



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENINGKATAN PRODUKSI BIOMASSA CHLORELLA DALAM
FOTOBIOREAKTOR KOLOM GELEMBUNG SKALA MENENGAH
MELALUI PENGATURAN PARAMETER HIDRODINAMIK**

SKRIPSI

Oleh :

PUTU GRAHITA TEJA K

0706200453

**PROGRAM EKSTENSI
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK, JULI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENINGKATAN PRODUKSI BIOMASSA CHLORELLA DALAM
FOTOBIOREAKTOR KOLOM GELEMBUNG SKALA
MENENGAH MELALUI PENGATURAN PARAMETER
HIDRODINAMIK**

SKRIPSI

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

PUTU GRAHITA TEJA K

0706200453

**PROGRAM EKSTENSI
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK, JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Putu Grahita Teja K

NPM : 0706200453

Tanda Tangan : 

Tanggal : 1 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Putu Grahita Teja K
NPM : 0706200453
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella Dalam
Fotobioreaktor Kolom Gelembung Skala Menengah
Melalui Pengaturan Parameter Hidrodinamik

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1	: Ir. Dianursanti, M.T	(.....)
Pembimbing 2	: Prof. Dr. Ir Anondho Wijanarko M Eng	(.....)
Penguji 1	: Dr. Heri Hermansyah, ST, M.T	(.....)
Penguji 2	: Tania Surya Utami ST, M.T	(.....)
Penguji 3	: Ir. Rita Arbianti, M.Si	(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 1 Juli 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

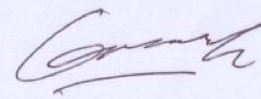
Puji dan syukur kepada Allah SWT atas izinNya tugas ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Skripsi dengan judul **Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella Dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung Skala Menengah Melalui Pengaturan Hidrodinamik** ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan akademis dalam meraih gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Kimia FTUI.

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

1. Bapak Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA, selaku ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
2. Ibu Ir. Dianursanti, M.T selaku pembimbing I, atas bimbingan yang telah diberikan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Anondho Wijanarko M.eng selaku pembimbing II atas bimbingan dan masukan yang telah diberikan.
4. Ibu Tania Surya Utami selaku pembimbing akademik penulis, atas bimbingan, dorongan dan nasehatnya.
5. Semua dosen Teknik Kimia FTUI, guru-guru dari TK sampai SMA atas ilmu yang telah diberikan.
6. Seluruh keluarga atas segala perhatiannya selama ini.
7. Teman-teman sepenelitian, Heru, Ponco, Fadli, Gema, Tarryn, Adit Kate, dan Maudhi.
8. Teman-teman angkatan 2007 atas kebersamaan dan pertemanannya selama ini.
9. Pihak-pihak lain yang mendukung dan membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Untuk itu, penulis mengharapkan saran dan kritik untuk memperbaiki penulisan di masa yang akan datang.

Depok, Juli 2010



Putu Grahita Teja K

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

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

Nama : PUTU GRAHITA TEJA K
NPM : 0706200453
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

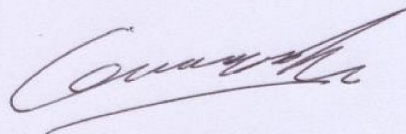
“Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella Dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung Skala Menengah Melalui Pengaturan Parameter Hidrodinamik”

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 1 Juli 2010

Yang menyatakan



(Putu Grahita Teja K)

Putu Grahita Teja K
0706200453

Departemen Teknik Kimia

Pembimbing :

I. Ir. Dianursanti, M.T.

II. Prof. Dr. Ir. Anondho Wijanarko M.Eng

**PENINGKATAN PRODUKSI BIOMASSA CHLORELLA DALAM
FOTOBIOREAKTOR KOLOM GELEMBUNG SKALA MENENGAH MELALUI
PENGATURAN PARAMETER HIDRODINAMIK**

ABSTRAK

Chlorella vulgaris Buitenzorg merupakan penghasil biomassa yang memiliki banyak kegunaan khususnya sebagai suplemen makanan dan obat kesehatan, selain itu juga memiliki kemampuan fotosintesis untuk mengurangi efek pemanasan global melalui memfiksasi CO₂. Berdasarkan faktor hidrodinamika seperti koefisien transfer massa (K_{La}) dan juga kecepatan superfisial gas (U_G) merupakan faktor penting untuk memaksimalkan produksi menggunakan medium Benneck di volume 40 L fotobioreaktor dengan mengatur temperatur pada 29⁰C; tekanan pada 1 atm; konsentrasi CO₂ sebesar 5% dan pencahayaan dengan lampu Halogen Phillip 20W/12V/50Hz . Hasilnya proses *scale up* berdasarkan iso K_{La} merupakan faktor yang lebih baik untuk menghasilkan jumlah biomassa yang lebih tinggi dibandingkan iso U_G . Dapat disimpulkan bahwa dengan iso K_{La} mampu memberikan hasil 30,4% biomassa dibandingkan iso U_G dan menunjukkan bahwa parameter iso K_{La} lebih sesuai untuk *scale up* fotobioreaktor.

Kata Kunci: *Chlorella vulgaris* Buitenzorg, fotobioreaktor kolom gelembung, hidrodinamika

Putu Grahita Teja K
0706200453
Chemical Engineering Department

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

**INCREASING CHLORELLA BIOMASS PRODUCTION IN MIDDLE SCALE
BUBBLE COLUMN PHOTOBIOREACTOR WITH HYDRODYNAMIC
PARAMETRIC ADJUSTMENT**

ABSTRACT

Chlorella vulgaris Buitenzorg is an useful biomass product that was especially for supplement food and health holistic drug, beside it's photosynthetic capability for minimizing global warming effect in through to CO₂ fixation. Investigating an optimum hydrodynamic factor such as mass transfer coefficient ($K_{L,a}$) and also superficial gas velocity (U_G) is important for maximizing *Chlorella* biomass production using 40 L Benneck medium in bubble column photo bioreactor that was set at temperature of 29°C; Pressure of 1 atm; CO₂ concentration in bubbled gas 5%; and illuminated by a Phillip Halogen Lamp 20W/12V/50Hz. As a result, a scale up process based on similarity value of $K_{L,a}$ at its optimum hydrodynamic factor tend an achieving higher biomass concentration than similarity of U_G value. It was concluded that similarity value of $K_{L,a}$ shown around 30,4 %

Keywords: *Chlorella vulgaris* Buitenzorg, bubble column photo bioreactor, hydrodynamic

