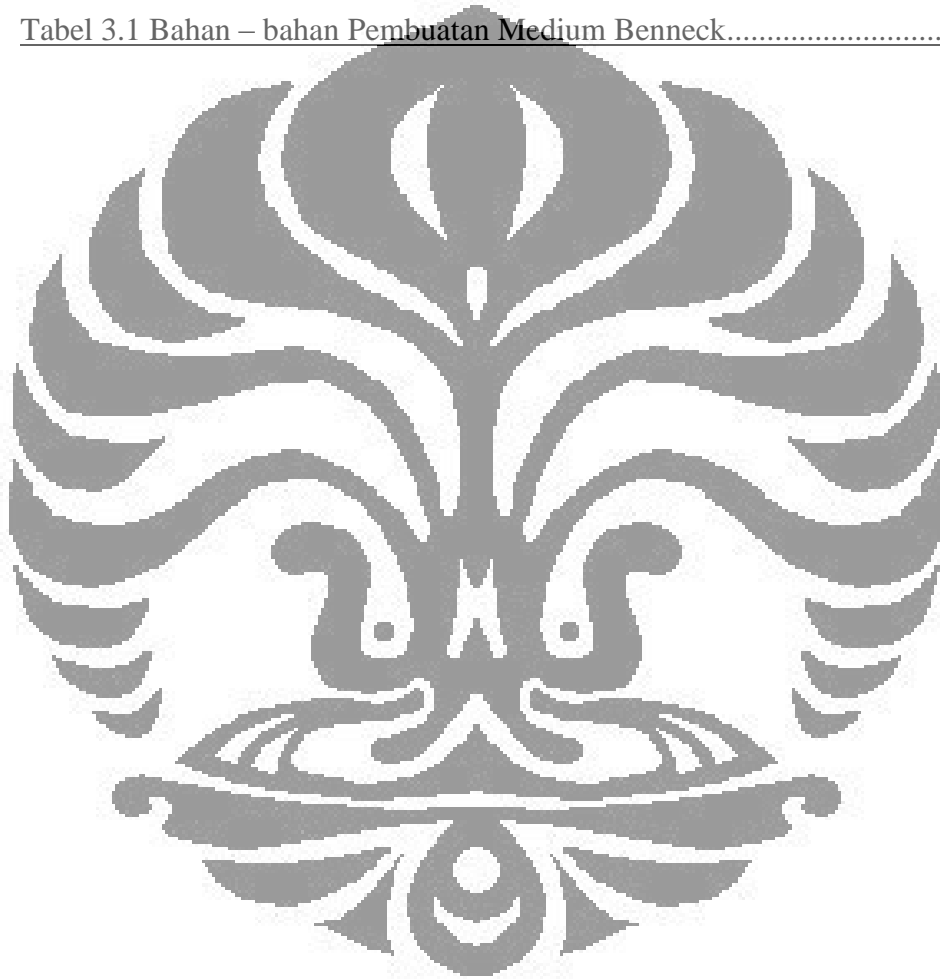
2.3 Faktor –Faktor Yang Mempengaruhi Pertumbuhan	15
2.4 Kandungan Biomassa <i>Chlorella vulgaris</i>	19
2.5 Manfaat Chlorella di Bidang Kesehatan	20
2.6 Fotosintesis.....	22
2.6.1 Proses Fotosintesis	23
2.6.1.1 Reaksi Terang	24
2.6.1.2 Reaksi Gelap	26
2.6.1.3 Siklus Calvin - Benson.....	27
2.6.2 Fotosintesis <i>Chlorella</i>	28
2.6.3 Faktor Yang Mempengaruhi Fotosintesis	29
2.7 Sistem Kultivasi Mikroalga	30
2.7.1 Kultivasi Sistem Terbuka.....	30
2.7.2 Kultivasi Sistem Tertutup.....	31
2.7.2.1 Karakteristik Fotobioreaktor.....	31
2.7.2.2 Fotobioreaktor Plat Gelembung.....	33
2.8 Harvesting (Pemanenan).....	34
2.8.1 Filtrasi	34
2.8.2 Sentrifugasi	34
2.8.3 Flotasi.....	34
2.8.4 Flokulasi.....	34
2.9 Membran	35
2.9.2 Kelebihan dan Kekurangan Membran	36
2.9.2 Mekanisme Perpindahan Massa Pada Membran	37
2.10 Filtrasi dan Alterasi	39
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	41
3.1 Diagram Alir Penelitian	41
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	42
3.3 Variabel Penelitian	43
3.1.1 Variabel Bebas	43
3.1.2 Variabel Terikat	43
3.4 Prosedur Penelitian.....	43
3.4.1 Studi Literatur	43

3.4.2 Persiapan Peralatan Medium.....	43
3.4.3 Pemiakan Kultur <i>Chlorella</i>	47
3.4.4 Penentuan Kerapatan Biomassa	47
3.4.5 Pelaksanaan Kegiatan Penelitian.....	48
3.4.6 Pengambilan Data	49
3.5 Metode Perhitungan Data Penelitian.....	49
3.5.1 Perhitungan CTR.....	49
3.5.2 Perhitungan $[HCO_3^-]$	50
3.5.3 Perhitungan berat Kering (X).....	52
3.5.4 Perhitungan Laju Fiksasi.....	52
3.6 Prosedur Penggunaan Peralatan	53
3.7 Pembuatan Kurva OD vs X.....	56
BAB 4 PEMBAHASAN.....	57
4.1 Pembahasan Umum.....	57
4.2 Data Penelitian	60
4.2.1 Pengaruh Filtrasi dan Alterasi Terhadap Biomassa	60
4.2.2 Pengaruh Filtrasi dan Alterasi Terhadap Laju Pertumbuhan	65
4.2.3 Pengaruh Filtrasi dan Alterasi Terhadap $[HCO_3^-]$	69
4.2.4 Pengaruh Filtrasi dan Alterasi Terhadap Fiksasi CO_2	72
4.2.5 Pengaruh Filtrasi dan Alterasi Terhadap q_{CO_2}	76
4.2.6 Pengaruh Filtrasi dan Alterasi Terhadap CTR	79
BAB 5 KESIMPULAN.....	82
5.1 Kesimpulan	82
5.2 Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN.....	86

DAFTAR TABEL

Halaman

<u>Tabel 1.1 Road map Penelitian</u>	<u>3</u>
<u>Tabel 2.1 Taksonomi <i>Chlorella vulgaris</i></u>	<u>10</u>
<u>Tabel 2.2 Perbandingan Komposisi Nutrisi Medium.....</u>	<u>16</u>
<u>Tabel 2.3 Komposisi Biomassa <i>Chlorella vulgaris</i></u>	<u>19</u>
<u>Tabel 3.1 Bahan – bahan Pembuatan Medium Benneck.....</u>	<u>46</u>

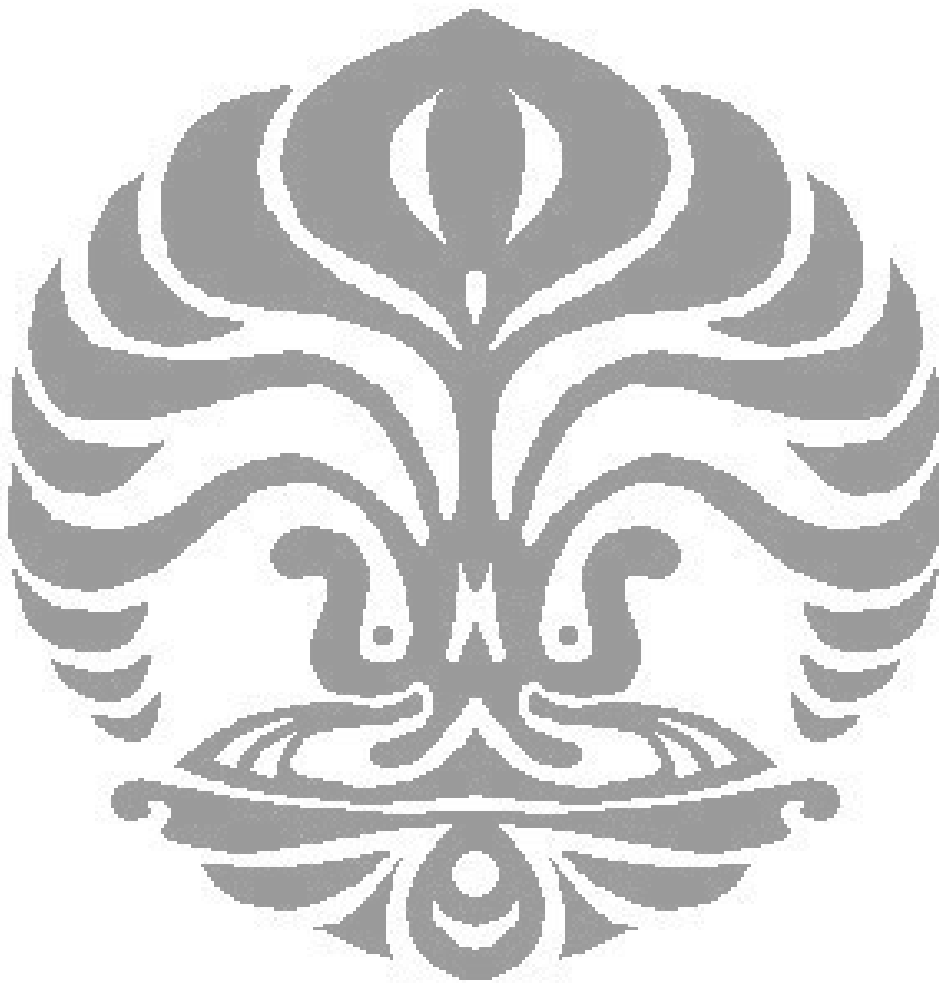


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur Sel <i>Chlorella</i>	10
Gambar 2.2 Kurva Pertumbuhan <i>Chlorella</i>	14
Gambar 2.3 Reaksi terang dari fotosintesis pada membran tilakoid.....	25
Gambar 2.4 Siklus Calvin-Benson	28
Gambar 2.5 Fotobioreaktor Terbuka untuk Pembiakan <i>Chlorella vulgaris</i>	31
Gambar 3.1 Diagram alir Penelitian.....	41
Gambar 3.2 Skema Alat Penelitian	44
Gambar 3.3 Grafik OD vs X	56
Gambar 4.1 Perbandingan X (berat kering)	62
Gambar 4.2 Perbandingan Nilai Laju Pertumbuhan (μ_x).....	67
Gambar 4.3 Perbandingan Nilai $[\text{HCO}_3^-]$	71
Gambar 4.4 Perbandingan Fiksasi CO_2	75
Gambar 4.5 Perbandingan Laju.....	78
Gambar 4.6 Perbandingan Nilai CTR	81

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Data Hasil Penelitian.....	86
Lampiran B Pengolahan Data Penelitian.....	90



BAB 1

PENDAHULUAN

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

1.1 Latar Belakang Masalah

Dewasa ini, masalah utama yang terjadi di Indonesia bahkan di dunia adalah krisis energi (Korbitz, 1999). Hal ini terlebih lagi karena penggunaan energi listrik dunia yang besar, hingga 131.000 GWh, pada 2004 (EIA, 2006), dimana 86% energi tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar fosil, yang kemudian melepas 29.000.000.000 ton CO₂ ke atmosfer (Christi, 2007). Padahal, seperti yang diketahui, kandungan bahan bakar fosil di dunia semakin menipis. Kemudian dikembangkan berbagai metode untuk mendapat sumber energi baru, yang lebih ramah lingkungan dan mudah diperbaharui. Salah satu sumbernya adalah energi yang berasal dari mikroalga. Energi tersebut dapat diperoleh dari dua macam cara, yaitu MFC (*Microbial Fuel Cell*) dan *biofuel*. *Chlorella vulgaris* adalah salah satu mikroalga yang dapat digunakan untuk MFC dan produksi *biofuel* dari minyaknya. Dalam metode MFC, dihasilkan beda potensial hingga 70 mV, arus listrik sebesar 1,0 μ A/mg berat sel kering, dan *power density* 2,7 mW/m² permukaan katode (Powell, 2009). Minyak pada *Chlorella vulgaris* dapat mencapai 32% dari berat kering sel (Christi, 2007).

Selain itu, *Chlorella vulgaris* juga dapat memfiksasi CO₂ dalam jumlah besar, dan dapat tumbuh dengan cepat dalam kondisi konsentrasi CO₂ tinggi (Chiu, 2008). Efisiensi fotosintesis pada *Chlorella vulgaris* dapat mencapai 8% dan kandungan klorofilnya sebesar 28,9 g/kg berat biomassa, paling tinggi jika dibandingkan dengan seluruh mikroalga hijau bahkan tumbuhan tingkat tinggi di dunia (Nuzulliany, 2009). Kemampuan *Chlorella vulgaris* inilah yang dimanfaatkan dalam produksi biomassa dalam jumlah yang tinggi. Biomassa dari *Chlorella vulgaris* ini juga banyak mengandung vitamin, karbohidrat dan terutama protein sehingga berpotensi sebagai suplemen makanan (Wirosaputro, 2002).

Mengingat banyaknya manfaat *Chlorella vulgaris* terutama fiksasi CO₂, perlu dilakukan studi lebih lanjut tentang pembudidayaan mikroalga ini agar didapatkan kemampuan fiksasi yang optimal dan produksi biomassa yang lebih

besar. Variabel penting yang perlu diperhatikan dalam hal ini adalah pencahayaan serta laju transfer CO₂ didalam medium. Pencahayaan berperan penting dalam peristiwa fotosintesis mikroalga. Dengan pencahayaan yang optimum, fiksasi dan produksi biomassa menjadi lebih besar. Akan tetapi, efek *self shading* yaitu peristiwa penutupan satu sel lain akibat tidak meratanya cahaya dan CO₂ yang didapatkan oleh alga mempengaruhi proses fotosintesis mikroalga. Di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia telah dilakukan berbagai penelitian yang berkaitan dengan kemampuan fiksasi CO₂ dan produksi biomassa.

Awalnya, peningkatan fiksasi CO₂ dilakukan dengan pencahayaan alterasi pada reaktor kolom gelembung namun pengaruh penambahan cahaya (alterasi) yang melebihi cahaya yang dibutuhkan alga akan merusak kloroplas yang dimiliki sel dan akhirnya mati. Selain itu, pencahayaan alterasi pada peningkatan jumlah sel menyebabkan fiksasi CO₂ (q_{CO_2}) oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg menurun (Paramitha, 2005). Hal ini disebabkan fotobioreaktor bertambah padat dengan adanya peristiwa *self shading* (penutupan cahaya sebagian sel oleh sel yang lain) sehingga cahaya yang diterima hanya pada bagian depan sel saja/tidak seluruh sel menyerap cahaya yang merupakan faktor penting untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dan nutrisi yang diperlukan *Chlorella* semakin habis sehingga kemampuan fiksasi CO₂ yang dibutuhkan untuk proses fotosintesis menurun. Selain itu penggunaan pencahayaan alterasi membutuhkan energi yang besar. Lalu, penelitian dilakukan dengan menggunakan metode kolom gelembung seri dan menghasilkan kemampuan fiksasi CO₂ yang lebih baik dibandingkan dengan kolom gelembung tunggal. Penggunaan metode reaktor kolom gelembung seri menunjukkan nilai CTR (*Carbon Transfer Rate*) rata-rata pada reaktor seri sebesar 22,1 g/dm³ jam dan q_{CO_2} rata-rata sebesar 2,43/jam yang lebih besar daripada kolom gelembung tunggal yang hanya memiliki nilai CTR sebesar 18,4 g/dm³ jam dan q_{CO_2} sebesar 1,95/jam (Muryanto, 2006). Akan tetapi, seiring bertambahnya waktu, kemampuan fiksasi CO₂ akan mengalami penurunan disebabkan laju pertumbuhan sel menurun.

Pada penelitian kali ini, metode yang akan dilakukan adalah penggunaan proses filtrasi dan alterasi pada kultivasi *Chlorella vulgaris*. Perlakuan filtrasi

pada aliran sirkulasi bertujuan untuk memerangkap sebagian biomassa dalam kultur untuk mengurangi kepadatan sedangkan alterasi pencahayaan dilakukan untuk memberikan intensitas cahaya optimum yang dibutuhkan oleh *Chlorella vulgaris* dalam melakukan proses fotosintesis.. Dengan berkurangnya kepadatan dan pengaturan pencahayaan diharapkan pengaruh *self shading* yang terjadi dalam kultur alga dalam fotobioreaktor dapat diatasi sehingga diperoleh laju pertumbuhan yang optimal.

Pada penelitian kali ini, digunakan membran sebagai media aerasi. Penggunaan membran sebagai media aerasi dilakukan untuk memperluas bidang kontak antara aliran udara yang masuk ke dalam reaktor dengan medium reaktor. Dengan bertambahnya luas bidang kontak diharapkan penyebaran CO₂ dapat lebih merata. Penggunaan membran sebagai media aerasi juga dimaksudkan untuk mengurangi *stress* yang dialami oleh *Chlorella vulgaris* akibat besarnya laju aerasi udara.

Di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia telah dilakukan beberapa penelitian untuk meningkatkan produksi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Penelitian-penelitian sebelumnya di Laboratorium Rekayasa Bioproses Universitas Indonesia lebih banyak memfokuskan diri pada efek pencahayaan pada pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg, seperti tampak pada tabel berikut ini

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

Peneliti (tahun)	Fokus Penelitian				Kandungan Biomassa
	Pencahayaan	Filtrasi	Kecepatan superficial (U _G)	Studi Hidrodinamika	
Rahayu (2006) & Apriayati N.	pencahayaan alami				

Peneliti (tahun)	Fokus Penelitian			Studi Hidrodinami ka	Kandunga n Biomassa
	Pencahayaan	Filtrasi	Kecepatan superfisial (U_G)		
(2006)					
Valentino (2006)	siklus harian atau terang gelap (flip- flop)				
Muryanto (2006)	pencahayaan periodic				
Sujarwo (2006)	pencahayaan kontinyu				
Andika(2005), Yudi.S (2006) Syahri (2008) Nisa.G (2009)	alterasi pencahayaan				
Syarif (2008) Rachma (2008)		Efek filtrasi pada volume kultur 18 L			
Puteri (2007)			U_G optimum untuk volume kultur 600 ml		
Isnaeni (2009)			U_G optimum untuk volume		

Peneliti (tahun)	Fokus Penelitian			Studi Hidrodinamika	Kandungan Biomassa
	Pencahayaan	Filtrasi	Kecepatan superficial (U _G)		
			kultur 18 L		
Nita (2009)				Penentuan parameter hidrodinamika	
Teryn (2009)					Uji kandungan protein
Putu (2010)				Penentuan parameter hidrodinamika	
Heru (2010)		Pengaruh Kecepatan hisap Filter Pada Fotobioreaktor 18 L			
Ponco (2010)		Pengaruh waktu filtrasi pada fotobioreaktor 18 L			

Di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia telah dilakukan beberapa penelitian untuk meningkatkan produksi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan menggunakan teknik filtrasi pada kultur *Chlorella vulgaris*. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa saat digunakan filtrasi maka setiap waktu tertentu akan dilakukan pemindahan sejumlah sel mikroalga yang tersaring pada

filter yang ada hal ini akan mengakibatkan jumlah sel mikroalga pada fotobioreaktor akan berkurang, pengurangan ini akan mengurangi peluang terjadinya perebutan CO₂. Dengan penambahan metode alterasi dan penggunaan membran sebagai media aerasi diharapkan dapat diperoleh kondisi kultivasi yang lebih optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah

- Bagaimana pengaruh penggunaan membran sebagai media aerasi terhadap produksi biomassa dan kemampuan fiksasi CO₂ *Chlorella vulgaris*?
- Bagaimana pengaruh penggunaan metode filterasi dan alterasi pencahayaan dalam mengoptimasi produksi biomassa dan kemampuan fiksasi CO₂ *Chlorella vulgaris*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

- Mengkaji pengaruh penggunaan membran dalam meningkatkan produksi biomassa
- Mengkaji pengaruh penggunaan membran terhadap kemampuan fiksasi CO₂ *Chlorella vulgaris*
- Mengkaji seberapa besar penggunaan metode filterasi – alterasi dapat mengoptimalkan penggunaan membran sebagai media aerasi

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar untuk pengembangan penelitian berikutnya seperti memperbesar produksi biomassa dengan teknik kultivasi yang optimum

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bioproses

2. Penelitian ini hanya akan dilakukan untuk mengetahui pengaruh filtrasi pada produksi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.
3. Produksi biomassa dalam penelitian ini baru terbatas pada peningkatan jumlah sel kering.
4. Mikroalga yang digunakan adalah *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.
5. Medium yang digunakan untuk perkembangbiakan mikroalga ini adalah larutan *Benneck*
6. Sistem reaktor yang digunakan adalah fotobioreaktor tunggal dengan volume 18 L
7. Konsentrasi CO₂ yang digunakan sebesar 5%

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III METODE PENELITIAN

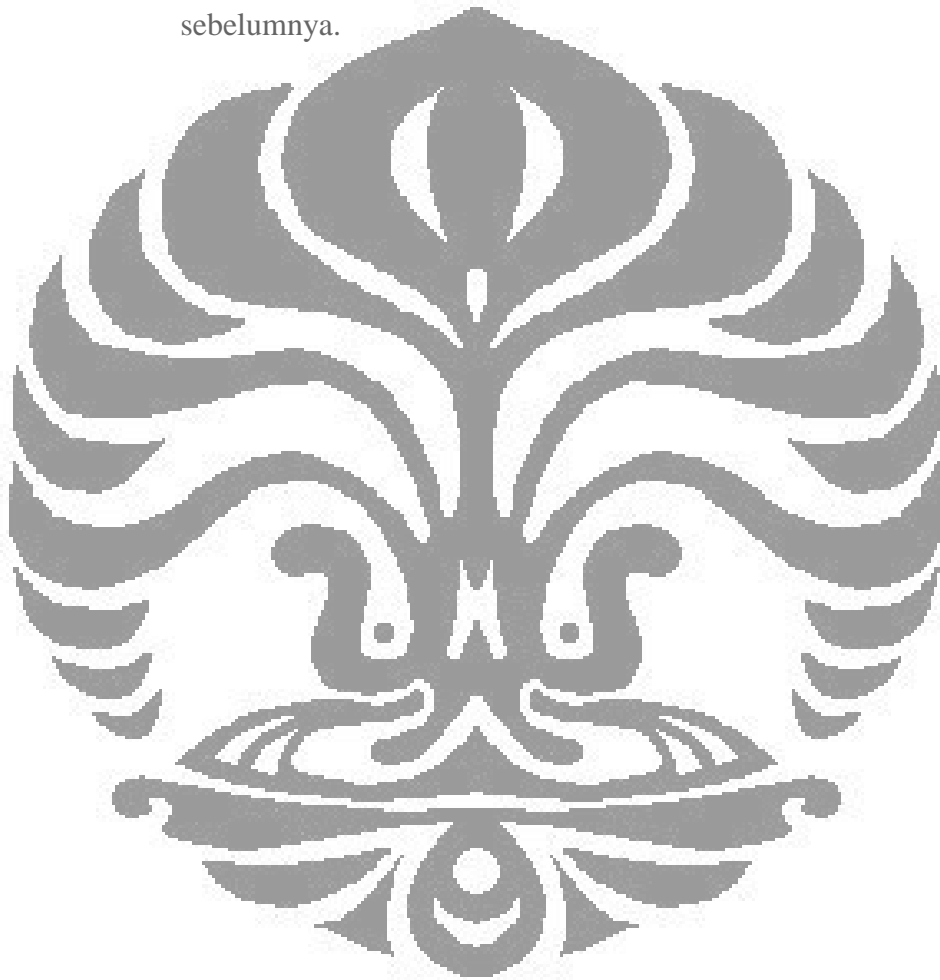
Bab ini berisi penjelasan tentang diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, variabel penelitian, prosedur penelitian, serta metode perhitungan data hasil observasi yang akan digunakan dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

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

BAB V KESIMPULAN

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



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

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

2.1 Mikroalga *Chlorella vulgaris*

Chlorella berasal dari bahasa Yunani yaitu ‘chloros’ yang berarti hijau dan ‘ella’ yang berarti kecil. *Chlorella* merupakan alga dengan kategori sel eukariotik yang hidup dalam air bersih sebagai tanaman bersel tunggal yang mengandung nukleus dan klorofil. bentuk *Chlorella* bulat lonjong, bergaris tengah 2-8 mikron (1 mikron setara 0,001 milimeter), ukuran ini kira-kira sebesar sel eritrosit manusia (sel darah merah).