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Sistematika Penulisan	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Mikroalga <i>Chlorella Vulgaris</i>	7
2.2 Taksonomi <i>Chlorella Vulgaris</i>	8
2.2.1 Morfologi <i>Chlorella Vulgaris</i>	8
2.2.2 Fase Pertumbuhan <i>Chlorella</i>	11
2.3 Fotosintesis Mikroalga	12
2.3.1 Reaksi Fotosintesis.....	14
2.3.2 Faktor penentu Laju Fotosintesis	16
2.3.3 Fotosintesis pada <i>Chlorella sp</i>	17
2.4 Manfaat <i>Chlorella</i> untuk Kesehatan	17
2.5 Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga	

<i>Chlorella sp</i> pada medium terbatas	20
2.5.1 Jenis Medium	21
2.5.2 Pencahayaan	21
2.5.3 Pencahayaan Kontinyu	21
2.5.4 Terang Gelap (Fotoperiodesitas)	22
2.5.5 Alterasi	22
2.6 Jenis Fotobioreaktor	22
2.6.1 Kolom Gelembung	23
2.7 Perpindahan Massa Fasa Gas kedalam Fasa Cair didalam Kolom Gelembung	23
2.7.1 Koefisien Perpindahan Massa Fasa Cair	24
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Diagram Alir Penelitian	26
3.2 Bahan dan Alat Penelitian.....	27
3.2.1 Bahan Penelitian	27
3.2.2 Peralatan Penelitian	27
3.3 Variabel Penelitian	28
3.4 Prosedur Penelitian	28
3.4.1 Tahap Persiapan	29
3.4.1.1 Studi Literatur	29
3.4.1.2 Kalibrasi Alat	29
3.4.1.3 Uji Hidrodinamika	29
3.4.1.4 Penentuan U_G Optimum	30
3.4.2 Tahap <i>Pre-Culture</i>	30
3.4.2.1 Perangkaian Alat	30
3.4.2.2 Pembuatan Medium <i>Benneck</i>	30
3.4.2.3 Pembiakan Kultur Murni <i>Chlorella Vulgaris</i>	31
3.4.2.4 Penentuan Jumlah Inokulum	31
3.4.3 Tahap Penelitian	32

3.4.3.1 <i>Iso-K_{La}</i>	32
3.4.4 Pengambilan Data	32
3.4.5 Pengolahan Data	32
3.5 Rangkaian Peralatan	35
3.6 Skema Proses	36
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pembahasan Umum	37
4.2 Pengembangan Parameter <i>Iso-Hold Up</i> dan <i>Iso-K_{La}</i>	38
4.2.1 Koefisien Perpindahan Massa (<i>K_{La}</i>)	38
4.3 Pengujian <i>ISO-Hold Up</i> dan <i>ISO K_{La}</i> Pada Produksi Mikroalga <i>Chlorella Vulgaris</i>	39
4.3.1 Hasil Produksi Biomassa <i>Chlorella Vulgaris</i> Berdasarkan <i>iso U_G</i> dan <i>iso K_{La}</i>	40
4.3.2 Hasil Perhitungan [<i>HCO₃⁻</i>]	42
4.3.3 Hasil Perhitungan <i>q CO₂</i> , <i>CTR</i> dan <i>CUR</i>	43
4.3.4 Energi Cahaya yang Digunakan Selama Produksi Biomassa <i>Chlorella Vulgaris</i>	47
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	51

DAFTAR GAMBAR

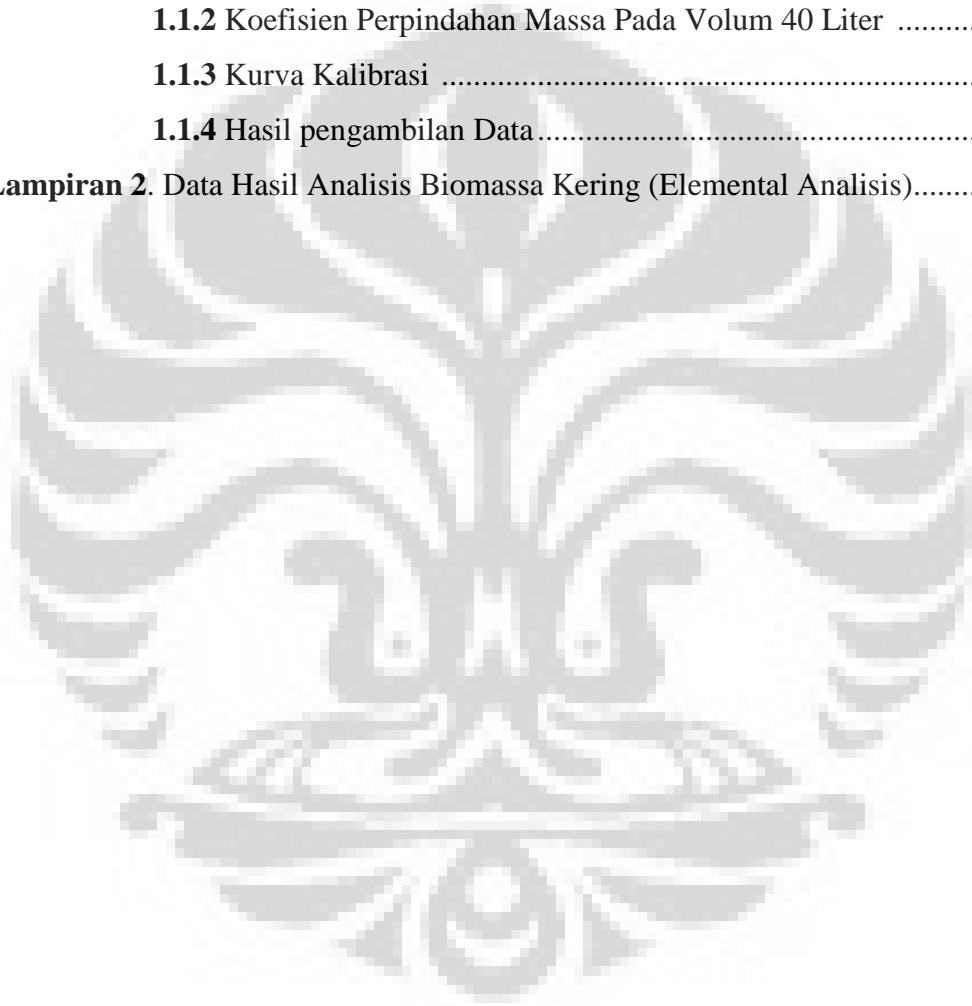
Gambar 2.1 Koloni <i>Chlorella Vulgaris</i>	8
Gambar 2.2. Struktur Sel <i>Chlorella Vulgaris</i>	9
Gambar 2.3. Kurva Pertumbuhan <i>Chlorella sp</i>	11
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 3.2. Rangkaian Peralatan Penelitian	35
Gambar 3.3. Skema Proses	36
Gambar 4.1. Pengaruh Kecepatan Superfisial (U_G) terhadap Koefisien Perpindahan Massa Pada Volum Reaktor 18 dan 40 Liter	38
Gambar 4.2. Besarnya K_{La} Menurut Kecepatan Superfisial Pada Air Destilasi	39
Gambar 4.3. Pengaruh kondisi iso U_G dan iso K_{La} terhadap produksi Biomassa Mikroalga <i>Chlorella Vulgaris</i> di Volum 40 Liter	40
Gambar 4.4. Peristiwa Laju pertumbuhan pada kondisi iso U_G dan iso K_{La} di Volum 40 Liter.....	40
Gambar 4.5. Peristiwa y_{CO_2} in dan out pada kondisi iso U_G dan iso K_{La}	41
Gambar 4.6. Pengaruh kondisi iso U_G dan iso K_{La} terhadap $[HCO_3^-]$	43
Gambar 4.7. Pengaruh kondisi iso U_G dan iso K_{La} terhadap kemampuan fiksasi pada volum 40 Liter	44
Gambar 4.8. Mekanisme Akumulasi CO_2 intra sel	45
Gambar 4.9. Pengaruh kondisi iso U_G dan iso K_{La} terhadap CUR	46

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. <i>Road Map</i> Penelitian tentang Produksi Biomassa Mikroalga <i>Chlorella Vulgaris</i> di Laboratorium Bioproses Universitas Indonesia...	3
Tabel 1.2. Penelitian tentang Gas <i>Hold Up</i> dan Koefisien Perpindahan Massa	4
Tabel 2.1. Komposisi Biomassa <i>Chlorella Vulgaris</i>	19
Tabel 3.1. Bahan Medium <i>Benneck</i>	31
Tabel 4.1. Berat Kering Akhir yang didapat Selama Kultivasi 140 Jam	41
Tabel 4.2. Energi Cahaya yang digunakan Selama Kultivasi dan Efisiensinya	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Eksperimental Data	51
1.1.1 Koefisien Perpindahan Massa Pada Volum 18 Liter	51
1.1.2 Koefisien Perpindahan Massa Pada Volum 40 Liter	59
1.1.3 Kurva Kalibrasi	72
1.1.4 Hasil pengambilan Data.....	73
Lampiran 2. Data Hasil Analisis Biomassa Kering (Elemental Analisis).....	77



BAB I

PENDAHULUAN

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

1.1. LATAR BELAKANG

Seiring dengan terjadinya pemanasan global yang merupakan salah satu masalah yang sedang dihadapi oleh dunia saat ini. Masalah ini disebabkan oleh adanya makin pesatnya pertumbuhan industri yang telah menggiring manusia dalam penggunaan bahan bakar fosil yang menghasilkan emisi gas CO₂ yang berlimpah. Hal ini menyebabkan peningkatan kadar zat asam arang di atmosfer meningkat secara signifikan. Seperti kita ketahui bahwa gas CO₂ pada atmosfer menyaring sejumlah energi yang dipancarkan dan menahan panas seperti rumah kaca. Tanpa efek rumah kaca ini maka suhu bumi akan lebih rendah dari yang ada sekarang, namun permasalahan pemanasan global ini muncul karena adanya peningkatan konsentrasi gas kaca secara terus menerus sehingga energi radiasi panas dari matahari yang seharusnya bisa cepat keluar akan tertahan lebih lama di bumi. Dari jenis-jenis gas rumah kaca, CO₂ adalah gas yang mempunyai kontribusi paling besar bagi kenaikan suhu bumi, yaitu sebesar 85% dari total persentase gas rumah kaca. Berdasarkan pengamatan para ahli lingkungan di Amerika Serikat, permukaan bumi telah mengalami peningkatan suhu secara signifikan dalam satu abad terakhir (Jurnal Informasi Nuklir Indonesia, Vol.1,2001).

Upaya mereduksi kandungan CO₂ di atmosfer, merupakan hal yang paling utama dalam mengatasi masalah pemanasan global. Berbagai kegiatan riset dan rekayasa dilakukan untuk mengatasi pemanasan global tersebut, salah satu diantaranya adalah dengan memanfaatkan *Chlorella* untuk memfiksasi CO₂ dalam fotobioreaktor. *Chlorella* dipilih karena merupakan jenis mikroalga hijau bersel tunggal yang mempunyai kemampuan fotosintesis yang cukup tinggi (Caleb Stewart et al.2004). Hal ini sangat potensial untuk mengkonversi karbondioksida sehingga dapat mengurangi pemanasan global. Dalam proses biofiksasi ini sejumlah konsentrasi CO₂ ditangkap dalam suatu larutan media yang berisi *Chlorella* dan melalui proses fotosintesis diubah menjadi senyawa karbon atau biomassa. Dengan adanya proses fotosintesis oleh mikroalga ini dapat mengurangi konsentrasi

karbondioksida dan sekaligus menyediakan energi yang diperlukan untuk kelangsungan semua kehidupan di muka bumi. Selain itu mikroalga ini mempunyai beberapa keistimewaan yaitu diantaranya memiliki kandungan zat-zat essensial yang bermanfaat sebagai contoh *Chlorella sp.* memiliki kandungan minyak yang cukup tinggi sehingga pemanfaatannya bisa sebagai biofuel (Sheehan *et al.* 1998). Kandungannya yang lain dan dominan adalah klorofil (hijau daun) yang unik dan jauh berbeda dengan klorofil pada jasad lainnya, dinding sel yang tersusun dari sellulosa, hemisellulosa dan lignin, kandungan vitamin terutama A (beta karoten), kadar protein di atas 53 %, tertinggi dibanding makhluk hidup lainnya, dan adanya *Chlorella Growth Factor* (CGF) yang bersifat khusus dan hanya ada di *Chlorella*. (Suriawiria, *Kesehatan- Kompas*, 2002). Kandungan essensial inilah yang membuat *Chlorella* sangat cocok untuk dimanfaatkan sebagai asupan pangan atau *food supplement* yang bergizi tinggi. Suplemen makanan atau asupan pangan sangat diperlukan bagi kesehatan manusia untuk memenuhi kebutuhan nutrisi, meningkatkan sistem imun dan mengurangi racun sehingga mengurangi resiko jatuh sakit (*Nutritional Supplements*, 2005). Mengkonsumsi supplement makanan bahkan sudah menjadi trend masyarakat saat ini (Gusmali, 2000). Salah satu jenis *Chlorella* yaitu *Chlorella vulgaris Buitenzorg* diketahui memiliki komposisi bahan asupan pangan seperti protein 67%, klorofil 3,9 % , CGF 25,6% dan beta karoten 0.12% (*Composition of Chlorella*,n.d). Karena kandungannya yang cukup tinggi,maka *Chlorella vulgaris* sangat baik untuk dikembangkan menjadi suplemen makanan yang komersial.