Menurut ahli geologi, *chlorella* sudah ada di dunia sejak 2,5 milyar tahun yang lalu. Ini dibuktikan dengan adanya penemuan fosil *chlorella* dari zaman pre-kambium. *Chlorella* mampu bertahan terhadap segala perubahan alam sejak zaman pre-kambium karena punya ketahanan genetik dengan mekanisme perbaikan DNA yang sangat tinggi, serta bentuk, ukuran dan sifat dinding sel yang tersusun dari senyawa selulosa dan ligma yang kuat. Semua ini membuat *Chlorella* mudah menyesuaikan diri pada cuaca ekstrem dan bisa bertahan terhadap pengaruh luar dalam waktu lama. Hal ini membuat *Chlorella* dapat ditemukan di perairan tropis, sub-tropis, sampai kutub sekalipun.

C. Vulgaris merupakan tumbuhan yang belum mempunyai akar, batang, dan daun sejati, tetapi sudah memiliki klorofil sehingga bersifat autotrof atau dapat mensintesis makanan sendiri melalui reaksi fotosintesis dengan bantuan energi dari cahaya matahari. Mikroalga ini berkembang biak dengan pembelahan sel dan dengan pembentukan spora. Meskipun demikian waktu generasinya sangat cepat .

Chlorella hidup secara berkoloni dalam jumlah besar. Habitatnya adalah air atau tempat basah, sebagai epifit atau sebagai endofit.

Secara umum, struktur *chlorella* dapat dilihat pada gambar



Gambar 2.1. Struktur Sel *Chlorella*

(<http://evolutionlist.blogspot.com/>)

2.1.1 Taksonomi *Chlorella vulgaris*

Berdasarkan taksonominya, *C. vulgaris* memiliki klasifikasi sebagai berikut

Tabel 2.1. Taksonomi *Chlorella vulgaris*

(<http://www.en.wikipedia.org/wiki/Chlorella>)

Klasifikasi Ilmiah	
Kingdom	Plantae
Divisio	Chlorophyta
Kelas	Chlorophyceae
Ordo	Chlorococcales
Familia	Oocystaceae
Genus	Chlorella
Spesies	Chlorella Vulgaris

2.1.2 Morfologi *Chlorella vulgaris*

C. vulgaris adalah organisme bersel tunggal atau uniselular. Secara umum bagian-bagian sel-sel *Chlorella vulgaris* dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Mitokondria

Mitokondria merupakan organel sel yang sangat kompleks, berukuran 1-5 mikrometer, berbentuk oval, berdiameter 0,5-1 μm , memiliki panjang 3 μm . Selain itu, mitokondria memiliki 2 membran yaitu membran dalam yang terdiri atas protein dan membrane luar.

b. Vakuola

Vakuola merupakan ruang dalam sel yang berisi cairan. Cairan ini adalah air dan berbagai zat yang terlarut di dalamnya. Vakuola ditemukan pada semua sel tumbuhan. Bagi tumbuhan, vakuola berperan sangat penting dalam kehidupan karena mekanisme pertahanannya bergantung pada kemampuan vakuola menjaga konsentrasi zat-zat terlarut di dalamnya. Dalam vakuola terkumpul pula sebagian besar bahan-bahan berbahaya bagi proses metabolisme dalam sel karena tumbuhan tidak mempunyai sistem ekskresi yang efektif.

c. Kloroplas

Kloroplas merupakan jaringan berbentuk cangkir yang terletak di tepi sel. Kloroplas memiliki struktur yang dibungkus oleh suatu selubung yang terdiri atas 2 membran. Kloroplas mengandung lapisan membran protein dan fase aqueous. Membran tilakoid kloroplas sel eukariotik disebut tilakoid dan mengandung dua komponen lipid utama yaitu mono dan digalactosyl diacylglycerol (MGDG dan DGDG). Kloroplas juga memiliki klorofil, ribosom serta DNA sendiri (Iriawati, 2008). Kloroplas adalah tempat terjadinya fiksasi CO_2 dan memiliki kandungan protein (Campbell, 2008).

d. Dinding Sel

Dinding sel mengandung mikrofibril selulosa dan metrik non selulosa (senyawa pektin, hemiselulosa, lignin dan protein). Organel ini berfungsi untuk memberi bentuk kepada sel, memperkuat sel dan sebagai pelindung. Dinding sel tumbuh apabila masih memiliki kontak dengan protoplas. (Iriawati, 2008)

e. Inti Sel (Nukleus)

Inti sel adalah suatu struktur berukuran besar yang dikelilingi oleh sitoplasma dan dilindungi oleh sebuah membran. Di dalam inti ruang berada dalam stadium interfase terdapat kromosom, matriks inti, satu atau lebih nukleolus dan nukleoplasma. Inti sel ini berperan dalam mengatur seluruh aktivitas sel seperti berfotosintesis dan berkembang biak.

2.2 Mode Kultur

2.2.1 Kultur Batch

Metode ini adalah paling umum dalam kultivasi sel mikroalga. Dalam sistem kultur sederhana, medium kultur terbatas dan inokulum alga ditempatkan pada vessel kultur serta diinkubasi pada lingkungan yang baik untuk pertumbuhan. Dalam fotosintesis, CO₂ dialirkan secara kontinu ke dalam kultur dengan dicampur udara yang mengandung CO₂. Contohnya 5% CO₂ dalam udara. Kultur dapat diiluminasi dengan cahaya buatan atau sinar matahari melalui fiber optik yang diletakkan pada kultur vessel.

Kultur batch secara luas digunakan untuk kultivasi komersial alga karena operasinya mudah dan sistem kulturnya sederhana. Karena prosesnya batch, kebutuhan untuk sterilisasi lengkap rendah. Untuk produksi kultur alga massal, bagian kultur disimpan sebagai inokulum untuk proses batch selanjutnya.

Ada beberapa fase berbeda yang terjadi pada kultur batch, menggambarkan atau menandakan perubahan biomassa dan lingkungannya.

2.2.1.1 Fase Lag

Lag phase adalah suatu tahap setelah pemberian inokulum ke dalam media kultur dimana terjadi penundaan pertumbuhan yang dikarenakan *Chlorella vulgaris* memerlukan pembelahan. Pada fase ini laju pertumbuhan spesifik adalah pada level sub-maksimum yang sering diamati. Pertumbuhan lag terjadi karena adanya sel *non viable* dan spora dalam inokulum. Pertumbuhan lag juga terjadi karena adanya masa adaptasi fisiologis akibat perubahan kondisi nutrisi untuk alga. Fase lag tidak terjadi dalam kultivasi jika inokulum yang digunakan sudah berada pada fase eksponensial.

. Dalam fase ini tidak terjadi penambahan jumlah sel. Fasa ini adalah fasa penyesuaian yaitu suatu masa ketika sel-sel kekurangan metabolit dan enzim akibat dari keadaan tidak menguntungkan dalam pembiakan terdahulu, menyesuaikan diri dengan lingkungan yang baru. Enzim-enzim dan zat antara terbentuk dan terkumpul sampai konsentrasi yang cukup untuk kelanjutan pertumbuhan.

2.2.1.2 Fasa Pertumbuhan Logaritmik (*log phase*)

Pada fase ini, sel-sel membelah dengan cepat dan terjadi penambahan dalam jumlah sel. Selama fasa ini, sel-sel berada dalam keadaan yang stabil. Bahan sel baru terbentuk dengan konstan dan massa bertambah secara eksponensial. Hal ini bergantung dari satu atau dua hal yang terjadi, yaitu apabila zat makanan dalam pembenihan habis maka hasil metabolisme yang beracun akan tertimbun dan menghambat pertumbuhan. Kultur dalam fasa pertumbuhan eksponensial tidak hanya berada dalam keseimbangan pertumbuhan tetapi jumlah dari sel-sel dalam kultur ini bertambah dengan kecepatan yang relatif konstan.

Dalam penggunaan mikroorganisme pada dunia perindustrian, dibutuhkan bibit atau *starter* untuk proses fermentasi suatu bahan makanan, biasanya digunakan mikroorganisme yang sedang berada dalam fasa eksponensial. Hal ini dikarenakan mikroorganisme tersebut tidak akan mengalami fasa pertumbuhan sebelum fasa eksponensial dalam media yang baru.

2.2.1.3 Fase Penurunan Laju Pertumbuhan

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

2.2.1.4 Fase Stasioner

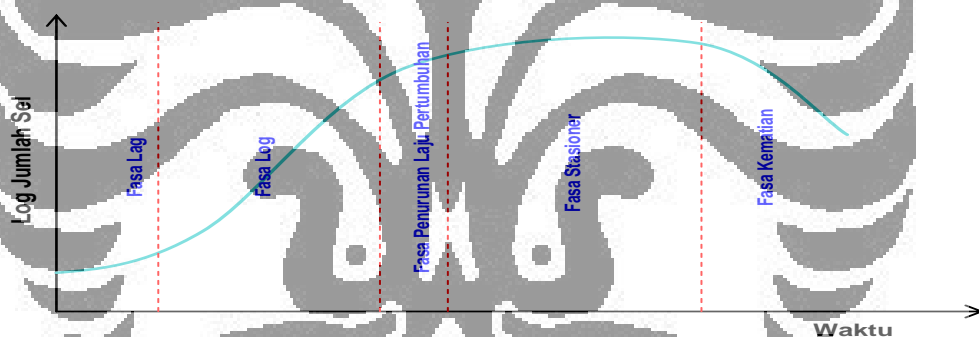
Fasa stasioner adalah fasa pemberhentian pertumbuhan. Pada fasa ini, jumlah sel kurang lebih tetap. Hal ini disebabkan oleh habisnya nutrisi dalam

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

2.2.1.5 Fase Kematian

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

Kelima fasa tersebut dapat ditunjukkan dengan kurva jumlah sel vs waktu



Gambar 2.2. Kurva Pertumbuhan *Chlorella vulgaris*

(Sumber : Wirosaputro, 2002)

2.2.2 Kultur Kontinu

Metode kultur kontinu memberikan medium yang diperlukan dalam kultivasi mikroalga secara terus menerus yang dipompa dari reservoir medium ke dalam reaktor tempat kultivasi mikroalga agar dapat mencapai laju pertumbuhan maksimum.

Terdapat dua kategori kultur :

- a. Kultur turbidostat adalah kultur dengan konsentrasi alga dengan tingkat yang telah ditetapkan melalui pengenceran kultur dengan medium segar melalui sistem otomatis
- b. Kultur chemostat adalah kultur dengan aliran medium segar yang dimasukkan ke dalam kultur pada keadaan steady sebelum laju ditetapkan. Jenis ini dilakukan dengan cara menambahkan nutrisi yang penting seperti nitrat pada laju pertumbuhan tetap dan bukan menjaga kepadatan sel konstan.

Kekurangan dari sistem ini adalah biaya yang relatif tinggi dan kompleksitas. Kebutuhan iluminasi dan suhu yang konstan hanya layak untuk skala produksi kecil. Namun, kelebihan adalah kualitas alga yang diproduksi lebih baik. Selain itu, kebutuhan akan tenaga kerja menjadi sedikit karena sistem dilakukan secara otomatis.

2.2.3 Kultur semikontinu

Kultur ini dilakukan pemanenan secara berkala dan ditambahkan nutrisi ke dalam kultur mikroalga. Kultur semikontinu dapat dilakukan di dalam ataupun di luar rumah tapi durasi kultivasinya tidak dapat diprediksi. Karena kultur semikontinu tidak dipanen penuh, maka hasil produksi mikroalga system ini lebih baik daripada system batch untuk ukuran tangki yang sama.

2.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pertumbuhan *Chlorella vulgaris*

Organisme autotrofik seperti *Chlorella* membutuhkan cahaya, CO₂, H₂O, nutrient, dan *trace element* untuk pertumbuhannya. Berikut akan diuraikan beberapa faktor lain yang berhubungan dengan hal-hal tersebut yang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan mikroalga hijau *Chlorella* pada medium terbatas.

a) Jenis Medium

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

khusus yang tercermin dalam pertumbuhan dan kepadatan yang dicapai oleh organisme tanpa mengesampingkan pengaruh dari lingkungan.

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

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

(Sumber :Wirosaputro, 2002)

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

b) Pencahayaan

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

c) Kondisi Operasi

Dalam proses kultivasi *Chlorella vulgaris*, digunakan beberapa kondisi operasi yaitu konsentrasi CO₂, temperatur operasi, pH dan laju alir baik untuk udara ataupun CO₂.

1. Konsentrasi CO₂

Dalam proses fotosintesis, CO₂ merupakan unsur paling penting. Tersedianya CO₂ yang cukup dalam media akan memperlancar proses fotosintesis yang akan berimbas pada pertumbuhan *Chlorella vulgaris*, itu sendiri. Konsentrasi CO₂ yang optimal untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris* adalah sekitar 3-5% (Wirosaputro, 2002).

2. Temperatur

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

3. Derajat Keasaman (pH)

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

4. Aerasi/Pencampuran

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

5. Laju Alir dan CO₂

Laju alir udara perlu dipertimbangkan jika jenis reaktor yang digunakan adalah reaktor kolom gelembung. Sedangkan laju CO₂ diatur sesuai dengan model reaktor yang digunakan, luas permukaan kontak dan volume kultur. Hal ini ditujukan untuk pemerataan CO₂ yang dibutuhkan oleh *Chlorella vulgaris* pada medium terbatas.

6. Pre – Culture

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

7. Kontaminasi

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

8. Salinitas

Chlorella sp memiliki toleransi salinitas yang tinggi dan dapat hidup pada kisaran salinitas 0-35 ppt (dari air tawar sampai air laut). Salinitas yang paling optimal bagi pertumbuhan *Chlorella* air tawar adalah 10-20 ppt. Peningkatan salinitas akan menyebabkan kandungan lipid dalam mikroalga meningkat.

2.4 Kandungan Biomassa *Chlorella vulgaris*

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

Tabel 2.3. Komposisi Biomassa *Chlorella vulgaris*

(Sumber : http://www.gtamart.com/mart/products/chlorella_vulgaris/)

Komponen		
Protein	g/100g	33 - 45
Lemak	g/100g	6.9 - 16.1

Air	g/100g	0.4
Klorofil	g/100g	0.7 - 2.7
Sumber Mineral	g/100g	6.5 - 10.5
Lipid	g/100g	6.5 - 12.5
Karbohidrat	g/100g	0.9 - 2
Mineral		
Kalsium	mg/100g	321-604
Magnesium	mg/100g	273-325
Besi	mg/100g	40-70
Kalium	mg/100g	1000-2900
Iodium	mg/100g	<0.0005
Vitamin		
Betakaroten	mg/100g	3.3-11.2
Vitamin B1	mg/100g	0.5-1.0
Vitamin B2	mg/100g	3.2-3.8
Vitamin B6	mg/100g	0.3-3.7
Vitamin B12	mg/100g	0.2-1.0
Vitamin E	mg/100g	3.6-10.0
Vitamin C	mg/100g	13-20
Vitamin K1	mg/100g	0.2-0.8

2.5 Manfaat *Chlorella vulgaris* dalam Bidang Kesehatan

Chlorella vulgaris merupakan organisme autotrof sehingga dapat berperan aktif memfiksasi CO₂ dari udara sehingga dapat mengurangi tingkat polusi udara dari gas CO₂ dari lingkungan. Berkurangnya polutan CO₂ ini membawa dampak positif bagi kesehatan manusia karena akan mengurangi kemungkinan timbulnya gangguan pernafasan. *Chlorella vulgaris* telah banyak diteliti dan dimanfaatkan di dalam bidang kesehatan dan pengobatan penyakit. Studi yang banyak diteliti mengenai beberapa komponen utama *Chlorella vulgaris* adalah :

a) Dinding Sel

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

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

b) Klorofil

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

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

- Bersifat anti-proteolitik, untuk mencegah penyakit alergi, dan tumor atau kanker.
- Bersifat antioksidan sehingga dapat mengikat radikal bebas.

c). Beta karoten

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

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

a) CGF (*Chlorella Growth Factor*)

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

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

b) Protein

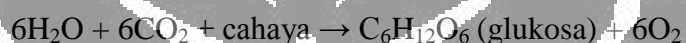
Protein dalam *Chlorella vulgaris* terdiri dari asam amino esensial yang sangat diperlukan oleh tubuh karena tidak bisa disintesis oleh tubuh manusia sendiri. Selain berguna bagi pertumbuhan, kandungan protein alami yang dimiliki *Chlorella vulgaris* juga membantu menjaga gula dalam darah.

2.6 Fotosintesis

Fotosintesis adalah suatu proses biokimia pembentukan zat makanan atau energi yaitu glukosa yang dilakukan tumbuhan, alga dan beberapa jenis bakteri dengan menggunakan zat hara, karbondioksida, dan air serta dibutuhkan bantuan energi cahaya matahari. Hampir semua makhluk hidup bergantung dari energi

yang dihasilkan dalam fotosintesis. Akibatnya fotosintesis menjadi sangat penting bagi kehidupan di bumi. Fotosintesis juga berjasa menghasilkan sebagian besar oksigen yang terdapat di atmosfer bumi. Organisme yang menghasilkan energi melalui fotosintesis (*photos* berarti cahaya) disebut sebagai fototrof. Fotosintesis merupakan salah satu cara asimilasi karbon karena dalam fotosintesis karbon bebas dari CO₂ diikat (difiksasi) menjadi gula sebagai molekul penyimpan energi.

Tumbuhan bersifat autotrof. Autotrof artinya dapat mensintesis makanan langsung dari senyawa anorganik. Tumbuhan menggunakan karbon dioksida dan air untuk menghasilkan gula dan oksigen yang diperlukan sebagai makanannya. Energi untuk menjalankan proses ini berasal dari fotosintesis. Perhatikan persamaan reaksi yang menghasilkan glukosa berikut ini:



Glukosa dapat digunakan untuk membentuk senyawa organik lain seperti selulosa dan dapat pula digunakan sebagai bahan bakar. Proses ini berlangsung melalui respirasi seluler yang terjadi baik pada hewan maupun tumbuhan. Secara umum reaksi yang terjadi pada respirasi seluler berkebalikan dengan persamaan di atas. Pada respirasi, gula (glukosa) dan senyawa lain akan bereaksi dengan oksigen untuk menghasilkan karbon dioksida, air, dan energi kimia.

2.6.1 Proses Fotosintesis

Pada dasarnya, rangkaian reaksi fotosintesis dapat dibagi menjadi dua bagian utama: **reaksi terang** (karena memerlukan cahaya) dan **reaksi gelap** (tidak memerlukan cahaya tetapi memerlukan karbon dioksida).

Reaksi terang terjadi pada grana (tunggal: granum), sedangkan reaksi gelap terjadi di dalam stroma. Dalam reaksi terang, terjadi konversi energi cahaya menjadi energi kimia dan menghasilkan oksigen (O₂). Sedangkan dalam reaksi gelap terjadi seri reaksi siklik yang membentuk gula dari bahan dasar CO₂ dan energi (ATP dan NADPH). Energi yang digunakan dalam reaksi gelap ini diperoleh dari reaksi terang. Pada proses reaksi gelap tidak dibutuhkan cahaya matahari. Reaksi gelap bertujuan untuk mengubah senyawa yang mengandung atom karbon menjadi molekul gula. Dari semua radiasi matahari yang

dipancarkan, hanya panjang gelombang tertentu yang dimanfaatkan tumbuhan untuk proses fotosintesis, yaitu panjang gelombang yang berada pada kisaran cahaya tampak (380-700 nm).

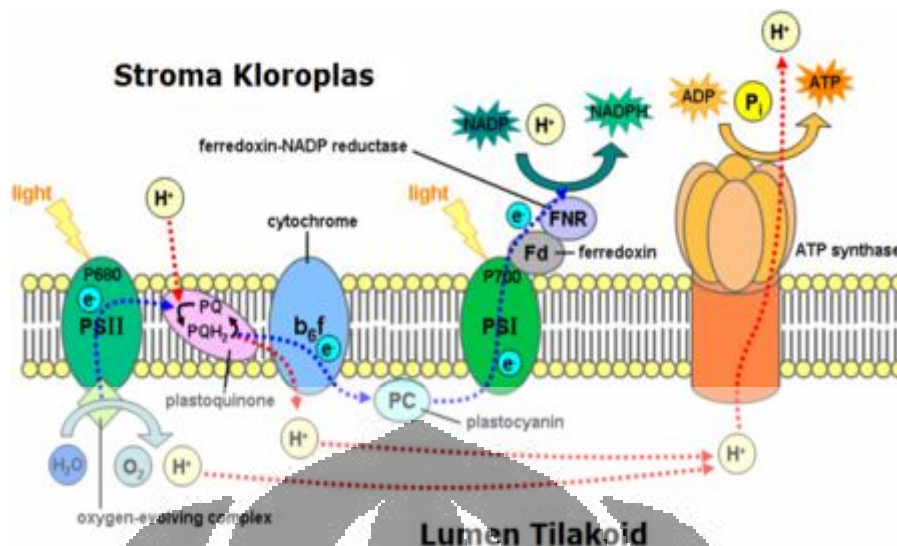
Cahaya tampak terbagi atas cahaya merah (610 - 700 nm), hijau kuning (510 - 600 nm), biru (410 - 500 nm) dan violet (< 400 nm). Masing-masing jenis cahaya berbeda pengaruhnya terhadap fotosintesis. Hal ini terkait pada sifat pigmen penangkap cahaya yang bekerja dalam fotosintesis. Pigmen yang terdapat pada membran grana menyerap cahaya yang memiliki panjang gelombang tertentu. Pigmen yang berbeda menyerap cahaya pada panjang gelombang yang berbeda.

Kloroplas mengandung beberapa pigmen. Sebagai contoh, klorofil a terutama menyerap cahaya biru-violet dan merah. Klorofil b menyerap cahaya biru dan oranye dan memantulkan cahaya kuning-hijau. Klorofil a berperan langsung dalam reaksi terang, sedangkan klorofil b tidak secara langsung berperan dalam reaksi terang. Proses absorpsi energi cahaya menyebabkan lepasnya elektron berenergi tinggi dari klorofil a yang selanjutnya akan disalurkan dan ditangkap oleh akseptor elektron. Proses ini merupakan awal dari rangkaian panjang reaksi fotosintesis.

2.6.1.1 Reaksi Terang

Reaksi terang adalah proses untuk menghasilkan ATP dan reduksi NADPH_2 . Reaksi ini memerlukan molekul air dan cahaya matahari. Proses diawali dengan penangkapan foton oleh pigmen sebagai antena.

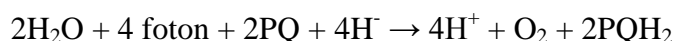
Reaksi terang melibatkan dua fotosistem yang saling bekerja sama, yaitu fotosistem I dan II. Fotosistem I (PS I) berisi pusat reaksi P700, yang berarti bahwa fotosistem ini optimal menyerap cahaya pada panjang gelombang 700 nm, sedangkan fotosistem II (PS II) berisi pusat reaksi P680 dan optimal menyerap cahaya pada panjang gelombang 680 nm.