Dengan melihat potensi diatas maka penelitian diarahkan untuk meningkatkan produksi biomassa *Chlorella vulgaris* dalam fotobioreaktor tertutup dalam skala 40 L dengan memperhatikan pengaruh parameter Hidrodinamik dan karakteristik mass transfer. Parameter hidrodinamik diantaranya; *overall mass transfer coefficient* (K_{La}), *mixing rate*, kecepatan alir liquid, laju superfisial gas gelembung, *residence time distribution* (RTD) dan *gas hold up*. *Overall mass transfer coefficient* (K_{La}) merupakan parameter yang umum digunakan untuk menilai performa dari fotobioreaktor. Istilah *overall mass transfer coefficient* (K_{La}) umumnya digunakan untuk menjelaskan koefisien mass transfer volumetrik pada fotobioreaktor. Koefisien mass transfer volumetrik pada fotobioreaktor dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti laju agitasi, tipe sparger, surfactants/antifoam agents, dan temperatur. Pada penelitian ini nantinya parameter hidrodinamika akan digunakan untuk menentukan kecepatan suplai CO_2 yang dialirkan (kecepatan superfisial CO_2) pada media yang digunakan

untuk mengembangbiakkan *Chlorella* sehingga jumlah CO₂ tersebut sesuai dengan yang dibutuhkan untuk fotosintesis.

Berdasarkan hal tersebut, maka pada penelitian kali ini digunakan fotobioreaktor kolom gelembung skala menengah dengan susunan tunggal, perlu juga dilakukan penentuan kecepatan superfisial CO₂ optimum dimana penentuan kecepatan superfisial optimum tersebut diuji berdasarkan parameter hidrodinamikanya terhadap pertumbuhan *Chlorella vulgaris*. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi acuan untuk memproduksi biomassa dalam skala industri.

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

Peneliti (tahun)	Fokus Penelitian			
	Uji Kandungan	Pencahayaan	Filtrasi	Kecepatan superfisial (U _G)
Rahayu (2006) & Apriayati N. (2006)		pencahayaan alami		
Valentino (2006)		siklus harian atau terang gelap (flip-flop)		
Muryanto (2006)		pencahayaan periodik		
Sujarwo (2006)		pencahayaan kontinyu		
Andika (2005), Yudi.S (2006) Syahri (2008)		Alterasi pencahayaan		
Syarif (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 kultur 18 L
Nissa Gema		Alterasi dengan		

(2009)		menggunakan volume kultur 6 L secara seri		
Terryn (2009)	Uji kandungan protein dan lipid.			

Tabel 1.2 Penelitian tentang *gas holdup* (ϵ) dan koefisien perpindahan massa (k_{La})

Peneliti	Tahun	Fokus Penelitian	
		ϵ	k_{La}
Grima <i>et al</i>	1993	Efek kecepatan aerasi terhadap harga k_{La} dan ϵ pada kultur mikroalga pada reaktor kolom gelembung	
Krisna. R	2000	<i>scale up</i> pada <i>bubble column slurry reactor</i> berdasarkan parameter <i>gas holdup</i> (ϵ) pada media air, <i>tellus oil</i> dan <i>paraffin oil</i>	
Muron <i>et al</i>	2000	Evaluasi besaran parameter hidrodinamik (laju alir aerasi, <i>gas holdup</i> , kecepatan cairan) dan perpindahan massa (k_{LaL}) pada tiga jenis reaktor yaitu kolom gelembung, <i>split-cylinder airlift device</i> dan <i>concentric draft-tube sparged airlift vessel</i>	
Alam dan Razali	2005		<i>scale-up</i> pada bioreaktor berpengaduk dan beraerasi berdasarkan konstan koefisien perpindahan massa (k_{La}) dengan menggunakan media air dan larutan CMC
Yoshida <i>et al</i>	2005		Karakteristik pencampuran dan perpindahan massa pada tangki berpengaduk menggunakan 4 <i>delta blade</i> dan beraerasi tanpa <i>baffle</i>
Moshtari, Babakhani dan Moghaddas	2009	Studi eksperimen tentang <i>gas holdup</i> dan perilaku gelembung dalam kolom gelembung gas-cairan	

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Hal yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana meningkatkan produksi biomassa dari *Chlorella vulgaris buitenzorg* berdasarkan kecepatan superfisial dengan mempertimbangkan aspek-aspek hidrodinamika.

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan riset ini adalah memproduksi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan lebih tinggi dengan cara:

1. Menentukan nilai parameter hidrodinamika yaitu *overall mass transfer coefficient* (K_{La}) dengan menggunakan parameter iso U_G sebagai pembanding melalui ukuran fotobioreaktor yang diperbesar.
2. Menentukan nilai kecepatan superfisial optimum berdasarkan nilai parameter hidrodinamik yang diperoleh.
3. Melakukan kultivasi pada nilai kecepatan superfisial optimum di atas.

1.4. BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Penelitian dilakukan pada Laboratorium Bioproses, Laboratorium Termodinamika Energi dan Lingkungan (TEL), dan Laboratorium Rekayasa Reaksi Kimia dan Konversi Gas Alam (RRK) Departemen Teknik Kimia.
2. *Chlorella* yang digunakan diperoleh dari koleksi kultur Sub Balai Penelitian Perikanan Air Tawar Depok, Dinas Kelautan dan Perikanan.
3. Penelitian ini menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg yang dibudidayakan dengan kultur media Benneck dalam reaktor kolom gelembung skala pilot untuk volume media 40 L. Kondisi operasi yang dijalankan pada suhu ruang (29°C) dengan aerasi udara yang mengandung 5% CO₂.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