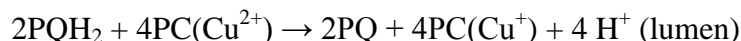
Gambar 2.3. Reaksi terang dari fotosintesis pada membran tilakoid

(<http://www.wikipedia.org>)

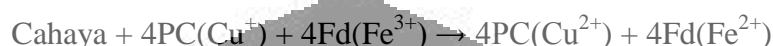
Mekanisme reaksi terang diawali dengan tahap dimana fotosistem II menyerap cahaya matahari sehingga elektron klorofil pada PS II tereksitasi dan menyebabkan muatan menjadi tidak stabil. Untuk menstabilkan kembali, PS II akan mengambil elektron dari molekul H₂O yang ada disekitarnya. Molekul air akan dipecahkan oleh ion mangan (Mn) yang bertindak sebagai enzim. Hal ini akan mengakibatkan pelepasan H⁺ di lumen tilakoid. Dengan menggunakan elektron dari air, selanjutnya PS II akan mereduksi plastokuinon (PQ) membentuk PQH₂. Plastokuinon merupakan molekul kuinon yang terdapat pada membran lipid bilayer tilakoid. Plastokuinon ini akan mengirimkan elektron dari PS II ke suatu pompa H⁺ yang disebut sitokrom b₆-f kompleks. Reaksi keseluruhan yang terjadi di PS II adalah:



Sitokrom b₆-f kompleks berfungsi untuk membawa elektron dari PS II ke PS I dengan mengoksidasi PQH₂ dan mereduksi protein kecil yang sangat mudah bergerak dan mengandung tembaga, yang dinamakan plastosianin (PC). Kejadian ini juga menyebabkan terjadinya pompa H⁺ dari stroma ke membran tilakoid. Reaksi yang terjadi pada sitokrom b₆-f kompleks adalah:



Elektron dari sitokrom b_6-f kompleks akan diterima oleh fotosistem I. Fotosistem ini menyerap energi cahaya terpisah dari PS II, tapi mengandung kompleks inti terpisahkan, yang menerima elektron yang berasal dari H_2O melalui kompleks inti PS II lebih dahulu. Sebagai sistem yang bergantung pada cahaya, PS I berfungsi mengoksidasi plastosianin tereduksi dan memindahkan elektron ke protein Fe-S larut yang disebut feredoksin. Reaksi keseluruhan pada PS I adalah:



Selanjutnya elektron dari feredoksin digunakan dalam tahap akhir pengangkutan elektron untuk mereduksi NADP^+ dan membentuk NADPH . Reaksi ini dikatalisis dalam stroma oleh enzim feredoksin- NADP^+ reduktase. Reaksinya adalah:



Ion H^+ yang telah dipompa ke dalam membran tilakoid akan masuk ke dalam ATP sintase. ATP sintase akan menggandengkan pembentukan ATP dengan pengangkutan elektron dan H^+ melintasi membran tilakoid. Masuknya H^+ pada ATP sintase akan membuat ATP sintase bekerja mengubah ADP dan fosfat anorganik (P_i) menjadi ATP. Reaksi keseluruhan yang terjadi pada reaksi terang adalah sebagai berikut:



2.6.1.2 Reaksi Gelap

Reaksi gelap pada tumbuhan dapat terjadi melalui dua jalur, yaitu **siklus Calvin-Benson** dan **siklus Hatch-Slack**. Pada siklus Calvin-Benson tumbuhan mengubah senyawa ribulosa 1,5 bisfosfat menjadi senyawa dengan jumlah atom karbon tiga yaitu senyawa 3-phosphogliserat. Oleh karena itulah tumbuhan yang menjalankan reaksi gelap melalui jalur ini dinamakan tumbuhan C-3. Penambatan CO_2 sebagai sumber karbon pada tumbuhan ini dibantu oleh enzim rubisco. Tumbuhan yang reaksi gelapnya mengikuti jalur Hatch-Slack disebut tumbuhan C-4 karena senyawa yang terbentuk setelah penambatan CO_2 adalah oksaloasetat

yang memiliki empat atom karbon. Enzim yang berperan adalah phosphoenolpyruvate carboxilase.

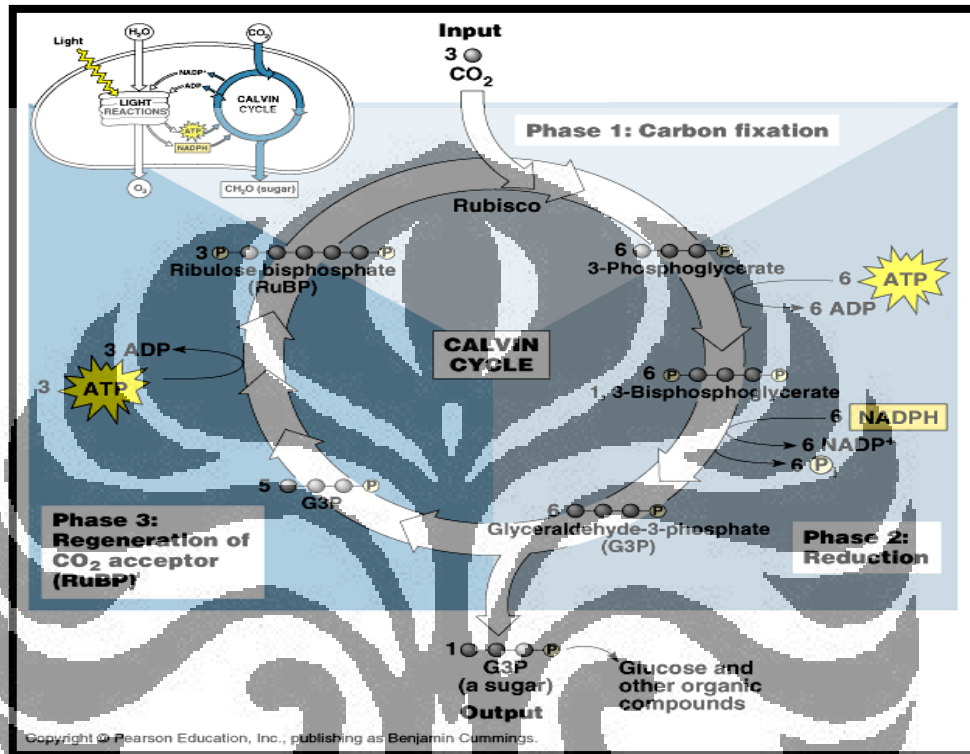
2.6.1.3 Siklus Calvin-Benson

Mekanisme siklus Calvin-Benson dimulai dengan fiksasi CO_2 oleh ribulosa difosfat karboksilase (RuBP) membentuk 3-fosfoglisarat. RuBP merupakan enzim alosetrik yang distimulasi oleh tiga jenis perubahan yang dihasilkan dari pencahayaan kloroplas. Pertama, reaksi dari enzim ini distimulasi oleh peningkatan pH. Jika kloroplas diberi cahaya, ion H^+ ditranspor dari stroma ke dalam tilakoid menghasilkan peningkatan pH stroma yang menstimulasi enzim karboksilase, terletak di permukaan luar membran tilakoid. Kedua, reaksi ini distimulasi oleh Mg^{2+} , yang memasuki stroma daun sebagai ion H^+ , jika kloroplas diberi cahaya. Ketiga, reaksi ini distimulasi oleh NADPH, yang dihasilkan oleh fotosistem I selama pemberian cahaya.

Fiksasi CO_2 ini merupakan reaksi gelap yang distimulasi oleh pencahayaan kloroplas. Fiksasi CO_2 melewati proses karboksilasi, reduksi, dan regenerasi. Karboksilasi melibatkan penambahan CO_2 dan H_2O ke RuBP membentuk dua molekul 3-fosfoglisarat (3-PGA). Kemudian pada fase reduksi, gugus karboksil dalam 3-PGA direduksi menjadi 1 gugus aldehida dalam 3-fosfoglisaraldehida (3-Pgaldehida). Reduksi ini tidak terjadi secara langsung, tapi gugus karboksil dari 3-PGA pertama-tama diubah menjadi ester jenis anhidrida asam pada asam 1,3-bifosfoglisarat (1,3-bisPGA) dengan penambahan gugus fosfat terakhir dari ATP. ATP ini timbul dari fotofosforilasi dan ADP yang dilepas ketika 1,3-bisPGA terbentuk, yang diubah kembali dengan cepat menjadi ATP oleh reaksi fotofosforilasi tambahan. Bahan pereduksi yang sebenarnya adalah NADPH, yang menyumbang 2 elektron. Secara bersamaan, Pi dilepas dan digunakan kembali untuk mengubah ADP menjadi ATP.

Pada fase regenerasi, yang diregenerasi adalah RuBP yang diperlukan untuk bereaksi dengan CO_2 tambahan yang berdifusi secara konstan ke dalam dan melalui stomata. Pada akhir reaksi Calvin, ATP ketiga yang diperlukan bagi tiap molekul CO_2 yang ditambat, digunakan untuk mengubah ribulosa-5-fosfat menjadi RuBP, kemudian daur dimulai lagi.

Tiga putaran daur akan menambatkan 3 molekul CO₂ dan produk akhirnya adalah 1,3-Pgaldehida. Sebagian digunakan kloroplas untuk membentuk pati, sebagian lainnya dibawa keluar. Sistem ini membuat jumlah total fosfat menjadi konstan di kloroplas, tetapi menyebabkan munculnya triosafosfat di sitosol. Triosa fosfat digunakan sitosol untuk membentuk sukrosa.

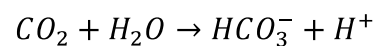


Gambar 2.4 Siklus Calvin-Benson

www.superglossary.com/biology/Rubp.html

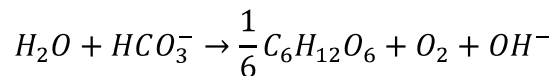
2.6.2 Fotosintesis Mikroalga Hijau *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Pada mikroalga hijau *Chlorella* yang termasuk organisme renik air, fotosintesis dilakukan di dalam air/media hidupnya. CO₂ yang dibutuhkan sebagai carbon *source*-nya didapatkan dalam bentuk senyawa bikarbonat yang terbentuk dari reaksi air dengan CO₂ terlarut dalam media hidupnya (pada ekstra selular) sebagai berikut (Wijanarko, 2004)



Senyawa bikarbonat ini yang kemudian diserap oleh sel *Chlorella*. Proses metabolisme yang terjadi dalam sel selanjutnya adalah reaksi antara bikarbonat tersebut dan air yang terdapat dalam sel (siklus Calvin) membentuk senyawa

organik seperti glukosa dan ion OH^- menggunakan energi ATP dan NADPH dari konversi cahaya pada reaksi terang, sebagaimana tergambar pada persamaan reaksi berikut (Wijanarko, 2004)



Sehingga diketahui bahwa hasil fotosintesis dari mikroalga hijau *Chlorella* adalah ion OH^- yang akan berikatan dengan ion H^+ dari hasil penguraian CO_2 membentuk senyawa H_2O , oksigen molekular, dan senyawa organik yang akan digunakan sebagai cadangan makanan, apabila tidak mendapatkan cahaya dan CO_2 untuk pertumbuhan dan pembelahaan sel-nya (heterotrof) maka pertumbuhan dari *Chlorella* akan mengalami hambatan.

2.6.3 Faktor yang mempengaruhi fotosintesis

- a) **Intensitas cahaya**
Laju fotosintesis maksimum ketika banyak cahaya.
- b) **Konsentrasi karbon dioksida**
Semakin banyak karbon dioksida di udara, makin banyak jumlah bahan yang dapat digunakan tumbuhan untuk melangsungkan fotosintesis.
- c) **Suhu**
Enzim-enzim yang bekerja dalam proses fotosintesis hanya dapat bekerja pada suhu optimalnya. Umumnya laju fotosintensis meningkat seiring dengan meningkatnya suhu hingga batas toleransi enzim.
- d) **Kadar air**
Kekurangan air atau kekeringan menyebabkan stomata menutup, menghambat penyerapan karbon dioksida sehingga mengurangi laju fotosintesis.
- e) **Kadar fotosintat (hasil fotosintesis)**
Jika kadar fotosintat seperti karbohidrat berkurang, laju fotosintesis akan naik. Bila kadar fotosintat bertambah atau bahkan sampai jenuh, laju fotosintesis akan berkurang.
- f) **Tahap pertumbuhan**
Penelitian menunjukkan bahwa laju fotosintesis jauh lebih tinggi pada

tumbuhan yang sedang berkecambah dibandingkan dengan tumbuhan dewasa. Hal ini mungkin dikarenakan tumbuhan berkecambah memerlukan lebih banyak energi dan makanan untuk tumbuh.

2.7 Sistem Kultivasi Mikroalga

Dibandingkan untuk pertumbuhan tanaman, produksi biomassa dari mikroalga relatif lebih mahal. Oleh karena itu, banyak sistem kultivasi menggunakan sinar matahari dan air laut yang ada, walaupun tiap hari terdapat variasi musim karena level penyinaran. Untuk setiap koloni alga, pertumbuhan bergantung pada kondisi lingkungan, temperatur 20-30°C, medium esensial nitrogen, fosfor, besi yang umumnya tidak mahal. Banyak kultivasi menghasilkan biomassa sekitar 50% karbond dengan berat kering yang dihasilkan dari CO₂. Ada 2 jenis operasi kultivasi mikroalga yaitu sistem terbuka dan tertutup.

2.7.1 Kultivasi Sistem Terbuka

Sistem terbuka menggunakan raceway (kolam) dan sinar matahari sebagai sumber energi utama dan sistem ini lebih murah daripada fotobioreaktor. Akan tetapi, sistem terbuka mudah terkontaminasi, sulit untuk mengontrol kontaminan, menghasilkan produktivitas rendah, kehilangan air besar, kebutuhan ruang besar dan inhibisi O₂ tinggi.



Gambar 2.5. Fotobioreaktor Terbuka untuk Pemiakan *Chlorella vulgaris*

(www.energypowershift.com/developments.htm)

2.7.2 Kultivasi Sistem Tertutup

Untuk produk yang bermutu tinggi, sistem kultivasi tertutup lebih dipilih, ditinjau dari segi perkembangannya dan bervariasi pendekatan yang dapat digunakan dalam desain. Keuntungan dari penggunaan sistem ini adalah produktivitas yang tinggi, kontaminasi yang rendah, sedikit kehilangan air, inhibisi O_2 rendah, konsentrasi biomassa tinggi dan ruang yang dibutuhkan lebih kecil. Dalam sistem kultivasi tertutup terdapat berbagai jenis dan karakteristik fotobioreaktor yang digunakan.

2.7.2.1 Karakteristik Fotobioreaktor

Berikut ini akan dijelaskan beberapa karakteristik dari fotobioreaktor :

a) Energi Cahaya

Cahaya sebagai sumber energi untuk kehidupan fotoautotropik merupakan faktor pembatas yang mendasar dalam *photobiotechnology*. Pada pencahayaan yang intens, laju fotosintesis akan berbanding lurus proporsional dengan intensitas cahaya, sampai intensitas iluminasi yang tinggi dapat merusak sistem reseptor fotosintetik dalam beberapa menit, yang dinamakan *photoinhibition*. Pada kebanyakan mikroalga, fotosintesis akan ter-*saturated* pada radiasi sekitar 1.700-2.000 $\mu E/m^2$ dan mengalami *photoinhibition* pada 130 $\mu E/m^2$ (Pulz, 2001).

Pada jenis fotobioreaktor tubular atau *plate-type* dengan *surface-to-volume ratio* 20-80 m^2/m^3 dan besarnya pencahayaan mencapai 1.15 $\mu E/m^2 \cdot s$ dengan *layer*

thickness sampai 5 mm, produktivitas dapat mencapai 2-5 g berat kering per hari. Meskipun minat pada bioteknologi semakin berkembang belakangan ini, tetapi masih sedikit referensi literatur mengenai *short-term process* dari *photoadaptation*, yaitu mengenai *light inhibition* atau *saturation effect* dalam fotobioreaktor dalam sistem tertutup. *Photoadaptation* memerlukan waktu sekitar 10-40 menit dimana dapat dijelaskan ketidaksesuaian antara produktivitas kultur alga pada *open-air* dan pencahayaan optimum mereka.

b) Kesetimbangan CO₂/O₂

Untuk laju fotosintesis yang tinggi, kesetimbangan CO₂/O₂ harus disesuaikan, dimana enzim utama *carboxylating*, Rubisco, menggunakan CO₂ untuk siklus Calvin dan tidak menggunakan untuk O₂ fotorespirasi. Oksigen dapat menjadi permasalahan dalam kultur mikroalga dengan densitas sel tinggi karena akan menghambat laju fotosintesis.

Konsentrasi CO₂ biasanya harus dijaga selama margin yang sempit. Kandungan CO₂ udara 0,03% menjadi sub optimal bagi pertumbuhan dan pada umumnya tumbuh-tumbuhan dapat mentoleransi konsentrasi CO₂ hanya sampai 0,1%. Tetapi untuk kebanyakan strain dari mikroalga, telah diteliti bahwa mikroorganisme ini dapat mentoleransi kandungan CO₂ udara sampai 12% pada temperatur 35°C. Sampai saat ini tekanan parsial O₂ (pO₂) dalam *suspense* mikroalga baik dalam open atau *closed photobioreactor*, dapat direduksi hanya dengan menambah turbulensi dan *stripping* O₂ dengan udara. Kedua pendekatan ini masih menjadi *'unsolved dilemma'* dalam sistem fotobioreaktor (Pulz, 2001)

c) Temperatur

Temperatur dapat mempengaruhi respirasi dan fotorespirasi secara lebih kuat dibanding dengan fotosintesis. Ketika CO₂ atau cahaya menjadi terbatas untuk proses fotosintesis, pengaruh temperatur menjadi tidak signifikan. Dengan penambahan temperatur, respirasi akan meningkat secara signifikan. Jadi, net efisiensi fotosintesis akan menurun dengan kenaikan pada temperatur tinggi. Efek ini dapat memperburuk kultur *suspense* pada kondisi penurunan CO₂ dan kelarutan O₂ pada kenaikan temperatur (Pulz, 2001).

d) Nutrien dan Nilai pH

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

2.7.2.2 Fotobioreaktor Flat Gelembung

Sistem fotobioreaktor terdiri dari beberapa bagian yaitu reaktor *vessel*, sistem sirkulasi gas, sistem titrasi gas, lemari yang bersih, sumber cahaya dan sistem pengendalian reaktor. Untuk kultivasi mikroalga sendiri dapat dilakukan dengan sistem *batch* atau kontinyu. Tetapi dalam beberapa penelitian sistem kultivasi yang digunakan adalah semi-*batch* dimana gas CO₂ secara kontinyu dialirkan ke dalam reaktor sedangkan mikroalga ditempatkan secara *batch*. Dalam fotobioreaktor ini biasanya digunakan *sparger* yang fungsinya sama seperti pengaduk dalam reaktor berpengaduk. Fungsi dari *sparger* disini adalah agar pencampuran gas dan aerasi terjadi secara baik. Penggunaan fotobioreaktor kolom gelembung ini mempunyai beberapa keuntungan diantaranya biaya modal yang cukup rendah. Intensitas penerangan dalam fotobioreaktor kolom gelembung system *batch* harus dipertahankan pada tingkat yang sesuai dengan jumlah inokulum. Hal ini dikarenakan semakin bertambahnya waktu maka jumlah mikroorganisme dalam fotobioreaktor tersebut akan semakin banyak karena terjadi proses pembelahan sel. Semakin banyak jumlah mikroorganisme tersebut maka kemungkinan bagi mikroorganisme yang berada di bagian tengah dan belakang untuk memperoleh cahaya semakin minim karena tertutup oleh mikroorganisme yang berada di depannya. Distribusi yang tidak seimbang ini menyebabkan laju pertumbuhan mikroorganisme terganggu. Peristiwa ini dikenal dengan *self-shading of light*. Dalam reaksi fotosintesis dihasilkan gas O₂ yang dapat menyebabkan kenaikan tekanan dan merusak fotobioreaktor. Dengan menggunakan sistem titrasi katalitik menggunakan gas H₂ atau menggunakan sistem aerasi dengan aerator, konsentrasi O₂ dalam fotobioreaktor dapat dihilangkan.

2.8 Harvesting (pemanenan)

2.8.1 Filtrasi

Filtrasi dilakukan umumnya pada membran selulosa termodifikasi, dengan bantuan pompa hisap. Keuntungan terbesar dari metode ini adalah bahwa mampu mengumpulkan sel mikroalga atau densitas sangat rendah. Namun, konsentrasi dengan filtrasi terbatas pada volume kecil dan terbatas pada kapasitas filter yang digunakan dan dapat menyumbat filter oleh sel-sel padat saat vakum diterapkan. Beberapa metode telah dirancang yang menghindari masalah ini. Salah satunya melibatkan penggunaan vakum reverse-aliran di mana tekanan beroperasi dari atas, membuat proses lebih lembut dan menghindari pengumpulan sel. Proses kedua menggunakan vakum langsung tetapi melibatkan pisau aduk dalam termos di atas filter yang mencegah partikel menetap di semua selama proses konsentrasi.

2.8.2 Sentrifugasi

Sentrifugasi adalah metode memisahkan alga dari media dengan menggunakan *centrifuge* sehingga menyebabkan alga mengendap di bagian bawah sedangkan media tetap berada di bagian atas. Sentrifugasi dan pengeringan saat ini dianggap terlalu mahal untuk penggunaan pribadi, namun bermanfaat untuk digunakan dalam skala industri.

2.8.3 Flotasi

Flotasi biasanya digunakan dalam kombinasi dengan flokulasi untuk panen alga dalam air limbah. Ini adalah metode yang sederhana untuk membuat alga dapat dibuat mengapung di permukaan medium. Flotasi yang digunakan dapat berupa flotasi udara terlarut yang menggunakan tawas sebagai flokulat dan gelembung udara. bentuk flotasi lainnya menggunakan flotasi buih tetapi biaya flotasi diperkirakan terlalu tinggi untuk kebutuhan komersial.

2.8.4 Flokulasi

Flokulasi adalah metode untuk memisahkan alga dari media dengan menggunakan bahan kimia untuk memaksa ganggang untuk membentuk

flok/gumpalan. Kerugian utama dari metode ini adalah pemisahan bahan kimia tambahan sulit untuk dihilangkan dari alga yang telah dipisahkan, mungkin membuatnya tidak ekonomis tidak efisien untuk penggunaan komersial, meskipun mungkin praktis untuk penggunaan pribadi. Biaya untuk menghapus bahan kimia ini mungkin terlalu mahal untuk komersial. Flokulan yang digunakan adalah alum dan besi klorida. Pemanenan oleh flokulasi kimia merupakan metode yang sering terlalu mahal untuk operasi besar. Mengganggu pasokan karbon dioksida ke sistem alga serta dapat menyebabkan ganggang untuk *flocculate* sendiri, yang disebut "autoflocculation".

2.9 Membran

Teknologi membran mulai dikenal sejak tahun 1831, saat dimana Mitchell melaporkan hasil penelitiannya . dengan menggunakan membran karet, gas – gas dapat melewatinya dan fluks tiap gas berbeda. Sekalipun hal ini menjadi dasar dari pengetahuan tentang membran, teknologi membran sendiri baru berkembang dalam 20 – 30 tahun terakhir (Osada, 1992)

Membran didefinisikan sebagai suatu lapisan tipis yang selektif sebagai penghalang diantara dua fluida yang melewatinya (mulder, 1991). Membran untuk separasi gas bekerja dengan prinsip bahwa beberapa gas lebih dapat larut dan lebih dapat melewati membran daripada gas lainnya. Membran dapat dibuat dari berbagai jenis bahan . Saat ini bahan yang paling banyak digunakan untuk membuat membran adalah polimer hal ini disebabkan karena membran yang terbuat dari polimer mempunyai kestabilan kimia, kestabilan termal dan mekanisme yang baik terhadap pemisahan gas.

Berdasarkan sumber perolehannya membran dapat diklasifikasikan sebagai membrane alami dan sintesis. Membran alami dikenal juga sebagai membran biologis, terutama mengandung lipida dan protein. Membrane jenis ini banyak digunakan untuk industri farmasi dan makanan. Membrane sintesis terbagi atas membrane organik dan anorganik. Meskipun membrane anorganik memiliki kestabilan termal dan kimia yang lebih baik daripada membrane organik tetapi penggunaan membrane ini untuk industri masih terbatas.

Ditinjau dari morfologinya membrane dapat dibagi dalam dua golongan besar. Pertama berdasarkan ukuran porinya, dimana membran dibedakan atas membrane berpori dan tidak berpori. Ukuran pori menurut IUPAC 1985 (Mulder 1991) adalah :

- Makropori, ukuran pori lebih besar dari 50 nm
- Mesopori, ukuran pori antara 2 - 50 nm
- Mikropori, ukuran pori lebih kecil dari 2 nm

Berdasarkan strukturnya, membran dibagi menjadi dua, yaitu membran struktur simetris dan struktur asimetris. Suatu membran dikatakan simetris apabila memiliki struktur yang sama dari lapisan atas sampai ke lapisan bawah, ketebalan membran simetris berkisar antara 10 – 200 μm . ketebalan membran secara keseluruhan akan menentukan besarnya perpindahan massa. Semakin tipis membran , laju penyerapannya semakin besar. Membran simetris sendiri terdiri dari tiga jenis yaitu membran berpori silinder, membran berpori dan membran homogen.

Membran asimetris adalah membran yang memiliki struktur yang berbeda dari lapisan atas ke lapisan bawah. Membran ini mempunyai lapisan atas yang rapat dengan ketebalan 50 – 100 μm . membran jenis ini menggabungkan selektivitas yang tinggi dari lapisan yang rapat dengan laju permeasi yang tinggi dari membran yang sangat tipis. Tahanan perpindahan massa membran ini ditentukan oleh ketebalan lapisan atasnya. Jenis lain membran asimetris adalah tipe komposit , yaitu membran yang lapisan atas dan lapisan pendukungnya terdiri atas polimer yang berbeda. Tebal lapisan atas membran ini berkisar antara 0,1 – 1.0 μm laju permeasinya tergantung dari ukuran pori lapisan pendukung dan komposisi polimer lapisan atas.

2.9.1 Kelebihan dan kekurangan membran

Dibandingkan dengan teknik pemisahan lainnya, teknologi membran mempunyai beberapa kelebihan antara lain :

- Kosumsi energi yang digunakan relatif rendah karena pada prosesnya tidak memerlukan perubahan fasa dari gas yang akan dipisahkan.
- Pemisahan dapat dilakukan pada suhu lingkungan, karena pemakaian pada suhu tinggi akan menyebabkan pecahnya membrane
- Peralatan yang digunakan relatif lebih sedikit dan fleksible dalam penggunaannya.
- Prosesnya mudah dikombinasikan dengan proses lain.

Selain keunggulan – keunggulan diatas, teknologi membran memiliki beberapa kelemahan yaitu

- Waktu pakainya relatif singkat
- Adanya *membrane fouling*, yaitu kotoran yang mengendap pada permukaan membran.
- Membran rentan terhadap senyawa organik dan bahan kimia. Pada keadaan tertentu dapat diatasi dengan penggunaan membran anorganik (Mulder, 1991)

2.9.2 Mekanisme perpindahan massa pada membran

Teori yang digunakan untuk menjelaskan perpindahan massa pada membran berpori rapat adalah teori pelarutan – difusi (*solution – diffusion*). Proses gas melewati membran dapat terjadi karena adanya perbedaan tekanan antara kedua sisi membran sehingga molekul gas dari sisi membrane bertekanan tinggi akan bergerak menuju permukaan membran. Molekul gas akan larut di permukaan membran dan berdifusi ke permukaan lainnya, kemudian gas akan lepas pada sisi membran bertekanan rendah.

Fluks massa gas per unit luas membran dapat dinyatakan dalam hukum fick :

$$\left(\frac{Q}{A} \right) = -D \frac{dC}{dx} \quad (2.1)$$

Dengan :

$\left(\frac{Q}{A}\right)$ = fluks per satuan luas,

D = koefisien difusi

$\frac{dC}{dx}$ = gradient konsentrasi.

Difusivitas gas dalam polimer dianggap tetap tidak bergantung pada konsentrasinya. Integrasi persamaan diatas sepanjang tebal membran menghasilkan

$$\left(\frac{Q}{A}\right) = -\left(\frac{D}{l}\right) (C_1 - C_2) \quad (2.2)$$

Dengan

l = Tebal Membran

Untuk gas – gas yang memiliki hubungan linear antara konsentrasi dengan tekanan, kelarutan gas pada membrane dapat dinyatakan dalam hokum Henry :

$$C = S \times p \quad (2.3)$$

Dimana

C = Konsentrasi gas

S = koefisien kelarutan.

p = Tekanan

Dengan mensubtitusikan C dalam persamaan (2.3) dengan persamaan (2.2) diperoleh:

$$\left(\frac{Q}{A}\right) = -\left(\frac{D \times S}{l}\right) (p_1 - p_2) \quad (2.4)$$

Hasil kali koefisien difusi dengan koefisien kelarutan disebut koefisien permeabilitas (P) :

$$P = D \times S \quad (2.5)$$

Persamaan ini menggambarkan penembusan gas didalam membrane melalui dua tahap, yaitu pelarutan dan difusi. Jadi persamaan (2.5) dapat ditulis kembali sebagai

$$\left(\frac{Q}{A}\right) = -\left(\frac{P}{l}\right) (p_1 - p_2) \quad (2.6.a)$$

Atau

$$\left(\frac{P}{l}\right) = \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)}{\Delta p} \quad (2.6.b)$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa laju alir komponen gas melewati membrane sebanding dengan perbedaan tekanan parsial gas dan berbanding terbalik dengan ketebalan membrane

2.10 Filtrasi dan Alterasi

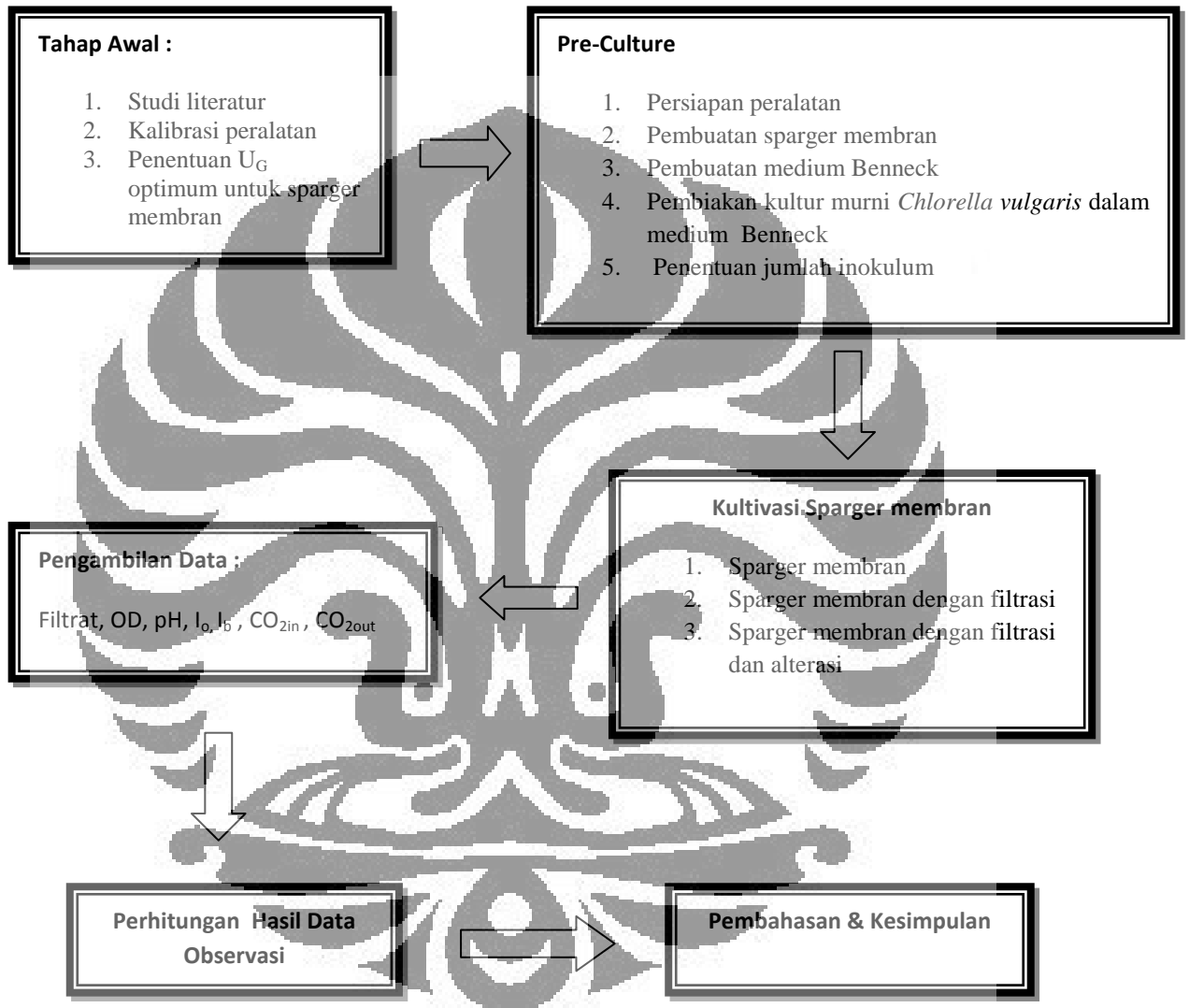
Perlakuan filtrasi pada aliran sirkulasi kultur alga bertujuan memerangkap sebagian biomassa dalam kultur untuk mengurangi kepadatan sel yang berada didalam reaktor. Teknik Filtrasi dilakukan dengan cara mengalirkan sejumlah biomassa ke dalam busa berpori dengan kecepatan tertentu. Busa berpori tersebut kemudian akan memerangkap sebagian biomassa yang dialirkan kedalamnya dengan terperangkapnya sebagian biomassa tersebut maka kepadatan sel didalam reaktor akan berkurang. Dengan berkurangnya kepadatan, pengaruh *self shading* (peristiwa penutupan satu sel oleh sel lain yang menyebabkan tidak meratanya cahaya dan CO₂ yang didapatkan oleh alga yang terjadi dalam kultur alga di dalam reaktor dapat diatasi. Didalam menggunakan metode filtrasi ini perlu dilakukan pengaturan terhadap laju alir hisap yang digunakan serta lamanya waktu filtrasi. Bila laju alir yang digunakan terlalu besar atau waktu filtrasi yang

dilakukan terlalu cepat maka jumlah biopmassa yang terperangkap akan menjadi sangat besar hal ini pada akhirnya akan mengganggu laju pertumbuhan dari *C. vulgaris* karena jumlah sel yang terperangkakan lebih besar dari laju pembelahan sel sehingga lambat laun jumlah sel didalam reactor akan semakin berkurang.. Jika laju alir yang dilakukan terlalu lambat atau waktu filtrasi yang dilakukan terlalu panjang maka kepadatan sel didalam reactor tidak akan berkurang akibatnya efek *self shading* akan tetap terjadi.

Alterasi adalah suatu metode pencahayaan dimana intensitas cahaya di atur menjadi intensitas cahaya optimum untuk pertumbuhan *C. vulgaris*. Pengaturan ini berdasarkan pada kepadatan sel yang terdapat didalam reactor. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengurangi adanya *self shading* yaitu tidak meratanya intensitas cahaya yang diterima oleh *C. vulgaris* akibat terhalang oleh sel yang ada didepannya. Intensitas cahaya yang diberikan harus dijaga pada intensitas cahaya yang optimum penggunaan intensitas cahaya yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat mempengaruhi laju pertumbuhan serta kandungan nutrisi pada *C. vulgaris*.

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir Penelitian

3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Chlorella vulgaris* yang didapat dari balai perikanan air tawar kota Depok
2. KH_2PO_4 , MgSO_4 , NaNO_3 , dan FeCl_3 untuk pembuatan medium bennek.
3. Gas CO_2 sebagai bahan fotosintesis mikroalga
4. Aquadest untuk membuat medium benneck dan mencuci peralatan.
5. Alkohol 70% untuk sterilisasi peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. Fotobioreaktor bervolume 18 L
2. *Sparger* yang terbuat dari membran serat berongga
3. Kompresor udara portabel 2 out put 1 hp
4. Tabung gas CO_2 yang dilengkapi dengan regulator
5. Sistem filterasi
6. Flow meter
7. Selang silikon dan selang plastik
8. Lampu Philips TL 23 VA
9. Transfer box
10. Timbangan
11. Spatula

Instrumen pengambilan data yang digunakan adalah:

1. GC TCD
2. Spektrofotometer UV-VIS (*spekto UV-VIS spectrophotometer, LaboMed.Inc*)
3. Cuvet 5 ml
4. Lux meter (*Lux Lightmeter LX-103*)
5. pH meter

Peralatan tambahan yang digunakan adalah :

1. Peralatan glassware yang terdiri dari erlenmeyer, pipet ukur, pipet tetes, gelas ukur, botol sampel, beaker glass dengan volume sesuai dengan kebutuhan.
2. Bunsen

3. Lemari kerja UV

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel ini adalah variabel yang diatur pada harga tertentu. Variabel bebas yang ditentukan dalam penelitian ini adalah waktu pengambilan data (t), dan jumlah sel awal.(No). Selain itu terdapat pula variable semi bebas. Yaitu variabel yang besarnya kita tentukan sendiri namun pada penentuannya tergantung pada besar variable lainnya. Variabel semi bebas pada penelitian ini adalah intensitas (I) cahaya yang diberikan pada *Chlorella vulgaris*, yang besarnya bergantung dari banyaknya sel mikroalga tersebut.

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat ini besarnya didapatkan lewat pengukuran (data yang diinginkan). Variabel terikat pada penelitian ini adalah absorbansi (OD), jumlah sel setiap selang waktu tertentu (X), pH, dan besar intensitas cahaya di belakang reaktor (I_b).

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Studi Literatur

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

3.4.2 Persiapan Peralatan dan Medium

a) Pembuatan Rangkaian Peralatan

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

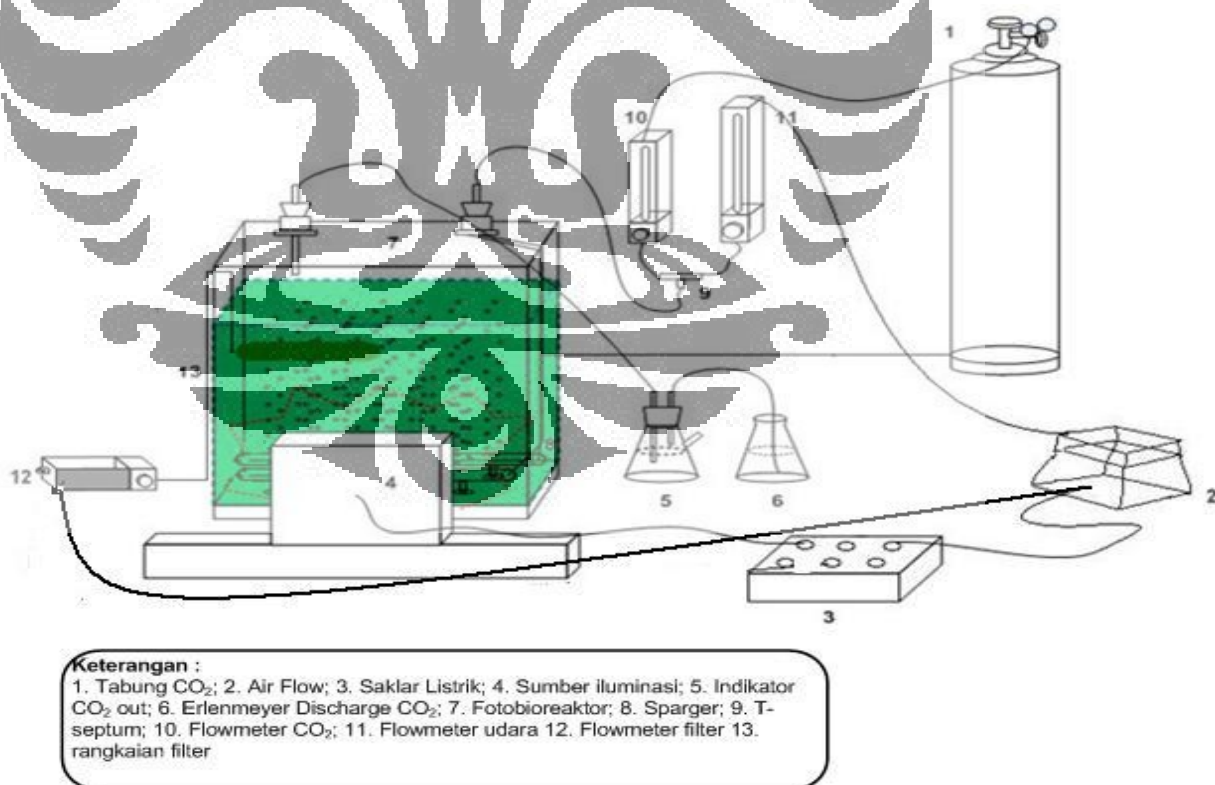
Untuk penghubung rangkaian digunakan selang silikon dan selang plastik. Pada tiap sambungan selang dilapisi dengan selotip untuk memastikan tidak ada sambungan yang bocor sekaligus mencegah kontaminan masuk ke dalam rangkaian.

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

Kalibrasi flowmeter juga dilakukan agar dapat diketahui dengan tepat skala dari masing-masing flowmeter. Hal ini penting karena CO_2 sebagai *carbon source* yang akan dialirkan harus selalu dijaga konstan pada konsentrasi 5% dari laju aliran total.

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

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



Gambar 3.2. Skema Alat Penelitian

b) Sterilisasi Peralatan

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

Langkah-langkah sterilisasi alat :

1. Pencucian Alat

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

2. Pengeringan

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

3. Sterilisasi

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

4. Penyimpanan

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

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

c). Pembuatan Medium Benneck

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

Tabel 3.1 Bahan – Bahan Pembuatan Medium Benneck

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

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

Cara membuat satu liter medium :

1. Menyiapkan bahan-bahan di atas : MgSO₄ 100 mg, KH₂PO₄ 200 mg, NaNO₃ 500 mg, FeCl₃ 3-5 mg. Lalu keempat bahan tersebut dilarutkan dalam 1 dm³ aquadest, diaduk sampai seluruh bahan larut.
2. Medium disterilisasi menggunakan *autoclave* selama ±1,5 jam, lalu didinginkan. Lakukan pemanasan sebanyak ±3 kali untuk memastikan medium benar-benar steril. Cara membuka *autoclave* harus menunggu suhu dan tekanan *autoclave* turun agar tidak berbahaya.

3. Medium yang telah steril dan dingin dapat disimpan dalam lemari yang telah disterilisasi dengan UV atau lemari pendingin bila tidak langsung digunakan. Apabila terdapat endapan pada dasar medium, harus dipisahkan terlebih dahulu sebelum disimpan.

3.4.3 Pemiakan Kultur *Chlorella Vulgaris* Dalam Medium Benneck

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

Cara pemiakan medium kultur murni :

1. Menyiapkan medium serta peralatan pemiakan (wadah, selang udara, tutup wadah) lalu disterilkan terlebih dahulu.
2. Stock murni *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dimasukkan kedalam wadah steril dan dicampur dengan medium Benneck yang telah steril. Perbandingan antara jumlah stock *Chlorella* dengan medium dapat diatur sesuai kebutuhan riset. Pemindahan ini harus dijaga steril, dilakukan dalam *transfer box*, lingkungan disterilkan dengan alkohol 70% dan menggunakan api Bunsen.
3. Lalu medium kultur tersebut di-*bubbling* dengan menggunakan kompresor udara dan CO₂ sebesar 1v/vm. Pada tahap ini juga harus diberikan cahaya namun dengan intensitas yang kecil ± 1000 lx.
4. Pemiakan dapat dilakukan selama satu minggu atau lebih bila bertujuan untuk memperbanyak stok yang ada, tetapi jika hanya untuk melewati *lag time* dapat dilakukan selama 2-3 hari atau ± 60 jam, tergantung jumlah selnya.

3.4.4 Penentuan Kerapatan Innokulum

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

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

3.4.5 Pelaksanaan Kegiatan Riset

Tahap pertama yang dilakukan adalah pre-culture kemudian dilakukan pencarian intensitas optimum untuk OD 0,2. Setelah itu, dilakukan kultivasi dengan menggunakan penggabungan metode filtrasi dan Alterasi.

Sistem Filtrasi yang digunakan menggunakan dua buah Filter yang masing – masing dihubungkan dengan sebuah flowmeter untuk mengatur laju alir hisap filter. Pengaturan laju alir hisap ini dilakukan setiap 4 jam dan besarnya disesuaikan dengan kerapatan sel di dalam reaktor. Besarnya laju alir hisap yang digunakan diperoleh dari grafik X Vs σ (laju alir hisap) (Heru Darmawan, 2010)

Pada penelitian ini digunakan proses pencahayaan alterasi. Yaitu pencahayaan secara terus menerus dengan besar intensitas cahaya yang disesuaikan dengan banyaknya sel mikroalga tersebut. Intensitas yang dipergunakan adalah intensitas optimum yang diperoleh dari Kurva X Vs I (Sang Made Kresnam 2004). Pada tahap awal ini digunakan inokulum dengan *Optical Density (OD)* sebesar 0,2

Kondisi operasi yang digunakan saat proses kultivasi dijalankan adalah sebagai berikut.

1. Temperatur fotobioreaktor sebesar 29°C.
2. Tekanan gas dan udara dalam fotobioreaktor sebesar 1 atm.
3. Kecepatan superficial yang digunakan adalah 15,7 m/jam untuk sparger biasa
4. Kecepatan Superficial untuk sparger membran sebesar 3,546 m/jam
5. Konsentrasi CO₂ yang digunakan adalah sebesar 5%.

3.4.6 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan setiap 4 jam. Sedangkan pengambilan data filter dilakukan setiap 12 jam. Data yang diambil adalah X, pH, I_0 , I_b , y CO_{2in} , dan y CO_{2out} . Proses pengambilan data yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Pengambilan data X dilakukan dengan mengambil sampel ke dalam botol sampel sekitar 5 ml dalam 3 botol yang berbeda. Masing - masing sampel tersebut kemudian diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer dan dirata-ratakan nilainya. Dari nilai rata-rata absorbansi yang didapat tersebut dapat dilihat nilai X nya pada kurva kalibrasi X vs OD.
2. Pengambilan data pH dilakukan dengan menggunakan pH meter. Hal ini untuk melihat aktivitas sel mikroalga.
3. Pengambilan data I_0 dan I_b dilakukan dengan menggunakan luxmeter yang diletakkan didepan dan dibelakang fotobioreaktor.
4. Pengambilan data y CO_{2in} , dan y CO_{2out} dilakukan dengan menggunakan *Gas Chromathography* (GC)

3.5 Metode Perhitungan Data Penelitian

Variabel penelitian yang diambil yaitu OD_{680} , pH, y_{CO_2} , I_0 dan I_b akan diolah menggunakan beberapa metode perhitungan, antara lain :

3.5.1 Perhitungan CTR (Wijanarko, A., 2003)

CTR (*Carbon Transfer Rate*) merupakan banyaknya gas CO_2 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 :

$$CTR = \Delta y \text{ CO}_2 \cdot \alpha \text{ CO}_2 \quad (3.1)$$

$$\text{di mana : } \alpha \text{ CO}_2 = \frac{U_G \cdot A \cdot M_{CO_2} \cdot P}{V_{med} \cdot R \cdot T}$$

dengan :

U_G = kecepatan superficial gas yang diumpangkan. (m^3/hr)

A = luas permukaan reaktor yang menghadap ke sumber cahaya. (m^2)

M_{CO_2} = massa molekul relatif CO_2 . (gr/mol)

P = tekanan operasi. (atm)

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

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

T = temperatur operasi (K)

3.5.2 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.

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

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

$$\ln \left(\frac{H \text{ CO}_2}{H \text{ CO}_{2,0}} \right) = A_H \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_H \cdot \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) + C_H \left(\frac{T}{T_0} - 1 \right) \quad (\text{Wijanarko, 2000})$$

$$\ln \left(\frac{H \text{ CO}_2}{H \text{ CO}_{2,0}} \right) = A_K \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_K \cdot \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) + C_K \left(\frac{T}{T_0} - 1 \right) \quad (\text{Wijanarko, 2000})$$

Dengan menggabungkan kedua persamaan di atas, maka kandungan bikarbonat $[\text{HCO}_3^-]$ dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$[\text{HCO}_3^-] = \left(\frac{K \text{ CO}_{2,0}}{H \text{ CO}_{2,0}} \right) \left(\frac{y \text{ CO}_2 \cdot P_T}{10^{-\text{pH}}} \right) \left(\frac{\text{EXP} \left[A_k \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_k \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) + C_k \left(\frac{T}{T_0} - 1 \right) \right]}{\text{EXP} \left[A_h \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_h \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) + C_h \left(\frac{T}{T_0} - 1 \right) \right]} \right) \quad (3.2)$$

dimana..

P_T = temperatur operasi. (atm)

$y \text{ CO}_2$ = konsentrasi gas CO_2 yang diumpankan.