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

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III METODE PENELITIAN

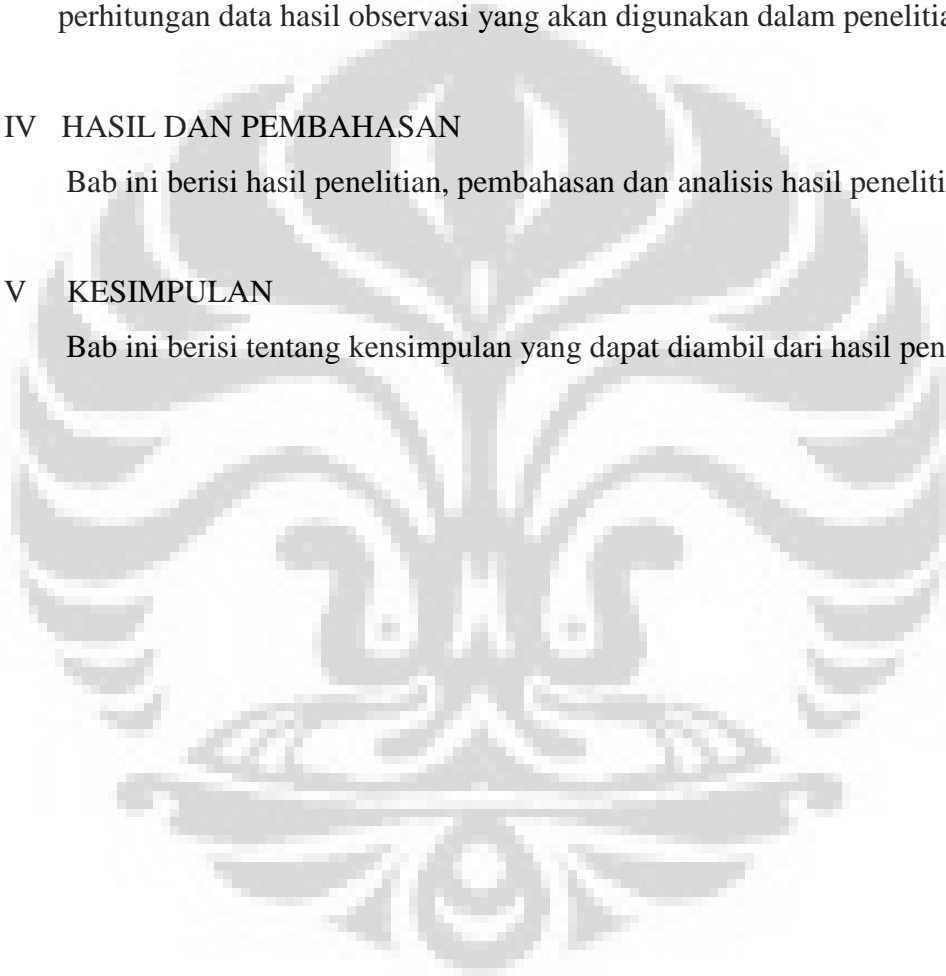
Bab ini berisi penjelasan tentang diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, variabel penelitian, prosedur penelitian, serta metode perhitungan data hasil observasi yang akan digunakan dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil penelitian, pembahasan dan analisis hasil penelitian

BAB V KESIMPULAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

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

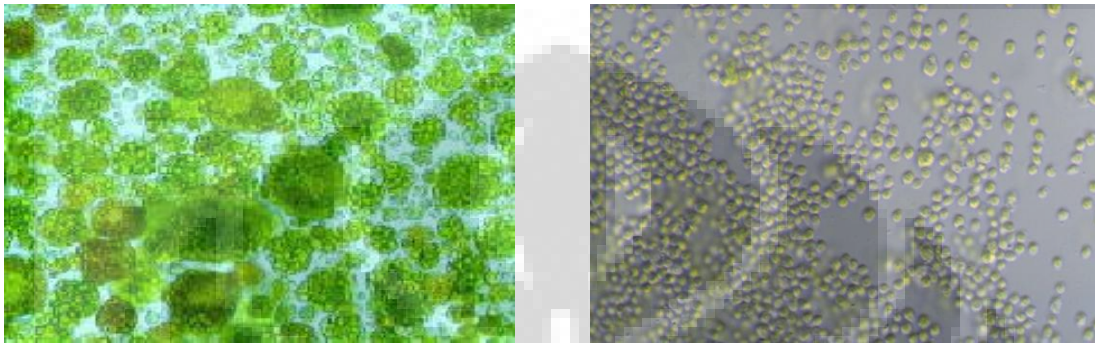
2.1 Mikroalga *Chlorella vulgaris*.

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

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

1. Kestabilan sifat genetik dari pengaruh luar.
2. Memiliki daya dan mekanisme perbaikan DNA yang tinggi untuk beradaptasi dengan lingkungannya yang baru.
3. Bentuk dan sifat dinding sel yang sangat kuat sehingga tahan terhadap pengaruh luar. (Suriawiria, 2005)

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



Gambar 2.1. Koloni *Chlorella vulgaris*.

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

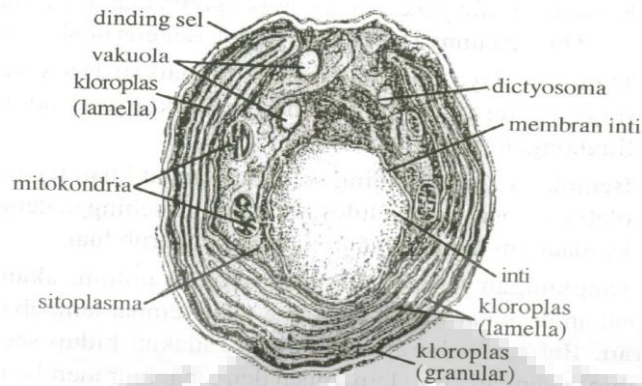
2.2. Taksonomi *Chlorella vulgaris*.

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

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

2.2.1. Morfologi *Chlorella vulgaris*.

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



Gambar 2.2. Struktur Sel *Chlorella vulgaris*.(merops.sanger.ac.uk, 2008.)

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

1. Inti Sel.

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

Di dalam inti sel terdapat sebuah inti lagi yang berukuran lebih kecil yang disebut dengan *nukleolus*. Nukleolus merupakan anak inti sel yang sangat kecil dan terbentuk dari kumpulan RNA (*Ribo Nucleic Acid*) sehingga nukleolus berperan dalam sintesis protein di dalam sel.(Wirosaputro, 2002.)

Selain itu, inti sel juga memiliki jaringan-jaringan halus yang berada di dalam cairan inti yang mengandung gen. Jaringan ini disebut dengan benang kromatin dan berfungsi sebagai pembawa informasi genetik dari sel induk kepada sel anak pada saat berkembang biak.(Wirosaputro, 2002.)