$K \text{ CO}_{2,0} = 4.38 \cdot 10^{-7}$

$H \text{ CO}_{2,0} = 2900 \frac{\text{kPa} \cdot \text{kg}}{\text{mol}}$

T = temperatur operasi (K)

T_0 = temperatur standar (K)

Konstanta-konstanta aktivitas gas CO_2 :

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

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

3.5.3 Perhitungan X

Jumlah biomassa yang dihasilkan dari kultur mikrolaga dapat dihitung secara langsung dengan mengkorelasikan hasil pengukuran kerapatan optik pada 680 nm (OD_{680}) 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 :

$$\mu = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} \quad \text{atau} \quad \mu = \frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dt} \quad (\text{Schugerl dan Bellgardt, 2000}) \quad (3.3)$$

dimana:

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

N = jumlah sel (sel/cm^3)

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

t = waktu (h)

3.5.4 Perhitungan Laju Fiksasi CO_2 (q_{CO_2})

q_{CO_2} adalah laju gas CO_2 yang ditransfer dalam suatu volum medium karena adanya aktivitas kehidupan biologi dalam satu satuan waktu tertentu.

$$q_{CO_2} = \frac{\Delta y_{CO_2} \cdot \alpha_{CO_2}}{X} \quad (h^{-1}) \quad (3.4)$$

dimana :

X = berat kering 1 sel *Chlorella vulgaris* B. X jumlah sel/cm^3 (g/dm^3)

Δy_{CO_2} = selisih antara konsentrasi CO_2 pada gas keluaran dan gas masukan bioreaktor tembus cahaya

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

Dalam penelitian ini :

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

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

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

3.6 Prosedur Penggunaan Peralatan Pengukuran

a. Spektrofotometer Double Beam 200 – 20

➤ Pemanasan dan Pengaturan

1. Power Switch : ON
2. W Lamp Switch : ON
3. D Lamp Switch : ON
4. % T Switch : ON
5. x10 switch : x1
6. Tombol pemilih lampu : UV / Vis
7. SLIT control : 2 nm
8. Response Switch : MED
9. Zero Supression Swich : OFF
10. Scan Speed Switch : 480 & 120 nm/min
11. Scan Switch : OFF
12. Wavelength : Pilih yang sesuai (diputar)
13. Desimal Point Switch : % Abs
14. Panaskan alat selama 15 menit

15. Buka penutup ruang “SAMPEL”. Pasanglah SHUTTER (yang berwarna hitam) pada sisi sampel (sisi depan) untung memotong berkas sinar. Ruang sampel kembali ditutup
16. Atur control %T sampai unit digital menunjukkan angka 0.00
17. Buka ruang sampel. Ambil SHUTTER dan ruang sampel ditutup kembali.
18. Atur control 100% T / 0 ABS sampai unit display digital menunjukkan angka 100.0

➤ Pengukuran Absorbansi

1. Setelah memasang larutan *reference* (blank) pada sisi *reference* dan sampel pada sisi *sample*. Tutup kembali ruang sampel.
2. Atur control 100% T / 0 Abs sampai unit digital menunjukkan 100.0
3. Tekan Switch ABS 0-2 atau ABS 0-3 sesuai dengan konsentrasi sampel. % T normalnya harus sesuai dengan nilai pada ABS.
4. Pasang sampel yang tidak diketahui konsentrasinya pada sisi sampel dan ukur absorbansinya.
5. Apabila absorbansi sampel lebih rendah dari 0.2, ubah switch x1 menjadi x10.

➤ Pengukuran Transmisi

1. Lakukan prosedur II point 1 dan 2.
2. Pasang sampel yang tidak diketahui konsentrasinya pada sisi sampel dan ukur transmisinya.
3. Apabila transmisi sampel lebih rendah dari 20%, ubah switch x1 menjadi x10.

b. Gas Chromatography (GC)

➤ Pemanasan

1. Atur regulator gas *carrier* pada tekanan 6 bar
2. Power GC: ON
3. Tur suhu injeksi, kolom dan suhu initial dengan ketentuan

Suhu injeksi (INJ) → 130°C

Suhu kolom (COL) → 100°C,

Suhu inihal → 100°C

4. Current pada posisi → 0
5. Tunggu hingga suhu stabil yang ditandai dengan lampu indikator suhu berkedip – kedip
6. Naikkan current sesuai dengan gas carrier

➤ Pengaturan

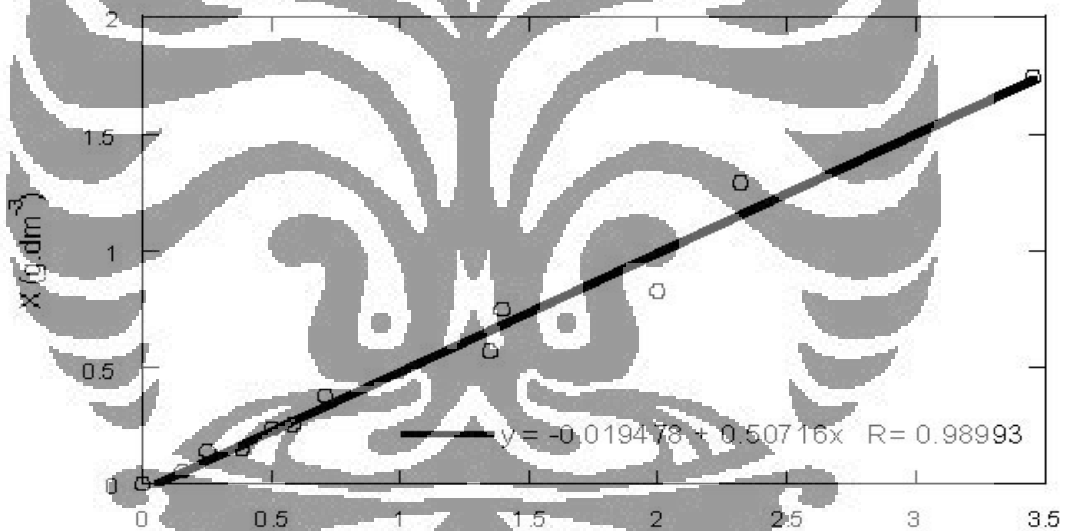
1. Power “ON”, sampai lampu “ready” dan “power” menyala
2. Tekan “shift down” (ditahan) + I N I → ENTER
3. Tekan “shift down” + “plot” → ENTER
→ lakukan pengaturan hingga garis yang terbentuk lurus
4. Setelah garis yang terbentuk lurus tekan “shift down” + “plot” → ENTER
5. Lakukan pengukuran Attent yang digunakan dengan cara
Tekan “Atten (G)” → nilai Attent yang digunakan → ENTER
6. Lakukan Pengaturan Speed yang digunakan dengan cara
Tekan “Speed (H)” → nilai speed yang diinginkan → ENTER
7. Lakukan pengaturan Stop time
Tekan “Stop TM (F)” → masukan nilai stop time → ENTER
8. Tekan “Shift down” + “Print” + “Width(A)” → ENTER
→ untuk melihat hasil setting
9. Lakukan pengaturan nilai width yang digunakan dengan cara memutar panel width
10. Tekan “Print” + (“Ctrl” + “Width”) → ENTER
→ untuk melihat hasil pengaturan width

➤ Mematikan GC

1. Current diturunkan hingga 0
2. Suhu injeksi → 30°C, Suhu kolom → 30°C, Suhu inihal → 30°C
3. Tunggu hingga suhu injek di bawah 70°C
4. Power OFF

3.7 Pembuatan Kurva OD vs X

Pembuatan Kurva OD vs X diawali dengan membuat beberapa sampel dengan nilai Optical Density (OD) yang berbeda – beda. Untuk satu nilai OD dibuat 3 sampel hal ini dimaksudkan agar hasil pengukuran menjadi lebih akurat. Sampel yang telah dibuat kemudian dikeringkan dengan menggunakan hot plate atau microwave tujuannya adalah untuk menghilangkan kadar air yang berada didalam sampel. Sampel yang telah dikeringkan kemudian ditimbang untuk mengetahui berat kering dari sampel tersebut. Untuk satu buah sampel dilakukan penimbangan sebanyak 3 kali. Berat kering diperoleh dari hasil rata – rata penimbangan untuk setiap sampel. Setelah diperoleh berat kering dari masing – masing sampel kemudian di buat grafik antara OD vs X yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan nilai berat kering (X) dari hasil kultivasi. grafik antara OD vs X dapat dilihat pada gambar (3.3)



Gambar 3.3 Grafik OD vs X

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

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

4.1 Pembahasan umum

Pada penelitian ini, mikroalga *C.vulgaris* dikultivasi dalam sebuah fotobioreaktor kolom gelembung dengan sistem aerasi menggunakan sparger membran melalui teknik filtrasi dengan pencahayaan alterasi. Volume yang digunakan selama proses kultivasi adalah 18 L. Pembahasan mengenai hasil penelitian ini akan ditekankan pada pengaruh penggunaan membran sebagai media aerasi dengan peningkatan produksi biomassa dan kemampuan fiksasi CO₂ *Chlorella vulgaris* serta pengaruh metode filtrasi dan alterasi dalam mengoptimalkan kemampuan tersebut.

Pada penelitian ini medium yang digunakan adalah medium benneck. Penggunaan medium benneck sebagai media hidup kultur adalah karena didalam medium tersebut terdapat banyak senyawa makro yang diperlukan dalam pertumbuhan *Chlorella vulgaris* (*Wirosaputro, 2002*).

Pada penelitian ini, mikroalga yang digunakan adalah jenis *C.vulgaris* yang berasal dari dari koleksi kultur Sub Balai Penelitian Perikanan Air Tawar Depok. Penelitian ini menggunakan fotobioreaktor tembus cahaya bervolume 18 L dengan sistem aerasi menggunakan membran. Desain dengan ukuran ini bertujuan agar cahaya yang diberikan dari sumber iluminasi dapat secara merata diterima oleh kultur mikroalga sehingga efek self shading tidak terjadi dan proses fotosintesis mikroalga dapat berlangsung optimum. Penggunaan fotobioreaktor flat gelembung tembus cahaya dilakukan karena fotobioreaktor jenis ini merupakan peralatan yang sesuai untuk budidaya mikroorganisme fotosintesa karena maksimalisasi peningkatan produksi dan penyediaan cahaya yang secara simultan memberikan laju produksi volumetrik yang tinggi dapat dilakukan pada reaktor ini (*Wijanarko, 2006*).

Fotobioreaktor flat yang digunakan dilengkapi dengan dua buah filter berupa busa berpori dengan waktu filtrasi 12 jam . Tujuan penggunaan filter ini adalah menyerap biomassa yang dihasilkan *Chlorella* akibat pembelahan sel yang terjadi. Dengan diserapnya sebagian biomassa maka kepekatan atau kepadatan sel dalam fotobioreaktor berkurang sehingga terjadi pengurangan kompetisi mikroalga dalam menggunakan nutrisi serta mengurangi efek *self shading*. Dengan berkurangnya kompetisi dan efek *self shading* maka pencahayaan yang diterima mikroalgamenjadi optimal sehingga proses fotosintesis yang berlangsung pada mikroalga juga menjadi optimal.

Selain itu penggunaan filter juga memperbesar jumlah biomassa yang dihasilkan. Biomassa yang dihasilkan merupakan jumlah biomassa yang ada dalam fotobioreaktor dan filtrat. Oleh karena itu diharapkan biomassa yang dihasilkan dalam kultivasi secara *batch dengan filter* akan menghasilkan biomassa yang lebih besar daripada kultivasi tanpa filter pada bentuk, ukuran, dan volum fotobioreaktor yang sama.

Pencahayaan yang diberikan selama proses kultivasi menggunakan metode alterasi dimana pencahayaan yang diberikan terhadap fotobioreaktor berubah – ubah berdasar pada kerapatan sel alga yang berada didalam reaktor. Tujuan penggunaan metode alterasi adalah agar *Chlorella vulgaris* selalu mendapatkan intensitas cahaya pertumbuhan yang optimum sehingga pertumbuhan dapat berlangsung dengan lebih optimal.

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan. Tahapan awal penelitian ini dimulai dengan melakukan kultur awal pada *C. vulgaris*. Tahapan ini mencakup sterilisasi peralatan, pembuatan medium Benneck, dan pembiakan kultur murni *C. vulgaris* Buitenzorg. Alasan Pemilihan medium Benneck sebagai nutrisi untuk pertumbuhan mikroalga adalah karena medium ini mengandung unsur makro dan mikro yang sangat dibutuhkan oleh mikroalga. Unsur makro yang dibutuhkan berasal dari senyawa $MgSO_4$, $NaNO_3$, KH_2PO_4 , sedangkan unsur mikro berasal dari senyawa $FeCl_3$. pembiakan kultur murni *Chlorella vulgaris* Buitenzorg bertujuan untuk memperoleh kondisi mikroalga yang seragam sebagai stock yang

akan digunakan, memperbanyak sel serta membiasakan mikroalga berada pada kondisi operasi yang akan digunakan dalam proses ini.

Pada tahap awal penelitian, dilakukan pembuatan kurva OD₆₀₀ Vs X. Pembuatan kurva OD₆₀₀ Vs X ini bertujuan untuk memudahkan perhitungan terhadap berat kering sel yang dihasilkan dari proses kultivasi sehingga untuk mengetahui berat kering dari sampel cukup dengan hanya mengetahui absorbansi dan turbiditasnya (OD) yang kemudian dihubungkan dengan kurva OD₆₀₀ Vs X. Pembuatan kurva kalibrasi ini dilakukan pada panjang gelombang 600 nm.

Tahapan penelitian berikutnya adalah menentukan intensitas cahaya yang memberikan laju pertumbuhan maksimum ($I_{\mu\max, \text{opt}}$) dari tiap OD inokulum yang telah ditentukan. Proses selanjutnya adalah kultivasi *C. vulgaris*. Tahap ini diawali dengan pembuatan kerapatan awal dari mikroalga *C. vulgaris* yaitu pada OD berkisar antara 0,2 sampai dengan 0,3. Pembuatan OD inokulum ini adalah dengan cara menuangkan *Chlorella* dari hasil *pre-culture* 6 L dan ditambahkan medium 12 L. Selanjutnya, kultur mikroalga dialirkan udara dan 5% CO₂. Selain itu berdasarkan data yang diperoleh dari grafik I vs OD (Sang Made, 2005) maka diatur pencahayaan awal yang optimum ($I_{\mu\max, \text{opt}}$) pada OD 0,2 yaitu sebesar 5000 lx (1229,16 W/m²) dan laju alir hisap filter sebesar 3 L/menit pada OD 0,2 didasarkan pada grafik X vs σ (Heru, 2010).

Setelah semua kondisi operasi ditetapkan, kemudian dilaksanakan penelitian. Data yang diambil dalam penelitian ini adalah OD_{sel}, OD_{filtrat}, pH, I_{back} , $y_{\text{CO}_2\text{in}}$ dan $y_{\text{CO}_2\text{out}}$ untuk rentang waktu yang telah ditentukan. Pada penelitian ini dilakukan pengaturan pencahayaan (alterasi) dan pengaturan laju alir hisap setiap 4 jam sekali hal ini bertujuan untuk mengurangi kepadatan sel dalam fotobioreaktor sehingga diperoleh laju penyaringan dan laju pertumbuhan sel yang berkesesuaian sehingga intensitas cahaya yang diberikan menjadi optimal untuk pertumbuhan mikroalga. Akan tetapi, jika laju penyaringan lebih besar daripada pertumbuhan, maka akan terjadi pengurangan jumlah sel yang ada di dalam fotobioreaktor sehingga tidak dapat menghasilkan produktivitas biomassa yang besar. Sebaliknya, jika laju penyaringan lebih kecil daripada laju pertumbuhan maka efek *self shading* dalam fotobioreaktor akan terjadi sehingga akan terjadi

kompetisi dalam perebutan nutrisi oleh mikroalga yang menyebabkan fotosintesis pada mikroalga tidak optimal sehingga pertumbuhan mikroalga menjadi terhambat.

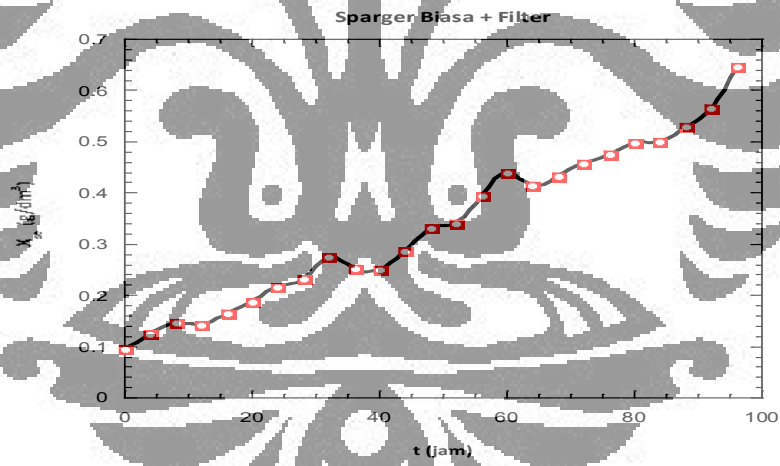
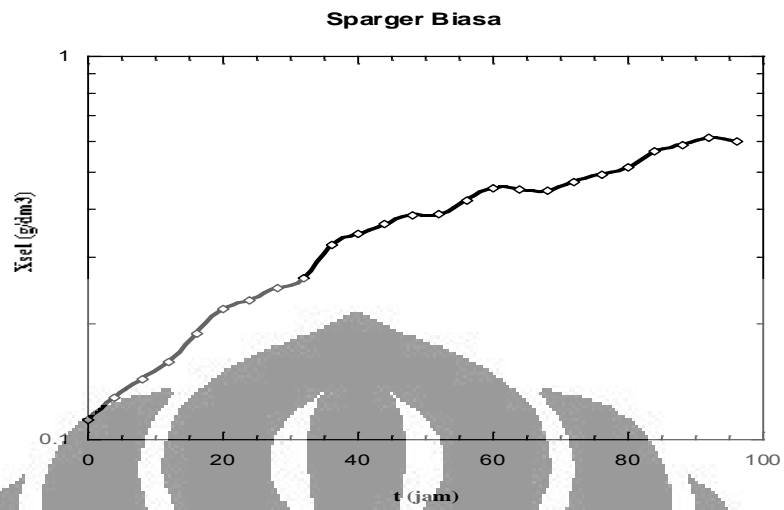
Data pH digunakan untuk melakukan perhitungan terhadap konsentrasi substrat $[\text{HCO}_3^-]$ yang terdapat dalam medium. konsentrasi menunjukkan kemampuan aktivitas sel dalam fotobioreaktor sedangkan data I_0 dan I_{back} digunakan untuk mengetahui besarnya energi cahaya yang tersedia dan dikonversi untuk pertumbuhan *C. vulgaris* digunakan. Besarnya fiksasi CO_2 oleh *Chlorella* diketahui dari data $y_{\text{CO}_2\text{in}}$ dan $y_{\text{CO}_2\text{out}}$.

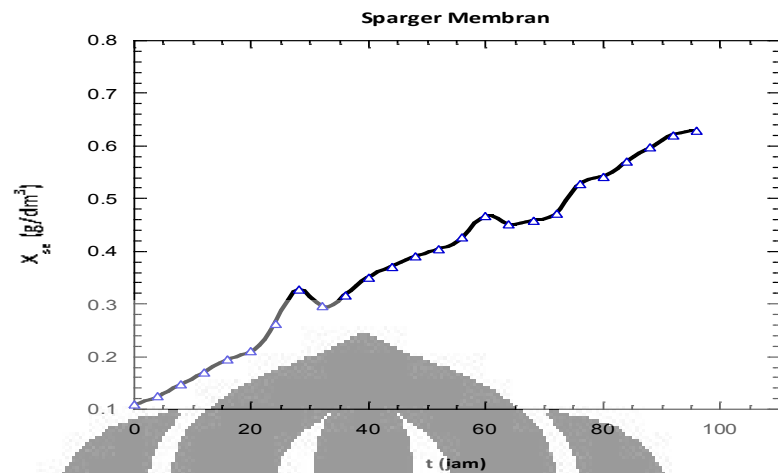
4.2 Data Penelitian

Data hasil pengamatan yang didapat dari penelitian ini disajikan dalam dua bentuk yaitu data dalam bentuk angka dan data dalam bentuk grafik. Berikut adalah data grafik yang didapat dari pengamatan terhadap reactor selama masa kultivasi

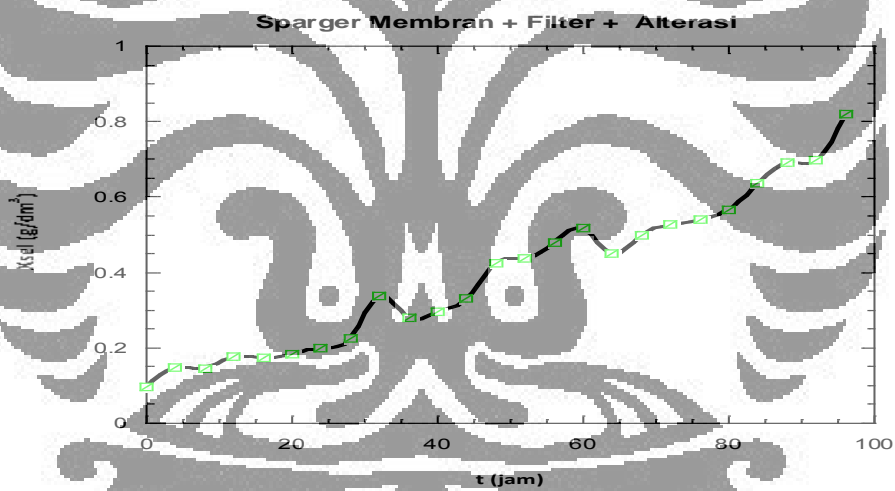
4.2.1 Pengaruh penggabungan Filterasi dan Alterasi Terhadap Produksi Biomassa (X) *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Data yang diperoleh dari penelitian ini adalah dalam nilai OD yang diukur menggunakan spektrofotometer. *Optical Density* merupakan parameter penting untuk menghitung berat kering sel *Chlorella*. Nilai OD ini dikonversikan menjadi nilai berat kering (X) menggunakan persamaan yang terdapat pada kurva kalibrasi $\text{OD}_{600\text{nm}}$ vs X. Semakin tinggi *Optical Density* (kepadatan sel) semakin besar berat kering *Chlorella*. Dengan bertambahnya periode kultivasi *Chlorella* maka berat kering sel bertambah besar. Berikut adalah grafik berat kering (X) vs t.





(C) Sparger Membran



(D) Membran + Filter + Alterasi

Gambar 4.1 Perbandingan X (berat kering)

Pada penelitian ini, digunakan inokulum awal dengan *Optical Density* (OD) berkisar antara 0,2 s.d. 0,3. Intensitas cahaya awal (I) yang digunakan diatur sebesar 5000 lux. Kondisi operasi yang dipergunakan selama proses kultivasi adalah :

- Temperatur fotobioreaktor sebesar 29°C.
- Tekanan gas dan udara dalam fotobioreaktor sebesar 1 atm.

- Kecepatan superficial (U_G) yang digunakan adalah 15,1 m/jam untuk sparger biasa
- Kecepatan Superficial (U_G) untuk sparger membran sebesar 3,546 m/jam
- Konsentrasi CO₂ yang masuk kedalam reaktor adalah sebesar 5%.
- Laju alir hisap (σ) sebesar 3 L/min

Kondisi Operasi yang dipergunakan dalam penelitian ini untuk sparger biasa ataupun sparger membran adalah kondisi operasi yang optimum untuk pertumbuhan *C. vulgaris*. Untuk proses kultivasi dengan menggunakan sistem filtrasi dilakukan perubahan laju alir hisap yang dilakukan setiap 4 jam disesuaikan dengan kepadatan sel didalam fotobioreaktor. Perubahan yang dilakukan menggunakan grafik X vs σ (Heru, 2010). Untuk system pencahayaan alterasi besar intensitas cahaya dirubah setiap 4 jam sesuai dengan kepadatan sel yang besarnya diatur berdasarkan grafik X vs I (Sang made,2005)

Pada grafik tersebut, terlihat bahwa berat kering biomassa cenderung naik dengan bertambahnya waktu. Hal ini diindikasikan dari bertambahnya nilai berat kering (X) dari *C. vulgaris* akibat dari proses reproduksi aseksual yang dilakukan oleh *Chlorella* berupa pembelahan sel dengan pembentukkan autospora. Tiap satu sel induk akan membelah 4, 8, atau 16 autospora yang selanjutnya akan menjadi sel-sel anak dan melepaskan diri dari induknya.

Dari grafik terlihat bahwa penggunaan membran sebagai aerator memberikan hasil produksi biomassa yang lebih baik bila dibandingkan dengan produksi biomassa pada fotobioreaktor yang menggunakan sparger biasa. Hal ini disebabkan karena penggunaan membran sebagai aerator dapat mengurangi *shear stress* yang dialami oleh *C. vulgaris* akibat proses aerasi. Pengurangan *shear stress* tersebut menyebabkan sistem metabolisme di dalam tubuh *Chlorella vulgaris* dapat berlangsung lebih baik yang pada akhirnya dapat meningkatkan produksi biomassa.

Penggunaan membran sebagai aerator dapat mengurangi efek stress yang dialami oleh *C. vulgaris* disebabkan karena membran memberikan luas permukaan kontak antara udara dengan medium di dalam fotobioreaktor lebih besar bila dibandingkan dengan luas permukaan kontak yang diberikan oleh

sparger biasa . selain itu udara yang keluar dari membran memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan udara yang keluar melalui sparger biasa. Kedua hal tersebut menyebabkan laju pencampuran (aerasi) udara dengan medium dapat berlangsung lebih baik sehingga laju alir udara yang menyebabkan efek stress dapat dikurangi.

Dari grafik terlihat penggunaan metode filtrasi yang digabungkan dengan alterasi pencahayaan untuk mengoptimalkan produksi biomassa dari penggunaan membran sebagai aerator menghasilkan peningkatan yang cukup besar . penggunaan kedua metode tersebut dalam jangka waktu 96 jam mampu meningkatkan produksi biomassa $\pm 30\%$ lebih banyak bila dibandingkan dengan produksi biomassa sparger membran, $\pm 26,6\%$ lebih banyak daripada produksi biomassa sparger biasa dengan filtrasi dan $\pm 36,7\%$ lebih banyak bila dibandingkan dengan produksi yang dihasilkan oleh sparger biasa.

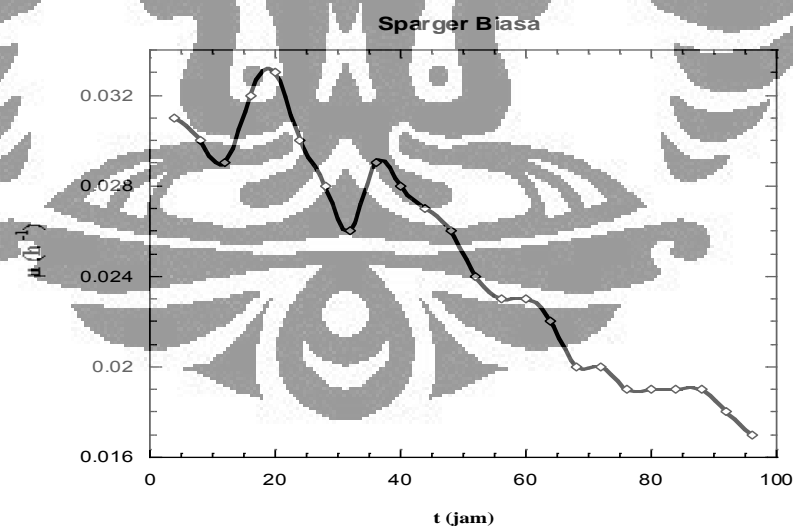
Besarnya laju peningkatan biomassa tersebut terjadi karena dengan metode filtrasi dan alterasi dapat menyediakan intensitas cahaya optimum yang dibutuhkan oleh *Chlorella vulgaris* untuk melakukan proses fotosintesis. Tujuan penggunaan metode filtrasi adalah menyerap biomassa yang dihasilkan *Chlorella* akibat pembelahan sel yang terjadi. Dengan diserap sebagian biomassa maka kepekatan atau kepadatan sel dalam fotobioreaktor berkurang sehingga terjadi pengurangan kompetisi mikroalga dalam menggunakan nutrisi serta mengurangi efek *self shading*. Waktu filterasi yang digunakan pada penelitian ini adalah 12 jam dengan menggunakan 2 buah filter. Proses pengambilan filter yang dilakukan 12 jam sekali ini dimaksudkan untuk mengurangi dampak pengurangan volum yang terjadi akibat frekuensi pemanenan yang terlalu sering. Pengurangan jumlah volume akan menyebabkan turbulensi dan *shear stress* didalam fotobioreaktor meningkat. Turbulensi dan *shear stress* ini mempengaruhi transfer massa dan difusi medium ke dalam sel *Chlorella* sehingga dapat mempengaruhi struktur *Chlorella* berupa perubahan dinding sel, ukuran sel, vakuola yang besar serta kecenderungan agregasi sel (Ponco,2010). Turbulensi dan *shear stress* yang besar merusak struktur sel dan perubahan perilaku *Chlorella*. selain itu tujuan waktu filtrasi yang lebih lama adalah agar jumlah sel – sel *Chlorella* yang terserap tidak

terlalu banyak Karena penyerapan sel chlorella yang terlalu banyak akan menyebabkan laju pembelahan sel chlorella akan berkurang yang pada akhirnya akan menurunkan produksi biomassa.

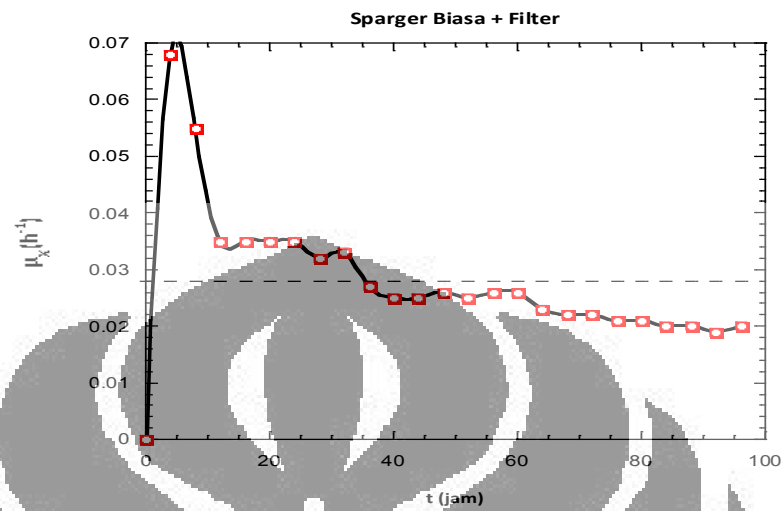
Penggunaan waktu filtrasi yang lebih lama menyebabkan peningkatan kepadatan didalam fotobiorektor lebih besar hal ini menyebabkan kemungkinan untuk terjadinya *self shading* dan perebutan nutrisi juga meningkat namun hal tersebut di atasi dengan penggunaan dua buah filter dan metode alterasi pencahayaan yang terbukti dapat meningkatkan produksi biomassa.

4.2.2 Pengaruh penggabungan Filtrasi dan Alterasi Terhadap Produksi Laju Pertumbuhan (μ_x) *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

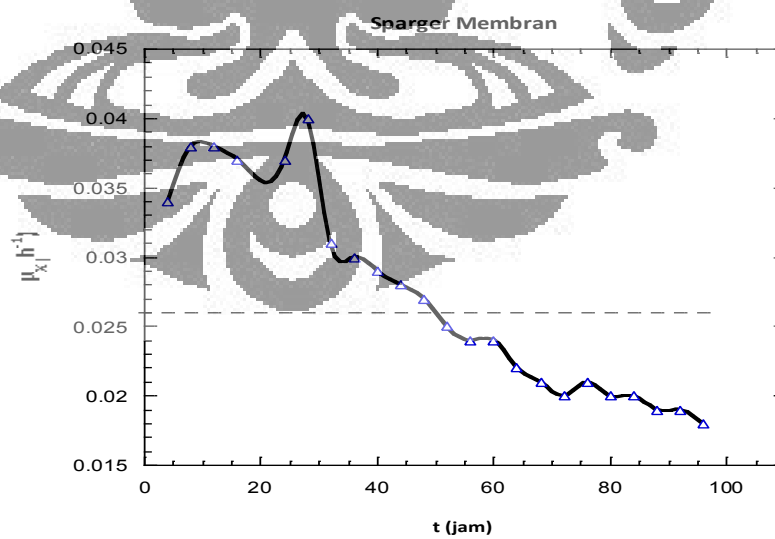
Laju pertumbuhan spesifik (μ_x) adalah laju pertumbuhan sel/produksi biomassa pada fasa logaritmik, yang merupakan waktu yang diperlukan untuk sekali pembelahan sel. Berikut adalah kurva laju pertumbuhan spesifik (μ_x) terhadap waktu (t)



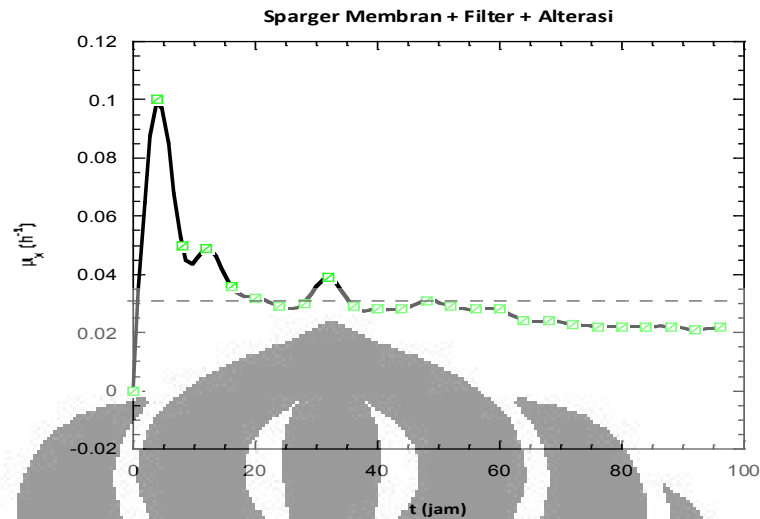
(A) Sparger Biasa



(B) Sparger Biasa + Filter



(c) Sparger Membran



(D) Sparger Membran + Filter + Alterasi

Grafik 4.2 Perbandingan Nilai Laju Pertumbuhan (μ_x)

Fase yang dialami oleh *Chlorella* adalah fase logaritmik (pertumbuhan). Seiring dengan bertambahnya waktu laju pertumbuhan akan mencapai titik maksimal (laju pertumbuhan maksimum), kemudian laju pertumbuhan akan mencapai fase stasioner hingga fase penurunan. Fenomena ini juga dapat dipahami dari persamaan (3.3) yang digunakan untuk menentukan laju pertumbuhan (μ), yaitu :

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

dimana :

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

N = jumlah sel (sel/cm^3)

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

t = waktu (h)

Persamaan di atas menunjukkan bahwa laju pertumbuhan dipengaruhi waktu dan berat kering sel. Pada waktu tertentu (awal-awal kultivasi), laju pertumbuhan *Chlorella* sebanding dengan peningkatan waktu kultivasi dan

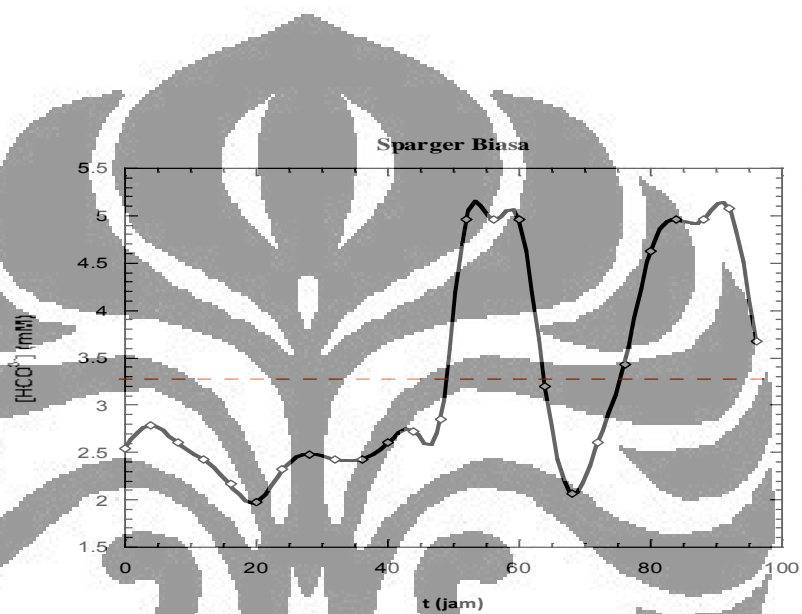
berbanding terbalik pada rentang waktu tertentu (setelah melewati waktu tertentu untuk laju pertumbuhan maksimal).

Dari grafik terlihat bahwa penggunaan membran sebagai aerator dapat meningkatkan laju pertumbuhan *C. vulgaris*. Penggunaan membran menghasilkan laju pertumbuhan rata – rata sebesar 0,026. Hasil yang diperoleh lebih besar dibandingkan laju pertumbuhan yang dihasilkan oleh kultivasi dengan sparger biasa dengan laju pertumbuhan rata – rata sebesar 0,024 hal ini disebabkan karena dengan penggunaan membran sebagai aerator laju difusi CO₂ didalam reaktor menjadi lebih besar. Besarnya laju difusi CO₂ menyebabkan jumlah CO₂ yang terlarut didalam medium semakin besar dengan kata lain sumber nutrisi bagi *C. vulgaris* untuk melakukan fotosintesis semakin banyak yang pada akhirnya akan berdampak pada meningkatnya laju pertumbuhan *C. vulgaris*. Secara keseluruhan laju pertumbuhan dengan penggunaan membran memang lebih baik bila dibandingkan dengan sparger biasa namun semakin lama laju pertumbuhan yang terjadi semakin kecil hal ini dikarenakan semakin lama kerapatan sel didalam fotobioreaktor semakin bertambah sementara intensitas cahaya yang diberikan konstan hal ini menyebabkan terjadinya efek *self shading* yang menghambat terjadinya proses fotosintesis.

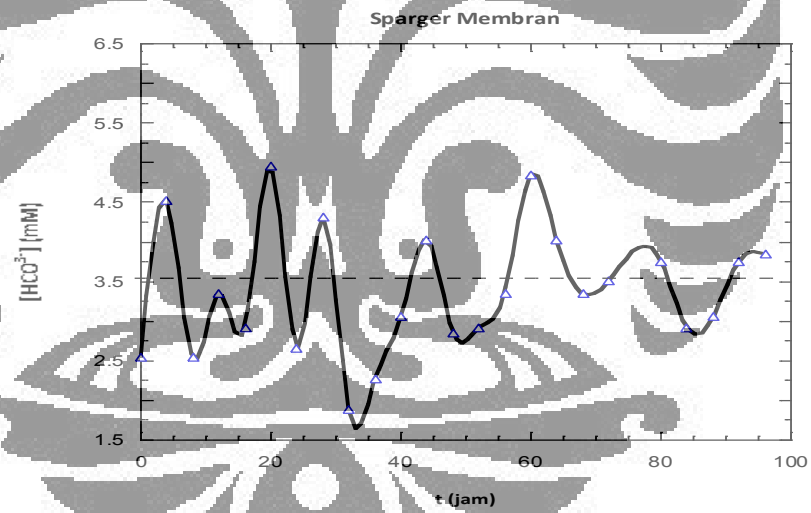
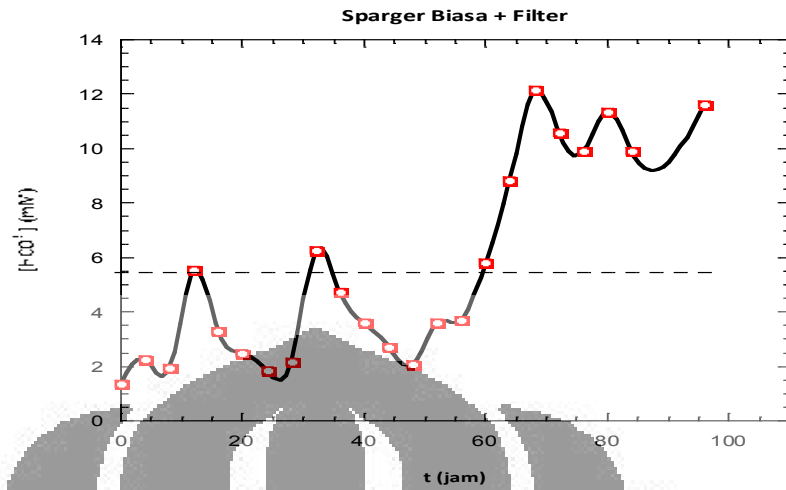
Penggunaan filtrasi dan alterasi pada kultivasi *Chlorella vulgaris* dimaksudkan untuk mengurangi efek *self shading* akibat tingginya kerapatan sel yang berada didalam fotobioreaktor. Dengan berkurangnya efek *self shading* maka laju pertumbuhan akan meningkat. Dari grafik terlihat penggunaan metode alterasi dan filtrasi menghasilkan laju pertumbuhan rata - rata sebesar 0,031. Peningkatan laju pertumbuhan ini terjadi karena dengan penggunaan membran dan alterasi menghasilkan intensitas cahaya yang optimum. Dengan besarnya sumber nutrisi karena penggunaan membran dan intensitas cahaya optimum akibat penggunaan metode filtrasi dan alterasi menyebabkan proses fotosintesis pada *Chlorella vulgaris* dapat berlangsung lebih baik sehingga laju pertumbuhan rata-rata meningkat.

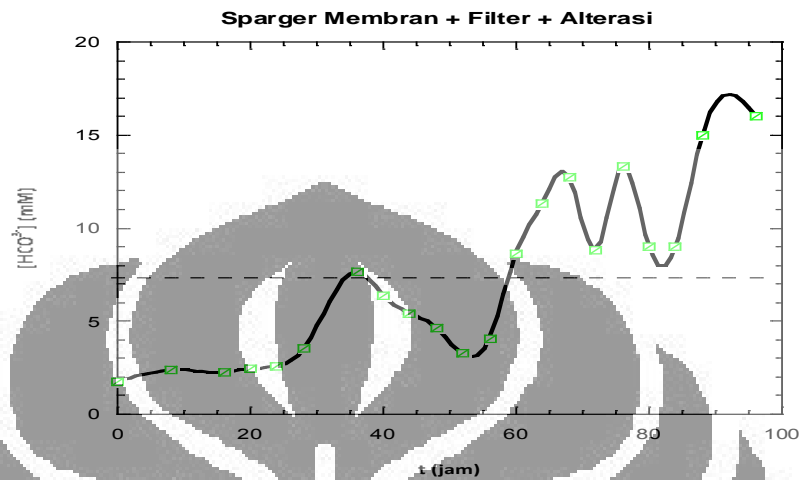
4.2.3 Pengaruh penggabungan Filtrasi dan Alterasi Terhadap $[\text{HCO}_3^-]$ *vulgaris* Buitenzorg

$[\text{HCO}_3^-]$ adalah parameter untuk mengetahui jumlah karbonat yang tersedia yang dapat dikonsumsi oleh sel *C. vulgaris* dalam pertumbuhannya. Berikut adalah kurva $[\text{HCO}_3^-]$ terhadap waktu pada perlakuan filtrasi dan non filtrasi



(A) Sparger Biasa

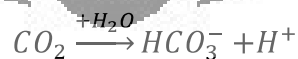




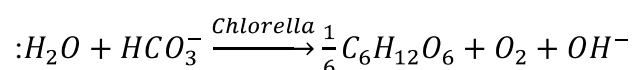
(D) Membran + Filter + Alterasi

Grafik 4.3 Perbandingan Nilai [HCO₃⁻]

Pada proses fotosintesis *Chlorella vulgaris*, CO₂ tidak diserap dalam bentuk gas tetapi dalam bentuk karbonat. Hal ini disebabkan *Chlorella vulgaris* adalah organisme akuatik yaitu organisme yang melakukan proses fotosintesis dalam air. Proses fotosintesis adalah proses yang dilakukan untuk menghasilkan energi yang dibutuhkan dalam pertumbuhan *Chlorella*. Proses fotosintesis yang terjadi di dalam kultur *Chlorella* diawali dengan pembentukan ion karbonat akibat reaksi antara CO₂ dengan air.



[HCO₃⁻] inilah yang berperan penting dalam proses fotosintesis *Chlorella*. Selanjutnya [HCO₃⁻] bereaksi dengan air yang terdapat dalam sel membentuk senyawa organik seperti glukosa dan ion OH⁻, seperti yang tergambar pada reaksi berikut ini



Nilai $[\text{HCO}_3^-]$ mempengaruhi nilai pH yang diukur dengan menggunakan pH meter. pH dalam medium kultur adalah faktor penting dalam kultivasi *Chlorella*. pH ini menentukan kelarutan dan ketersediaan CO_2 dalam kultur dan dapat secara langsung ataupun tidak langsung mempengaruhi metabolisme *Chlorella*. Perhitungan terhadap $[\text{HCO}_3^-]$ bertujuan untuk mengetahui jumlah $[\text{HCO}_3^-]$ yang dapat dikonsumsi oleh sel *Chlorella* dalam pertumbuhannya. Senyawa $[\text{HCO}_3^-]$ merupakan ion yang terbentuk akibat reaksi CO_2 dengan air dalam kultur *Chlorella vulgaris*.

Sistem filtrasi yang digunakan dalam kultivasi menyebabkan kepadatan sel di dalam fotobioreaktor berkurang sehingga kebutuhan sel akan bikarbonat yang merupakan sumber karbon untuk pertumbuhan sel menjadi meningkat. Hal ini diindikasikan dari meningkatnya pH selama waktu kultivasi. Dengan ketersediaan $[\text{HCO}_3^-]$ yang cukup ini menyebabkan aktivitas metabolisme sel pada fotosintesis semakin baik dan diindikasikan dengan meningkatnya pH akibat meningkatnya OH^- yang merupakan hasil fotosintesis.

Dari grafik diatas terlihat bahwa dengan bertambahnya waktu kultivasi, pH dari kultur semakin meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas metabolisme pada kultur meningkat selama bertambahnya waktu kultivasi sehingga membutuhkan $[\text{HCO}_3^-]$ yang semakin besar. Sel-sel *Chlorella* melakukan aktivitas pembelahan sel nya yang menambah kepadatan sel di dalam kultur. Aktivitas pembelahan sel nya ini menghasilkan ion OH^- ion tersebut kemudian berikatan dengan ion H^+ yang dihasilkan dari reaksi penguraian CO_2 . Ion – ion tersebut membentuk senyawa H_2O . Dengan berkurangnya jumlah ion H^+ akan menyebabkan nilai pH meningkat. Berdasarkan pendekatan hukum Henry besarnya $[\text{HCO}_3^-]$ yang terbentuk dalam kultur meningkat seiring dengan bertambahnya nilai pH.

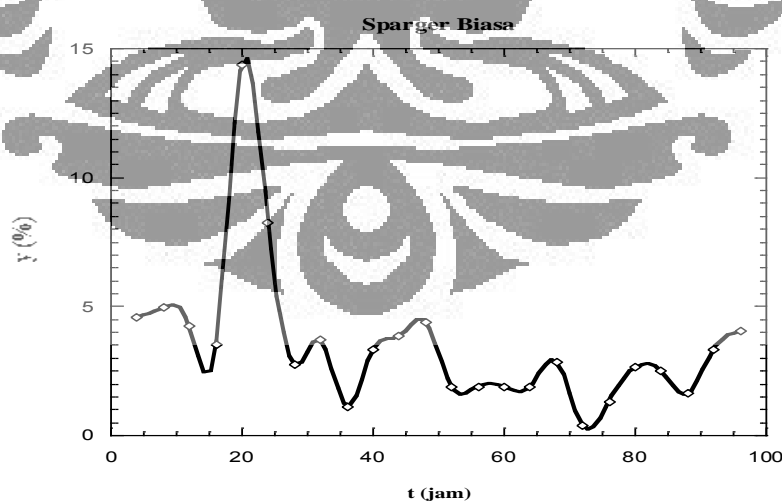
Berdasarkan grafik di atas, kandungan $[\text{HCO}_3^-]$ pada sparger membran dan sparger membran dengan filter dan alterasi mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai $[\text{HCO}_3^-]$ yang dihasilkan oleh kultivasi dengan sparger biasa hal ini menunjukkan bahwa aktivitas pertumbuhan yang terjadi pada sparger membran dan sparger membran dengan filterasi dan alterasi lebih baik

dibandingkan dengan sparger biasa. Penggunaan sparger membran menyebabkan berkurangnya shear stress dan meningkatkan laju difusi CO_2 sehingga laju pertumbuhan dapat meningkat dan hal ini di optimalkan dengan penggunaan metode filtrasi dan alterasi yang menghasilkan intensitas cahaya optimum untuk pertumbuhan.