2. Kloroplast.

Kloroplast merupakan jaringan berbentuk cangkir atau lonceng. Kloroplast terdiri atas lamella fotosintetik dan diselubungi oleh suatu membran ganda. Bagian ini memegang peranan penting dalam proses fiksasi CO₂ karena mengandung biomassa yang

dapat menyerap energi cahaya untuk digunakan dalam reaksi fotosintesis.(chem.mtu.edu, 2008.)

3. Mitokondria.

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

Mitokondria berfungsi sebagai pusat pembangkit tenaga sel dengan menghasilkan ATP sebagai sumber energi. Selain itu mitokondria berperan penting dalam proses respirasi sel dan tempat pemecahan molekul protein dan lemak kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana yang selanjutnya digunakan sebagai sumber energi.(chem.mtu.edu, 2008.)

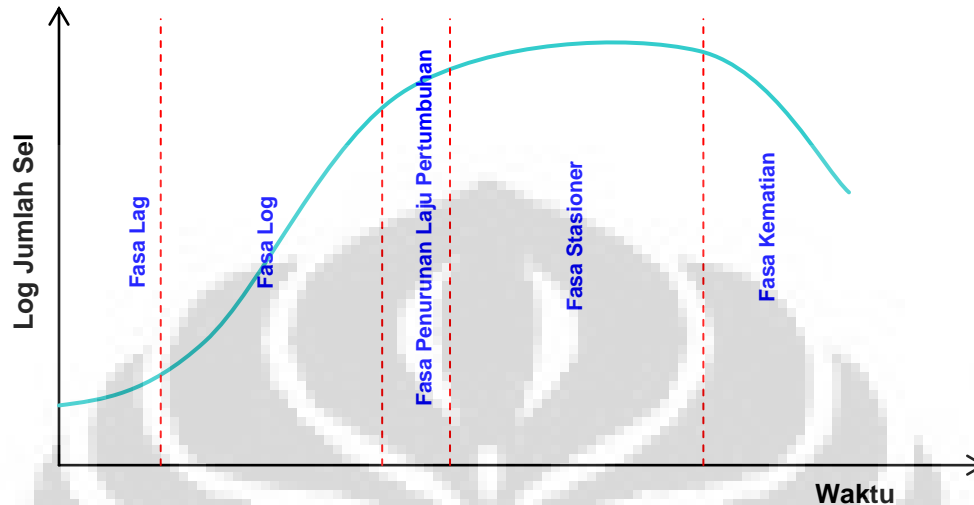
4. Dinding Sel.

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

5. Vakuola.

Vakuola merupakan tempat pembuangan (*ekskresi*) dari zat-zat yang tidak diperlukan lagi oleh sel. Zat-zat ini akan tertimbun di dalam vakuola sehingga ukuran dari vakuola pada sel semakin lama akan semakin besar.(chem.mtu.edu, 2008)

2.2.2 Fase Pertumbuhan *Chlorella*



Gambar 2.3. Kurva Pertumbuhan *Chlorella sp.*

(Sumber : Wirosaputro,2002)

1. Fase tunda (lag phase)

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

2. Fase Pertumbuhan Logaritmik (*log phase*)

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

3. Fase Penurunan Laju Pertumbuhan

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

4. Fase Stasioner

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

5. Fase Kematian

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

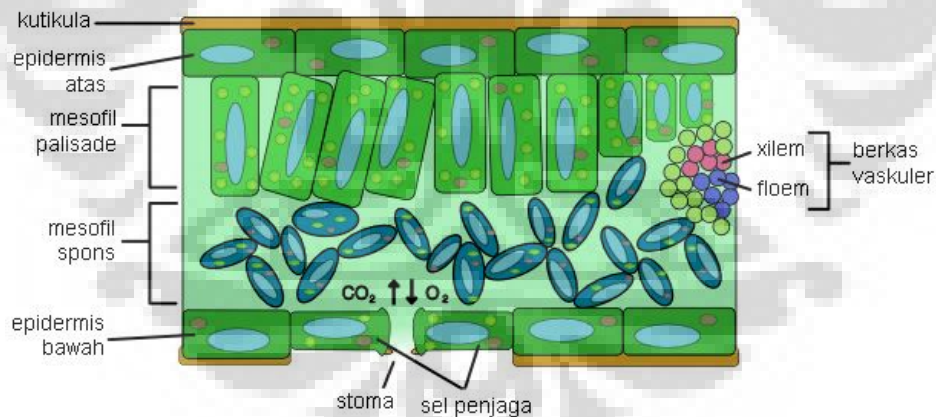
2.3 Fotosintesis mikroalga

Fotosintesis adalah suatu proses biokimia yang dilakukan tumbuhan, alga, dan beberapa jenis bakteri untuk memproduksi nutrisi dengan memanfaatkan energi cahaya. Hampir semua makhluk hidup bergantung dari energi yang dihasilkan dalam fotosintesis. Akibatnya fotosintesis menjadi sangat penting bagi kehidupan di bumi. Fotosintesis juga berjasa menghasilkan sebagian besar oksigen yang terdapat di atmosfer bumi (<http://id.wikipedia.org/.../f/o/t/Fotosintesis.html>, April 2008). Fotosintesis merupakan salah satu cara asimilasi karbon karena dalam fotosintesis karbon bebas dari (CO_2) diikat (difiksasi) menjadi gula sebagai molekul penyimpan energi.

Energi cahaya yang digunakan dapat dari cahaya alami yang sumbernya yaitu matahari yang memiliki spektrum cahaya infra merah (tidak kelihatan), merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, ungu dan ultra ungu (tidak kelihatan). Yang digunakan dalam

proses fotosintesis adalah spektrum cahaya tampak, dari ungu sampai merah sedangkan infra merah dan ultra ungu tidak digunakan dalam fotosintesis. Dalam fotosintesis, dihasilkan karbohidrat dan oksigen yang mana oksigen sebagai hasil sampingan dari fotosintesis.

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



Gambar 2.4 Penampang daun

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

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

- 1.Gen : bila gen untuk klorofil tidak ada maka tanaman tidak akan memiliki klorofil.
- 2.Cahaya : beberapa tanaman dalam pembentukan klorofil memerlukan cahaya.
- 3.Unsur N, Mg, Fe : merupakan unsur-unsur pembentuk dan katalis dalam sintesis klorofil.
- 4.Air : bila kekurangan air akan terjadi desintegrasi klorofil.

2.3.1 Reaksi fotosintesis :

Secara umum, reaksi fotosintesis terbagi 2 yaitu :

1. Reaksi Terang

Reaksi terang adalah proses untuk menghasilkan ATP dan reduksi NADPH₂. Reaksi ini memerlukan molekul air. Proses diawali dengan penangkapan foton oleh pigmen sebagai antena.