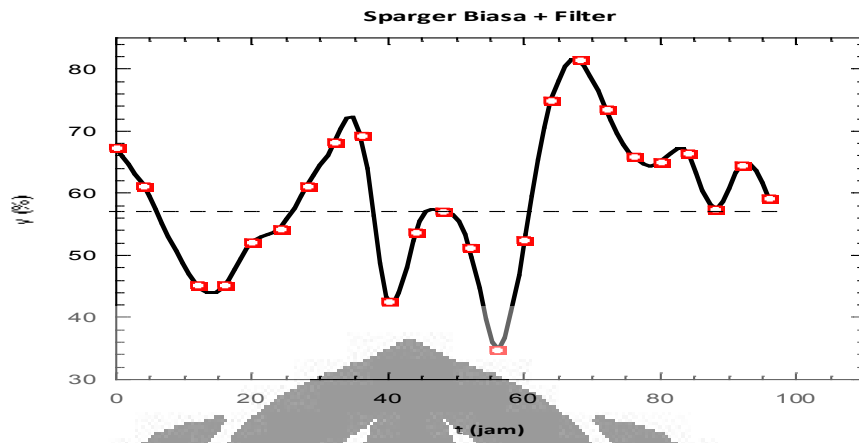
4.2.4 Pengaruh penggabungan Filtrasi dan Alterasi Terhadap Fiksasi CO_2

Proses fotosintesis yang dilakukan oleh *Chlorella* membutuhkan unsur karbon. Sumber karbon yang digunakan dalam penelitian ini adalah gas CO_2 . Gas CO_2 yang dialirkan bersama udara ke dalam fotobioreaktor ini kemudian diserap oleh *Chlorella*. Proses ini yang dinamakan fiksasi. Besarnya fiksasi CO_2 ditunjukkan dari perubahan antara konsentrasi gas CO_2 inlet dengan konsentrasi gas CO_2 outlet. Selisih dari konsentrasi gas CO_2 inlet dengan konsentrasi gas CO_2 outlet adalah besarnya konsentrasi gas CO_2 yang terfiksasi atau terserap oleh *Chlorella*.

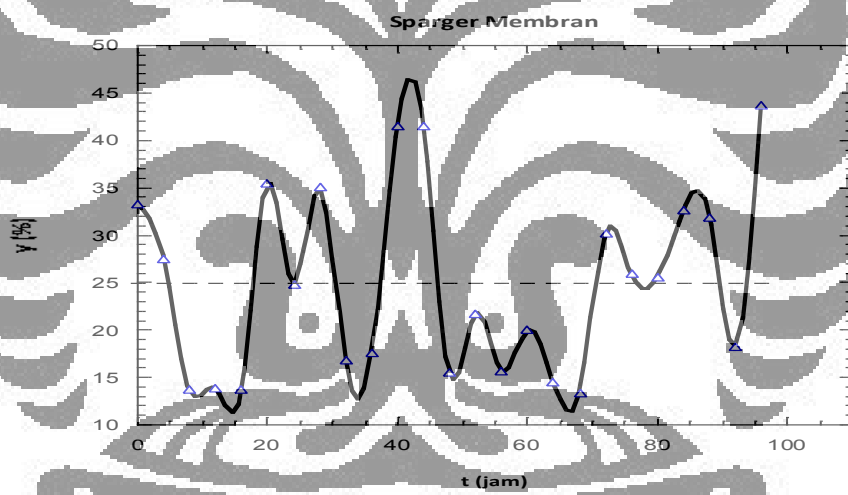
Grafik hubungan antara Konsentrasi gas CO_2 (y_{CO_2}) terhadap waktu (t) yang didapat dari penelitian ini sebagai berikut :



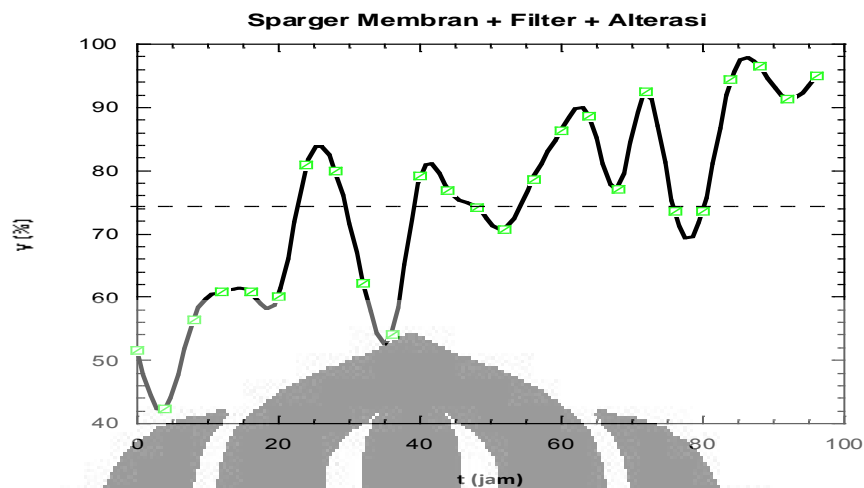
(A) Sparger Biasa



(B) Sparger Biasa + Filter



(C) Sparger Membran



(D) Membran + Filter + Alterasi

Gambar 4.4 perbandingan nilai fiksasi CO₂

Dari gambar terlihat bahwa fiksasi CO₂ yang dilakukan *Chlorella* mengalami fluktuasi. Hal ini disebabkan aktivitas sel yang berada dalam fotobioreaktor berubah-ubah selama periode kultivasi. Pada kultivasi dengan sparger biasa fiksasi CO₂ memiliki nilai rata – rata sebesar ± 3,78 % kecilnya nilai fiksasi ini disebabkan karena tingginya laju alir aerasi yang menyebabkan rendahnya laju difusi CO₂ sehingga lebih banyak karbon dioksida yang terbawa keluar reaktor dibandingkan dengan karbon dioksida yang terlarut ke dalam air tingginya laju aerasi juga menyebabkan tingginya *shear stress* hal ini menyebabkan laju pertumbuhan *Chlorella vulgaris* menjadi terhambat. Terhambatnya laju pertumbuhan mengakibatkan nilai CO₂ yang dapat difiksasi menjadi rendah.

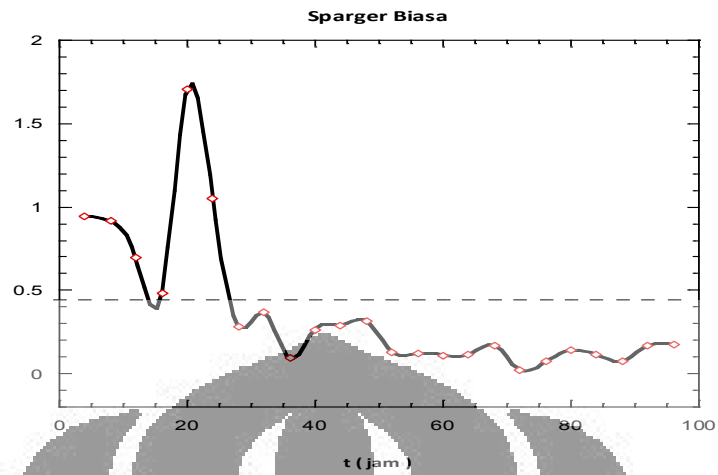
Penggunaan membran menghasilkan nilai fiksasi CO₂ rata – rata sebesar ± 24,95 % peningkatan nilai fiksasi ini disebabkan karena dengan penggunaan membran menyebabkan luas permukaan kontak antara udara dengan medium lebih besar selain itu penggunaan membran juga menyebabkan ukuran partikel udara yang mengalir selama proses aerasi menjadi lebih kecil. Kedua hal ini menyebabkan penyebaran karbondioksida di dalam reaktor menjadi lebih merata sehingga hanya diperlukan laju alir yang lebih kecil. Penyebaran karbondioksida

yang lebih merata juga menyebabkan berkurangnya persaingan untuk mendapatkan nutrisi dan mengurangi efek gesekan yang pada akhirnya dapat meningkatkan laju fotosintesis yang dilakukan oleh *Chlorella vulgaris* yang pada akhirnya akan meningkatkan fiksasi CO₂ yang dibutuhkan dalam proses fotosintesis.

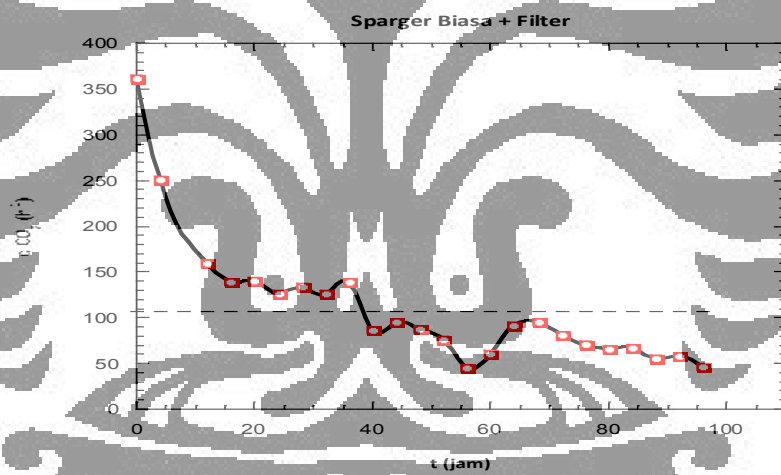
Penggunaan filtrasi dan alterasi menghasilkan nilai fiksasi CO₂ rata – rata sebesar $\pm 74,29\%$ hal ini disebabkan karena penggunaan filtrasi dapat mengurangi tingkat kepadatan didalam reaktor selain itu pemberian cahaya secara alterasi mengakibatkan kultur di dalam reaktor mendapatkan intensitas cahaya optimum. Tersedianya nutrisi dan cahaya yang cukup menyebabkan proses fotosintesis dapat berlangsung lebih baik yang berdampak pada meningkatnya laju pertumbuhan yang memerlukan CO₂. hal ini dapat dilihat pada grafik yang menunjukkan nilai fiksasi CO₂ yang terus meningkat. besarnya peningkatan CO₂ jauh melebihi besarnya peningkatan produksi biomassa hal ini mungkin saja disebabkan karena *C. vulgaris* terlalu banyak menyerap CO₂ akibatnya senyawa makro yang lain kurang terserap. Perbandingan jumlah unsur yang terserap menyebabkan peningkatan biomassa lebih kecil namun akan menyebabkan terjadinya peningkatan kandungan nutrisi dari *C. vulgaris* sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perubahan kandungan nutrisi akibat pengaruh penggunaan membran.

4.2.5 Pengaruh penggabungan Filtrasi dan Alterasi Terhadap Laju Fiksasi Karbondioksida (q_{CO_2}) oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

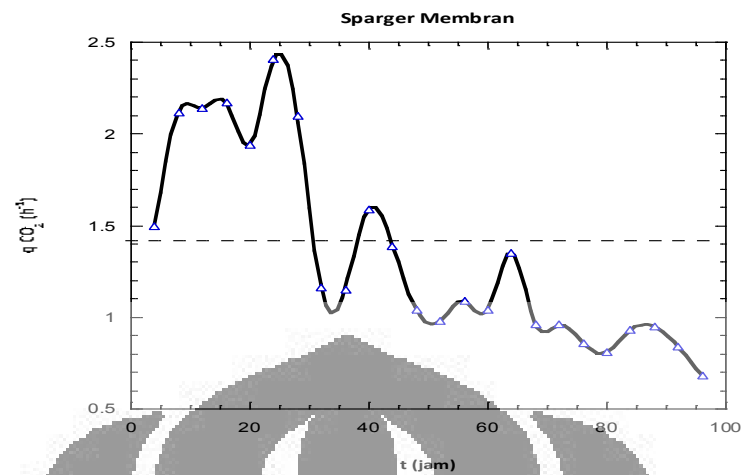
q_{CO_2} adalah laju gas CO₂ yang ditransfer dalam suatu volume medium karena adanya aktivitas kehidupan biologi dalam satu satuan waktu tertentu. Nilai q_{CO_2} didapatkan dari pengolahan data CTR di mana nilai q dapat didefinisikan sebagai CTR per satuan biomassa (Wijanarko et al, 2004). Berikut adalah kurva q_{CO_2} terhadap waktu kultivasi.



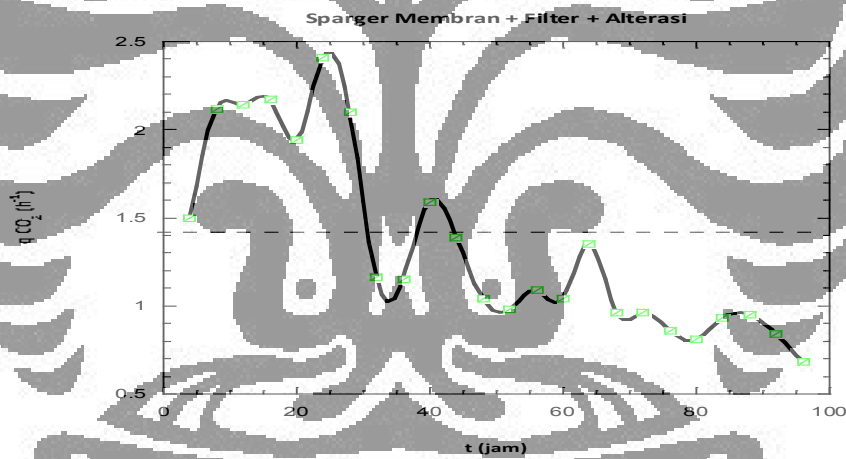
(A) Sparger Biasa



(B) Sparger Biasa + Filter



(C) Sparger Membran



(D) Membran+Filter+Alterasi

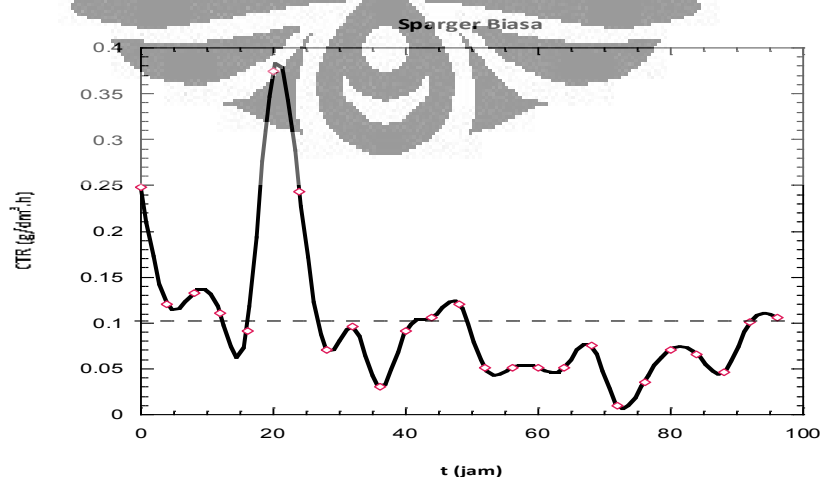
Gambar 4.5 Perbandingan Laju Fiksasi Karbondioksida (q_{CO_2})

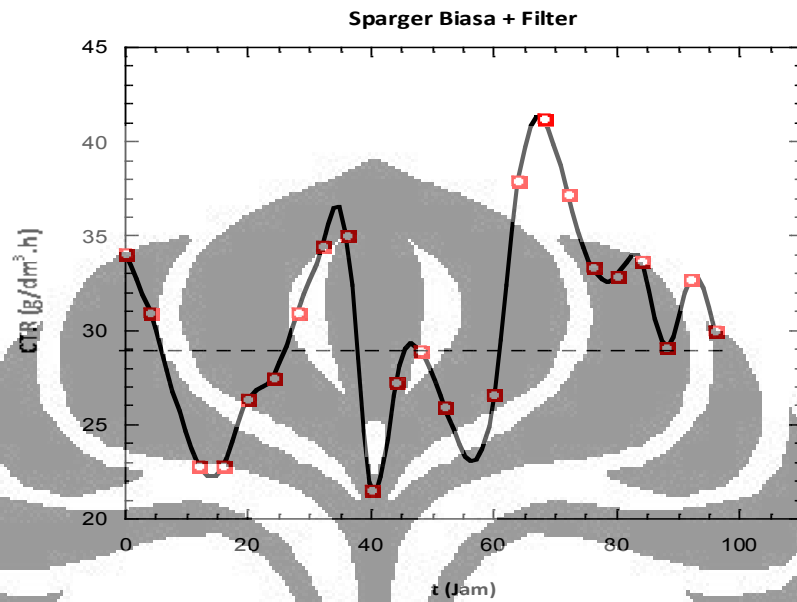
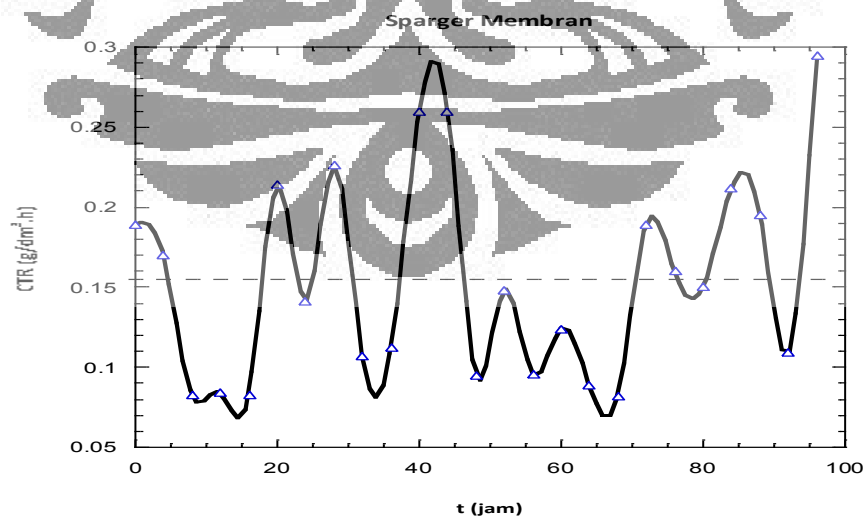
Gambar 4.5 menunjukkan bahwa laju fiksasi CO_2 mengalami penurunan saat bertambahnya waktu kultivasi. Hal ini disebabkan kepadatan sel *Chlorella* semakin meningkat saat bertambahnya periode kultivasi sehingga berat kering *Chlorella* pun meningkat. Hubungan Laju fiksasi CO_2 dengan berat kering sel adalah berbanding terbalik. Semakin tinggi berat sel maka semakin rendah laju fiksasi CO_2 . Hal ini disebabkan produksi biomassa yang meningkat mengakibatkan karbondioksida yang tersedia untuk setiap sel semakin sedikit

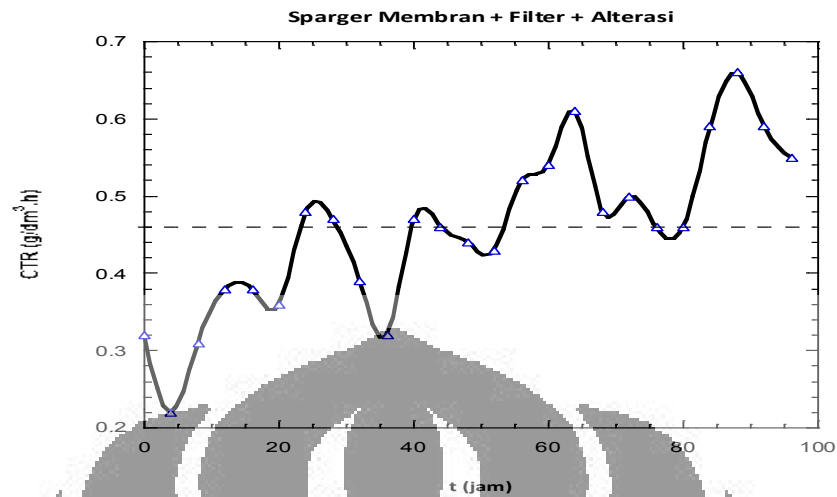
sehingga selama periode kultivasi tidak diimbangi dengan kemampuan fiksasi CO_2 akibatnya laju fiksasi CO_2 menurun. Secara keseluruhan pada gambar 4.5, laju fiksasi CO_2 rata-rata dengan sparger membran lebih besar dibandingkan dengan sparger biasa dan laju tersebut semakin meningkat dengan penggunaan filtrasi dan Alterasi. Penggunaan membran yang dipadukan dengan metode filtrasi dan alterasi membuat laju fiksasi CO_2 menjadi lebih stabil hal ini disebabkan karena dengan perpaduan tersebut faktor – faktor yang menghambat proses fotosintesis dapat dikurangi sehingga proses fotosintesis yang memerlukan CO_2 dan cahaya dapat berlangsung lebih baik.

4.2.6 Pengaruh penggabungan Filtrasi dan Alterasi Terhadap CTR

Parameter yang digunakan untuk mengetahui banyaknya gas CO_2 yang ditransfer dalam suatu volum medium dan dibutuhkan oleh metabolisme sel selama satu satuan waktu tertentu adalah CTR. Sebagian CO_2 yang ditransfer digunakan untuk metabolisme selama periode kultivasi. Nilai CTR merupakan perkalian antara besarnya fiksasi CO_2 dengan αCO_2 . Besarnya fiksasi CO_2 ini merupakan perhitungan dari perubahan konsentrasi gas CO_2 yang masuk kedalam fotobioreaktor dengan konsentrasi gas CO_2 yang keluar. Pengujian konsentrasi gas ini menggunakan kromatografi gas.