Pigmen klorofil menyerap lebih banyak cahaya pada warna biru (400-450 nanometer) dan merah (650-700 nanometer) dibandingkan hijau (500-600 nanometer). Fotosintesis akan menghasilkan lebih banyak energi pada gelombang cahaya dengan panjang tertentu. Hal ini karena panjang gelombang yang pendek menyimpan lebih banyak energi.

Di dalam daun, cahaya akan diserap oleh molekul klorofil untuk dikumpulkan pada pusat-pusat reaksi. Tumbuhan memiliki dua jenis pigmen yang berfungsi aktif sebagai pusat reaksi atau fotosistem yaitu fotosistem II dan fotosistem I. Fotosistem II terdiri dari molekul klorofil yang menyerap cahaya dengan panjang gelombang 680 nanometer, sedangkan fotosistem I, 700 nanometer. Kedua fotosistem ini akan bekerja secara simultan dalam fotosintesis, seperti dua baterai dalam senter yang bekerja saling memperkuat.

Fotosintesis dimulai ketika cahaya mengionisasi molekul klorofil pada fotosistem II, membuatnya melepaskan elektron yang akan ditransfer sepanjang rantai transpor elektron. Energi dari elektron ini digunakan untuk fotofosforilasi yang menghasilkan ATP, satuan pertukaran energi dalam sel. Reaksi ini menyebabkan fotosistem II mengalami defisit atau kekurangan elektron yang harus segera diganti. Pada tumbuhan dan alga, kekurangan elektron ini dipenuhi oleh elektron dari hasil ionisasi air yang terjadi bersamaan dengan ionisasi klorofil. Hasil ionisasi air ini adalah elektron dan

oksigen. Oksigen dari proses fotosintesis hanya dihasilkan dari air, bukan dari karbon dioksida.

Pada saat yang sama dengan ionisasi fotosistem II, cahaya juga mengionisasi fotosistem I, melepaskan elektron yang ditransfer sepanjang rantai transpor elektron yang akhirnya mereduksi NADP menjadi NADPH (<http://id.wikipedia.org/wiki/fotosintesis>, April 2008).

2. Reaksi Gelap

ATP dan NADPH yang dihasilkan dalam proses fotosintesis memicu berbagai proses biokimia. Pada tumbuhan proses biokimia yang terpicu adalah siklus Calvin yang mengikat karbon dioksida untuk membentuk ribulosa (dan kemudian menjadi gula seperti glukosa). Reaksi ini disebut reaksi gelap karena tidak bergantung pada ada tidaknya cahaya sehingga dapat terjadi meskipun dalam keadaan gelap (tanpa cahaya) (<http://id.answer.yahoo.com>, 2008).

H₂ yang terlepas akan diikat oleh NADP dan terbentuklah NADPH₂, sedang O₂ tetap dalam keadaan bebas. Menurut Blackman (1905) akan terjadi penyusutan CO₂ oleh H₂ yang dibawa oleh NADP tanpa menggunakan cahaya. Peristiwa ini disebut reaksi gelap NADPH₂ akan bereaksi dengan CO₂ dalam bentuk H⁺ menjadi CH₂O.



Ringkasnya :

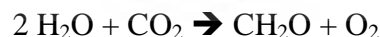
Reaksi terang :



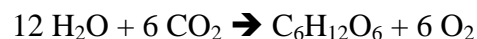
Reaksi gelap :



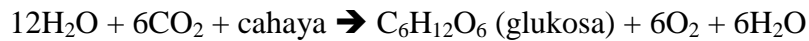
Atau



Atau



Reaksi umum



2.3.2 Faktor Penentu Laju Fotosintesis.

Berikut adalah beberapa faktor utama yang menentukan laju fotosintesis :

1. *Intensitas cahaya*

Laju fotosintesis maksimum ketika banyak cahaya.

2. *Konsentrasi karbon dioksida*

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

3. *Suhu*

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

4. *Kadar air*

Kekurangan air atau kekeringan menyebabkan stomata menutup, menghambat penyerapan karbon dioksida sehingga mengurangi laju fotosintesis.

5. *Kadar fotosintat (hasil fotosintesis)*

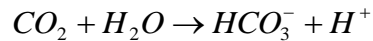
Jika kadar fotosintat seperti karbohidrat berkurang, laju fotosintesis akan naik. Bila kadar fotosintat bertambah atau bahkan sampai jenuh, laju fotosintesis akan berkurang.

6. *Tahap pertumbuhan*

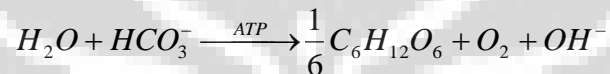
Penelitian menunjukkan bahwa laju fotosintesis jauh lebih tinggi pada tumbuhan yang sedang berkecambah ketimbang tumbuhan dewasa. Hal ini mungkin dikarenakan tumbuhan berkecambah memerlukan lebih banyak energi dan makanan untuk tumbuh.

2.3.3 Fotosintesis pada *Chlorella sp.*

Pada *Chlorella sp.*, fotosintesis dilakukan di dalam air/media hidupnya. CO₂ yang dibutuhkan sebagai *carbon source* didapatkan dalam bentuk senyawa bikarbonat yang terbentuk dari reaksi air dengan CO₂ terlarut dalam media hidupnya sebagai berikut :



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



Sehingga diketahui bahwa hasil fotosintesis dari *Chlorella sp.* adalah ion OH⁻, oksigen molekular, dan senyawa organik (karbon) yang akan digunakan sebagai cadangan makanan/*carbon source*, apabila tidak mendapatkan cahaya dan CO₂ yang cukup untuk pertumbuhan dan pembelahan selnya.

2.4 Manfaat *Chlorella* untuk kesehatan

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

1. Dinding sel

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

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

- Menyerap atau mengikat racun, baik yang berasal dari bahan kimia, makanan atau bakteri.
- Merangsang produksi sel-sel kekebalan saluran cerna sehingga tidak mudah terserang infeksi saluran cerna atau diare.

2. Klorofil

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

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

3. Beta karoten

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

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

4. CGF (Chlorella Growth Factor)

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

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

5. Protein

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

Tabel 2.1 Komposisi Biomassa *Chlorella vulgaris*.