(A) Sparger Biasa**(B) Sparger Biasa + Filter****(c) Sparger Membran**



(D) sparger Membran + Filter + Alterasi

Gambar 4.6 Perbandingan Nilai CTR

Dari grafik dapat terlihat nilai CTR terbesar terdapat pada kultivasi dengan menggunakan sparger biasa dengan metode filtrasi dan yang terendah terdapat pada kultivasi dengan menggunakan sparger biasa namun bila kita buat persentase antara jumlah CTR dengan jumlah CO₂ total yang masuk kedalam fotobioreaktor, persentase yang terbesar dimiliki oleh kultivasi dengan sparger membran yang dipadukan dengan metode filtrasi dan alterasi. Besarnya nilai persentase ini sama dengan besarnya nilai persentase fiksasi CO₂. Hal ini membuktikan bahwa dengan penggunaan sparger membran dapat meningkatkan laju difusi CO₂ dari udara yang ditiupkan kedalam fotobioreaktor ke medium pertumbuhan. Hal ini disebabkan karena dengan penggunaan membran memperluas bidang kontak antara udara dengan medium dan memperkecil ukuran gelembung udara yang ditiupkan kedalam fotobioreaktor. Dengan besarnya kandungan CTR diharapkan Chlorella dapat melakukan fotosintesis dengan lebih baik.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini dengan mengkultivasi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada Fotobioreaktor Kolom Gelembung dalam medium Benneck, temperatur 29°C, tekanan operasi 1 atm, sumber pencahayaan lampu Phillip Halogen 20W/12V/50Hz, dan konsentrasi CO₂ 5 % adalah :

1. Penggunaan sparger membran yang dipadukan dengan metode filtrasi dan alterasi mampu meningkatkan produksi biomassa ± 30 % lebih banyak bila dibandingkan dengan sparger membran, $\pm 26,6$ % lebih banyak daripada sparger biasa dengan filtrasi dan $\pm 36,7$ % lebih banyak bila dibandingkan dengan sparger biasa.
2. Penggunaan sparger membran yang dipadukan dengan metode filtrasi dan alterasi juga menghasilkan fiksasi CO₂ yang lebih baik dibandingkan dengan hanya menggunakan sparger biasa dan sparger membran.
3. penggunaan sparger membran yang dipadukan dengan metode alterasi dan filtrasi menghasilkan laju pertumbuhan rata - rata sebesar 0,031 hasil ini lebih besar dari laju pertumbuhan rata - rata dari penggunaan sparger membran yang memiliki nilai sebesar 0,026 dan lebih besar bila dibandingkan dengan laju pertumbuhan rata - rata kultivasi dengan sparger biasa yang bernilai 0,024

5.2 Saran

1. Perlu adanya penggunaan alat filtrasi yang lebih baik untuk mengurangi pengaruh terambilnya medium selama proses pemanenan
2. Untuk waktu filtrasi yang lama sebaiknya dilakukan pengaturan laju alir hisap sesering mungkin agar filtrasi dapat berjalan lebih optimal

DAFTAR PUSTAKA

- Pulz, O. 2001. *Photobioreactor : Production System for Phototropic Mikroorganism*.
- Andika, Sang Made Kresna. 2005. *Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella vulgaris Buitenzorg Dengan Alterasi Pencahayaan Pada Fotobioreaktor Kolom Gelembung*. Departemen Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Syarif, Ahmed. 2004. Skripsi : “*Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella vulgaris Buitenzorg dengan Perlakuan Aliran Sirkulasi Medium Kultur Pada Pencahayaan Alterasi*”. Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- Wijanarko, A., dkk. Jurnal Teknologi “ *Effect Of photoperiodicity On CO₂ Fixation \ By Chlorella vulgaris Buitenzorg In Bubble ColoumnPhotobioreactor For food supplement Production* ”. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. 2004.
- Nuzulliany, Rachma. 2006. Skripsi : “*Perlakuan Filtrasi Aliran Sirkulasi Medium Kultur Untuk Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella sp. Dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung Skala Menengah*”. Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- Wijanarko, A., dkk. Jurnal Teknologi “ *Enhancement of Carbon Dioxide Fixation by Alteration of Illumination during Chlorella vulgaris-Buitenzorg’Growth*”. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. 2006.
- Muryanto.2006. Skripsi’ *Produksi Biomassa Chlorella sp. Dengan Pencahayaan Periodik Dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung Susun Seri*”. Departemen Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2006
- Permata, Indah. 2007. Seminar “*Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella sp. Dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung Skala Menengah Melalui Pengaturan Kerapatan Fluks Cahaya*”. Departemen Gas dan Petrokimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- Nuzulliany, A., dkk. 2006. Jurnal Teknologi : “*Pengaruh Pencahayan Siklus Harian Terhadap Produksi Biomassa Chlorella vlgaris Buitenzorg Dalam Fotobioreaktor kolom Gelembung*”. Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- Darmawan, Heru. 2009. Skripsi : “*Pengaturan Kecepatan Aliran Hisap Dalam Perlakuan Filtrasi Pada Sirkulasi Aliran Media Kultur Untuk Peningkatan Produksi Biomassa Filtrasi Aliran Sirkulasi Medium Kultur Untuk Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella*”.

vulgaris Buitenzorg”. Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.

Prabowo.Danang 2009. Skripsi : “*Optimasi Pengembangan Media Untuk Pertumbuhan Chlorella sp. Pada Skala Laboratorium*”. Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan.Fakultas Perikanan dan Kelautan, Institut Pertanian Bogor.

Suriawiria, Unus. 2005. *Chlorella Untuk Kesehatan dan Kebugaran*. Jakarta : Papas Sinar Sinanti.

Wirosaputro, Sukiman. 2002. *Chlorella Untuk Kesehatan Global*. Gajah Mada University Press.

Ohtaguchi K and A. Wijanarko, “*Elevation of the efficiency of cyanobacterial carbon dioxide removal by monoethanolamine solution*”, *Technology*, 8 (2002) pp. 267-286

Wijanarko A., K. Asami and K. Ohtaguchi, “*The Kinetics of Growth and The CO₂ Concentrating Mechanism of the Filamentous Cyanobacterium Anabaena cylindrica in a Bubble Column*”, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 37 (2004) pp. 1019-1025

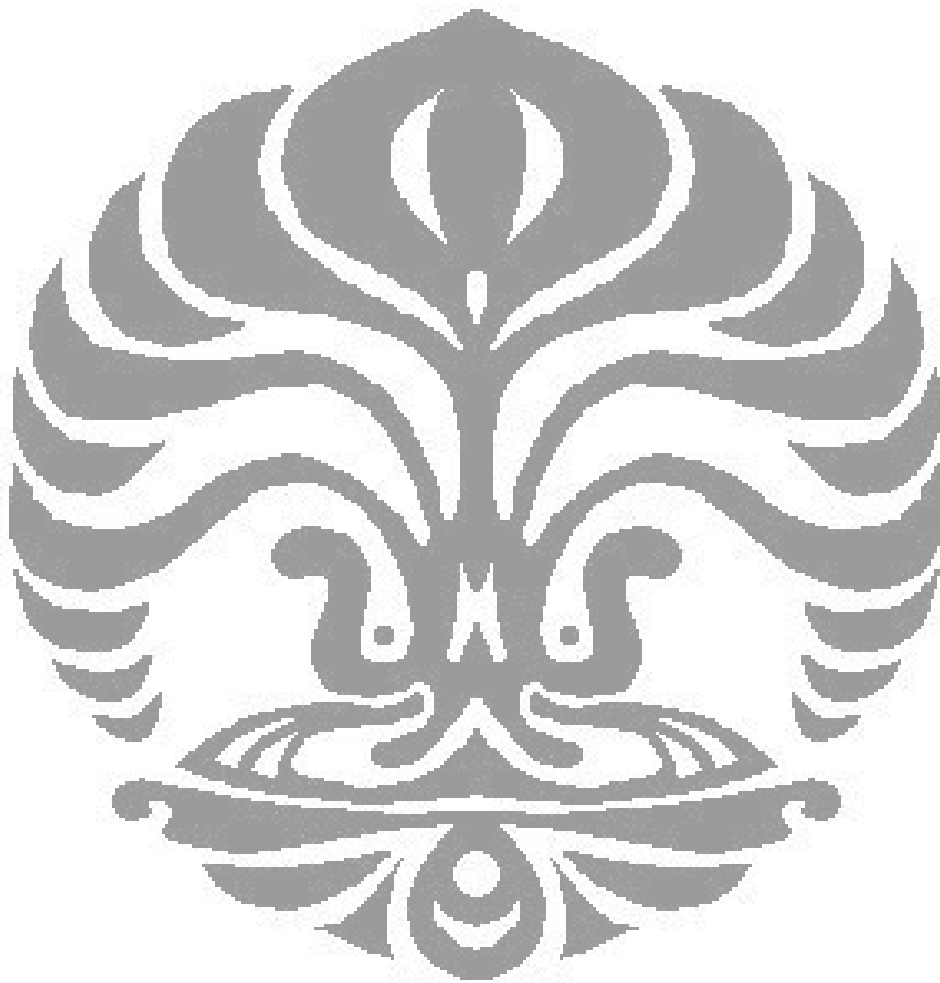
Wijanarko A., Dianursanti, Heidi, R. W. Soemantojo and K. Ohtaguchi, “*Effect of Light illumination alteration on Chlorella vulgaris Buitenzorg’s CO₂ fixation in bubble column photobioreactor*”, *International Journal for Algae*, 8 (2006) 1, pp. 53-60

Wijanarko A., Dianursanti, M. Gozan, S. M. K. Andika, P. Widiastuti, H. Hermansyah, A. B. Witarto, K. Asami, R. W. Soemantojo, K. Ohtaguchi, S. K. Song, “*Enhancement of carbon dioxide fixation by alteration of illumination during Chlorella vulgaris Buitenzorg’s growth*”, *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 11 (2006) pp. 484-488

Wijanarko A, Dianursanti, A. Y. Sendjaya, H. Hermansyah, A. B. Witarto, B. T. Sofyan, K. Asami, K. Ohtaguchi, R. W. Soemantojo, S. K. Song, “*Enhanced Chlorella vulgaris Buitenzorg Growth by Photon Flux Density Alteration in Serial Photobioreactors*”, *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 13 (2008) pp. 476-482

Falkowsky P. G. and T. G. Owens, “*Light-Shade Adaptation*”, *Plant Physiol.* 66 (1980) pp. 592-595

Wijanarko and Dianursanti, “*Simulated flue gas fixation for large-scale biomass production of Chlorella vulgaris Buitenzorg*”, *International Journal for Algae*, 11 (2009) 4, 351-358



LAMPIRAN A

DATA HASIL PENELITIAN

a. Sparger Biasa

t	OD ₆₀₀	pH	yCO ₂ in (%)	yCO ₂ out (%)	I ₀ (klux)	I _b (klux)	X _{sel} (g/dm ³)	μ _x (h ⁻²)	Δy (%)	CTR (g/dm ³ .h)	[HCO ³⁻] (mM)	q CO ₂ (h ⁻¹)
0	0,262	6,55	5,39	4,90	5,11	0,97	0,113	0,000	0,490	24,799	2,542	218,689
4	0,292	6,59	5,24	5,00	5,23	0,91	0,129	0,031	0,240	12,146	2,787	94,442
8	0,322	6,56	5,24	4,98	5,20	0,82	0,144	0,030	0,260	13,159	2,601	91,489
12	0,354	6,53	5,19	4,97	5,21	0,73	0,160	0,029	0,220	11,134	2,427	69,564
16	0,412	6,48	5,13	4,95	5,21	0,63	0,189	0,032	0,180	9,110	2,163	48,080
20	0,472	6,44	5,14	4,40	5,11	0,53	0,220	0,033	0,740	37,451	1,973	170,310
24	0,494	6,51	5,81	5,33	5,11	0,49	0,231	0,030	0,480	24,293	2,318	105,137
28	0,530	6,54	5,08	4,94	5,12	0,34	0,249	0,028	0,140	7,085	2,484	28,419
32	0,557	6,53	5,14	4,95	5,15	0,30	0,263	0,026	0,190	9,616	2,427	36,561
36	0,674	6,53	5,34	5,28	5,15	0,28	0,322	0,029	0,060	3,037	2,427	9,420
40	0,716	6,56	5,44	5,26	5,19	0,25	0,344	0,028	0,180	9,110	2,601	26,509
44	0,758	6,58	5,44	5,23	5,19	0,22	0,365	0,027	0,210	10,628	2,723	29,122
48	0,800	6,60	5,44	5,20	5,19	0,19	0,386	0,026	0,240	12,146	2,852	31,447
52	0,802	6,84	5,25	5,15	5,19	0,16	0,387	0,024	0,100	5,061	4,956	13,069
56	0,868	6,84	5,25	5,15	5,11	0,14	0,421	0,023	0,100	5,061	4,956	12,029
60	0,934	6,84	5,25	5,15	5,11	0,16	0,454	0,023	0,100	5,061	4,956	11,142
64	0,926	6,65	5,25	5,15	5,12	0,15	0,450	0,022	0,100	5,061	3,200	11,243
68	0,918	6,46	5,25	5,10	5,12	0,15	0,446	0,020	0,150	7,592	2,066	17,018
72	0,968	6,56	5,32	5,30	5,12	0,10	0,471	0,020	0,020	1,012	2,601	2,147
76	1,010	6,68	5,31	5,24	5,08	0,09	0,493	0,019	0,070	3,543	3,428	7,190
80	1,050	6,81	5,31	5,17	5,04	0,08	0,513	0,019	0,140	7,085	4,625	13,811
84	1,153	6,84	5,18	5,05	5,06	0,07	0,565	0,019	0,130	6,579	4,956	11,639
88	1,200	6,84	5,50	5,41	5,06	0,06	0,589	0,019	0,090	4,555	4,956	7,732
92	1,250	6,85	5,97	5,77	5,04	0,05	0,614	0,018	0,200	10,122	5,071	16,473
96	1,220	6,71	5,20	4,99	5,03	0,06	0,599	0,017	0,210	10,628	3,674	17,735

b. Sparger biasa + filter

t	OD sebenarnya	pH	yCO ₂ in (%)	yCO ₂ out (%)	I _o (klux)	I _b (klux)	X _{sel} (g/dm ³)	μ _x (h ⁻²)	Δy (%)	CTR (g/dm ³ .h)	[HCO ³⁻] (mM)	q CO ₂ (h ⁻¹)
0	0,224	6,28	5,20	1,70	5,05	1,10	0,094	0,000	67,31	177,135	1,365	1881,896
4	0,282	6,50	4,38	1,70	5,13	1,04	0,124	0,068	61,19	135,635	2,265	1096,864
8	0,327	6,43	5,02	2,98	5,13	0,92	0,146	0,055	40,64	103,244	1,928	704,977
12	0,320	6,89	4,12	2,26	5,16	0,78	0,143	0,035	45,15	94,135	5,560	659,926
16	0,361	6,66	4,12	2,26	5,16	0,75	0,164	0,035	45,15	94,135	3,274	574,492
20	0,410	6,54	5,03	2,41	5,20	0,72	0,188	0,035	52,09	132,598	2,484	703,951
24	0,466	6,41	5,90	2,70	5,20	0,62	0,217	0,035	54,24	161,952	1,841	747,489
28	0,495	6,48	4,89	1,90	5,21	0,58	0,232	0,032	61,15	151,324	2,163	653,291
32	0,578	6,94	5,02	1,60	5,31	0,51	0,274	0,033	68,13	173,086	6,239	632,342
36	0,537	6,82	5,20	1,60	5,25	0,56	0,253	0,027	69,23	182,196	4,733	721,236
40	0,534	6,70	4,70	2,70	5,24	0,47	0,251	0,025	42,55	101,220	3,590	402,473
44	0,604	6,58	5,60	2,59	5,24	0,45	0,287	0,025	53,75	152,336	2,723	531,031
48	0,688	6,46	5,60	2,40	5,24	0,44	0,330	0,026	57,14	161,952	2,066	491,380
52	0,711	6,70	4,70	2,29	5,24	0,48	0,341	0,025	51,28	121,970	3,590	357,600
56	0,814	6,71	5,04	3,29	5,23	0,44	0,393	0,026	34,72	88,568	3,674	225,285
60	0,906	7,40	5,22	2,48	5,28	0,52	0,440	0,026	52,49	138,671	17,993	315,191
64	0,855	8,09	4,90	1,23	5,24	0,44	0,414	0,023	74,90	185,739	88,124	448,329
68	0,892	8,23	5,50	1,52	5,23	0,47	0,433	0,022	72,36	201,428	121,645	465,122
72	0,942	8,17	5,21	1,38	5,25	0,49	0,453	0,022	73,51	193,836	105,949	422,825
76	0,974	7,14	5,05	1,72	5,38	0,56	0,474	0,021	65,94	168,531	9,888	355,316
80	1,021	7,60	5,05	1,77	5,37	0,50	0,498	0,021	64,95	166,001	28,516	333,083
84	1,024	7,34	5,07	2,00	5,12	0,44	0,500	0,020	60,55	155,373	15,671	310,859
88	1,079	6,90	5,31	2,26	5,12	0,42	0,528	0,020	57,44	154,361	5,690	292,549
92	1,150	6,54	4,80	1,70	5,12	0,36	0,564	0,019	64,58	156,891	2,484	278,266
96	1,315	7,21	5,40	2,20	5,12	0,31	0,647	0,020	59,26	161,952	11,617	250,233

c. Sparger Membran

t	OD ₆₀₀	pH	yCO ₂ in (%)	yCO ₂ out (%)	I _o (klux)	I _b (klux)	X _{sel} (g/dm ³)	μ _x (h ⁻²)	Δy (%)	[HCO ₃ ⁻] (mM)	CTR (g/dm ³ .h)	q CO ₂ (h ⁻¹)
0	0,252	6,55	4,80	3,20	5,36	0,88	0,108	0,000	1,60	2,542	18,944	174,879
4	0,283	6,80	5,24	3,80	5,32	0,81	0,124	0,034	1,44	4,520	17,050	137,443
8	0,329	6,55	5,10	4,40	5,34	0,70	0,147	0,038	0,70	2,542	8,288	56,236
12	0,376	6,67	5,12	4,41	5,30	0,58	0,171	0,038	0,71	3,350	8,406	49,099
16	0,423	6,61	5,10	4,40	5,35	0,47	0,195	0,037	0,70	2,918	8,288	42,492
20	0,453	6,84	5,11	3,30	5,46	0,40	0,210	0,033	1,81	4,956	21,430	101,921
24	0,555	6,57	4,80	3,61	5,33	0,30	0,262	0,037	1,19	2,661	14,090	53,778
28	0,686	6,78	5,45	3,54	5,42	0,26	0,328	0,040	1,91	4,316	22,614	68,855
32	0,620	6,42	5,37	4,47	5,36	0,23	0,295	0,031	0,90	1,884	10,656	36,127
36	0,663	6,50	5,40	4,45	5,37	0,20	0,317	0,030	0,95	2,265	11,248	35,509
40	0,730	6,63	5,30	3,10	5,37	0,17	0,351	0,029	2,20	3,056	26,048	74,264
44	0,769	6,75	5,30	3,10	5,39	0,14	0,371	0,028	2,20	4,028	26,048	70,300
48	0,808	6,60	5,16	4,36	5,36	0,13	0,390	0,027	0,80	2,852	9,472	24,268
52	0,835	6,61	5,77	4,52	5,38	0,10	0,404	0,025	1,25	2,918	14,800	36,634
56	0,879	6,67	5,18	4,37	5,36	0,09	0,426	0,024	0,81	3,350	9,590	22,496
60	0,960	6,83	5,25	4,20	5,38	0,07	0,467	0,024	1,05	4,843	12,432	26,598
64	0,927	6,75	5,15	4,40	5,34	0,07	0,451	0,022	0,75	4,028	8,880	19,704
68	0,943	6,67	5,15	4,46	5,36	0,07	0,459	0,021	0,69	3,350	8,170	17,807
72	0,970	6,69	5,30	3,70	5,34	0,06	0,472	0,020	1,60	3,508	18,944	40,096
76	1,080	7,02	5,20	3,85	5,37	0,05	0,528	0,021	1,35	7,501	15,984	30,258
80	1,107	6,72	4,97	3,70	5,35	0,05	0,542	0,020	1,27	3,759	15,037	27,746
84	1,162	6,61	5,49	3,70	5,37	0,05	0,570	0,020	1,79	2,918	21,194	37,192
88	1,215	6,63	5,17	3,52	5,36	0,04	0,597	0,019	1,65	3,056	19,536	32,739
92	1,262	6,72	5,04	4,12	5,37	0,03	0,621	0,019	0,92	3,759	10,893	17,553
96	1,278	6,73	5,70	3,21	5,36	0,03	0,629	0,018	2,49	3,847	29,482	46,895

d. Sparger membran + Filter + Alterasi

t	OD sebenarnya	pH	yCO ₂ in (%)	yCO ₂ out (%)	I _o (klux)	I _b (klux)	X _{sel} (g/dm ³)	μ _x (h ⁻²)	Δy (%)	[HCO ³⁻] (mM)	CTR (g/dm ³ .h)	q CO ₂ (h ⁻¹)
0	0,232	6,390	5,240	2,540	5,180	0,920	0,098	0,000	2,70	1,76	31,97	325,60
4	0,327	7,030	4,400	2,540	6,020	0,540	0,147	0,100	1,86	7,68	22,02	150,31
8	0,326	6,520	4,620	2,010	6,050	0,500	0,146	0,050	2,61	2,37	30,90	211,66
12	0,386	7,250	5,250	2,060	6,450	0,430	0,176	0,049	3,19	12,74	37,77	214,12
16	0,382	6,500	5,250	2,060	6,450	0,490	0,174	0,036	3,19	2,27	37,77	217,06
20	0,402	6,530	5,030	2,010	6,500	0,480	0,184	0,032	3,02	2,43	35,76	193,85
24	0,430	6,560	5,010	0,960	6,500	0,470	0,199	0,029	4,05	2,60	47,95	241,30
28	0,483	6,690	5,010	1,000	7,100	0,650	0,226	0,030	4,01	3,51	47,48	210,42
32	0,703	7,120	5,300	2,000	9,150	0,610	0,337	0,039	3,30	9,44	39,07	115,98
36	0,589	7,030	5,020	2,300	7,370	0,510	0,279	0,029	2,72	7,68	32,20	115,25
40	0,622	6,950	5,020	1,050	7,650	0,370	0,296	0,028	3,97	6,38	47,00	158,94
44	0,688	6,880	5,020	1,160	7,780	0,390	0,330	0,028	3,86	5,43	45,70	138,64
48	0,879	6,810	5,030	1,300	8,680	0,440	0,426	0,031	3,73	4,62	44,16	103,61
52	0,899	6,660	5,090	1,490	8,680	0,420	0,437	0,029	3,60	3,27	42,62	97,63
56	0,984	6,750	5,610	1,200	10,600	0,540	0,479	0,028	4,41	4,03	52,21	108,92
60	1,059	7,080	5,260	0,720	10,480	0,480	0,517	0,028	4,54	8,61	53,75	103,88
64	0,924	7,200	5,780	0,660	10,360	0,470	0,449	0,024	5,12	11,35	60,62	134,90
68	1,020	7,250	5,240	1,200	10,440	0,370	0,498	0,024	4,04	12,74	47,83	96,05
72	1,075	7,090	4,600	0,350	10,460	0,480	0,526	0,023	4,25	8,81	50,32	95,70
76	1,101	7,270	5,300	1,400	10,440	0,380	0,539	0,022	3,90	13,34	46,18	85,67
80	1,156	7,100	5,300	1,400	10,460	0,390	0,567	0,022	3,90	9,02	46,18	81,44
84	1,293	7,100	5,310	0,300	10,440	0,770	0,636	0,022	5,01	9,02	59,32	93,21
88	1,399	7,320	5,750	0,200	11,390	0,490	0,690	0,022	5,55	14,97	65,71	95,24
92	1,414	6,680	5,440	0,470	11,200	0,440	0,697	0,021	4,97	3,43	58,84	84,38
96	1,653	7,350	4,930	0,250	11,190	0,400	0,819	0,022	4,68	16,04	55,41	67,66

LAMPIRAN B

Contoh Pengolahan Data

B.1. Pengolahan Data X

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

Penentuan Berat Kering Sel (X)

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

$$y = 0.50716x - 0,019478$$

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

Misal besar OD pada detik ke 0 sebesar 0,232. Maka :

$$y = 0.50716 \times 0,232 - 0,019478$$

$$y = 0.098 \text{ gram/liter}$$

$$X = 0.098 \text{ gram/liter}$$

B.2. Pengolahan Data $[HCO_3^-]$

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

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

Dimana :

P_T = tekanan operasi (atm)

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

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

$$H_{CO_2} = 2900 \text{ KPa/mol}$$

T = temperatur operasi

T₀ = temperatur standar

$$A_k = 40,557 \quad B_k = -36,782 \quad C_k = 0$$

$$A_h = 22,771 \quad B_h = -11,452 \quad C_h = -3,117$$

Konsentrasi bikarbonat [HCO₃⁻] pada jam ke-0 didapatkan dengan memasukan nilai pH pada pengaturan kecepatan hisap jam ke-0 yaitu 6,39 ke dalam persamaan di atas dengan nilai variabel-variabel lain yang telah disebutkan diatas, sehingga akan didapatkan nilai [HCO₃⁻] pada jam ke-0 adalah 1,76 mM

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

Contoh perhitungan konsentrasi bikarbonat CTR pada penelitian ini :

Rumus yang digunakan :

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

Dalam penelitian ini :

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

$$\alpha_{CO_2} = \frac{35,46 \text{ dm/h} \cdot 3,384 \text{ dm}^2 \cdot 44 \text{ g/mol} \cdot 1 \text{ atm}}{18 \text{ dm}^3 \cdot 0,082 \text{ L atm/mol}^\circ\text{K} \cdot 302^\circ\text{K}}$$

$$\alpha_{CO_2} = 11,84 \text{ g/dm}^3 \cdot \text{h}$$

CTR pada pengaturan kecepatan hisap jam ke-0 didapatkan dengan memasukan nilai Δy_{CO_2} pada pengaturan kecepatan hisap jam ke-0 yaitu 2,7 ke dalam persamaan di atas, sebagai berikut :

$$CTR_{t=0} = 2,7 \times 11,84 = 31,98 \text{ g/dm}^3 \cdot \text{h}$$

B.4. Pengolahan Data q_{CO2}

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

Rumus yang digunakan :

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

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

$$q_{CO_2} = \frac{2,7 \cdot 11,84 \frac{g}{dm^3 \cdot h}}{0,098 \frac{g}{dm^3 \cdot h}} = 326,35 h^{-1}$$