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

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

(Sumber : www.gtamart.com)

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

Organisme autotrophic seperti mikroalga hijau *Chlorella* sp. membutuhkan cahaya, CO₂, H₂O, nutrien, dan trace element untuk pertumbuhannya (www.nhm.ac.uk). Berikut akan diuraikan beberapa faktor lain yang berhubungan dengan hal-hal tersebut yang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan mikroalga hijau *Chlorella* sp. pada medium terbatas. (Wirosaputro, 2002)

2.5.1 Jenis medium

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

2.5.2 Pencahayaan

Cahaya merupakan faktor utama yang mempunyai peranan penting untuk pertumbuhan mikroalga hijau *Chlorella* sp. untuk melakukan fotosintesis berkisar antara 2-3 klux. Cahaya lampu yang diperlukan oleh mikroalga hijau *Chlorella* sp. dapat diganti dengan lampu TL (Wirosaputro, 2002).

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

2.5.3 Pencahayaan kontinu

Pencahayaan kontinu adalah *Chlorella* sp. diiluminasi dengan cahaya tampak (370-900 nm) secara terus menerus sampai mencapai fase stasionernya. Dimana menurut

penelitian yang sudah dilakukan, perlakuan ini memberikan hasil laku pertumbuhan yang tinggi dibandingkan dengan perlakuan pencahayaan gelap terang.

2.5.4 Terang gelap (Fotoperiodesitas)

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

2.5.5 Alterasi

Alterasi adalah perubahan perlakuan pencahayaan kontinu dengan memberikan intensitas makin tinggi seiring dengan penambahan jumlah sel dari *Chlorella* sp. Dari penelitian-penelitian sebelumnya diketahui bahwa semakin banyak jumlah sel biomassa dari *Chlorella* sp. maka kultur akan semakin pekat, sehingga cahaya yang diberikan tidak lagi diterima secara merata oleh semua sel (hanya terbatas oleh sel yang ada di depan sumber cahaya). Oleh karena itu perlu dilakukan peningkatan intensitas cahaya agar cahaya dapat masuk dan diterima oleh sel sampai sel yang berada paling akhir pada kultur. Usaha ini telah dibuktikan dapat meningkatkan laju pertumbuhan optimal dan menghasilkan biomassa dengan jumlah yang lebih tinggi dibandingkan dengan pencahayaan kontinu tanpa alterasi pada *Cyanobacterium A. Cylindrica* (Wijanarko, A, 2003).

2.6 Jenis Fotobioreaktor

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

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

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

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

2.6.1 Kolom Gelembung

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

2.7 Perpindahan Massa Fasa Gas ke dalam Fasa Cair di Dalam Kolom Gelembung

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

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

fasa cair yang berlangsung cukup lama dan adanya gaya pendorong menyebabkan terjadinya perpindahan massa tersebut.

2.7.1 Koefisien Perpindahan Massa Fasa Cair

Koefisien perpindahan massa fasa cair (K_{La}) adalah suatu besaran yang menyatakan banyaknya massa gas yang berpindah/terlarut ke dalam fasa cair per satuan waktu. Perpindahan massa di dalam kolom gelembung dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti berikut :

a. Kecepatan Superfisial gas

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

b. Kecepatan superfisial fasa cair

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

c. Ukuran gelembung gas

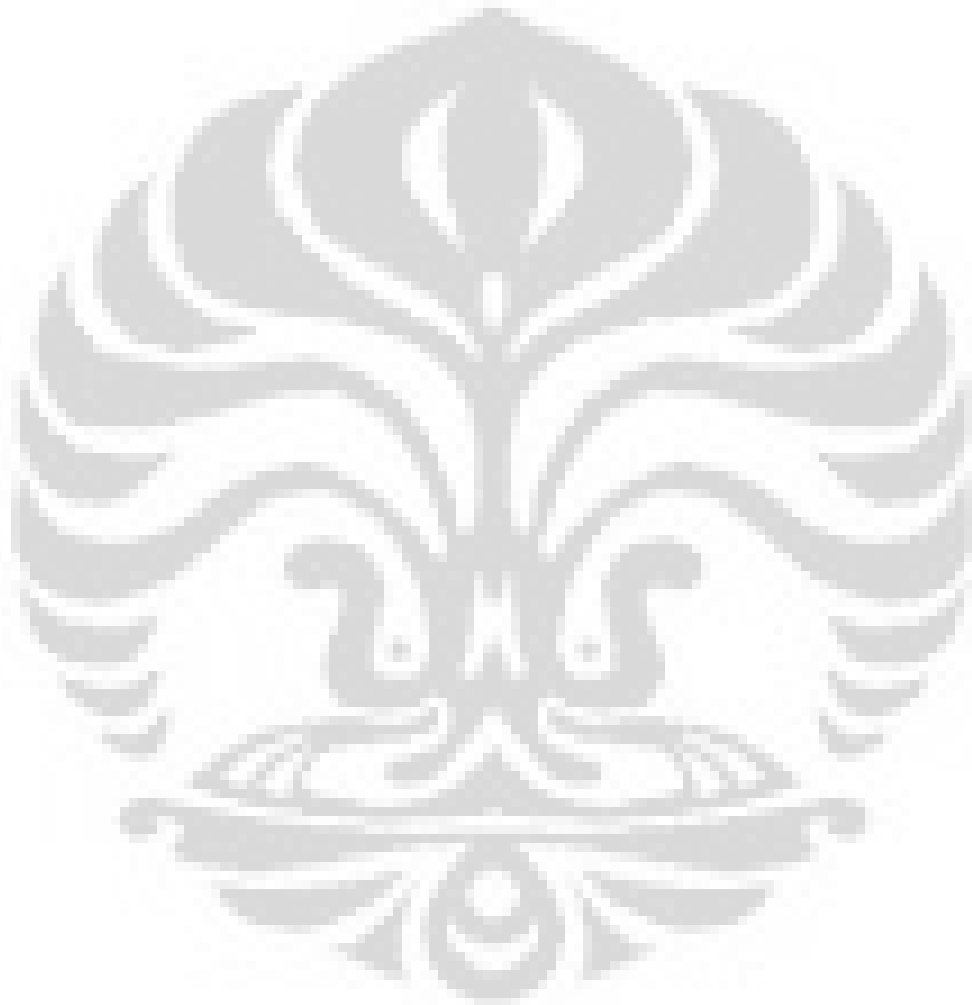
Hal ini ada kaitannya dengan distributor gas (*gas spargers*) yang digunakan, sehingga menghasilkan *gas hold up* yang berbeda dengan distribusi ukuran gelembung gas yang berbeda pula. Untuk ukuran gelembung yang kecil, akan cenderung meningkatkan harga K_{La} karena luas antarmuka yang makin meningkat.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

d. Konsentrasi elektrolit

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

e. Temperatur Sistem

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

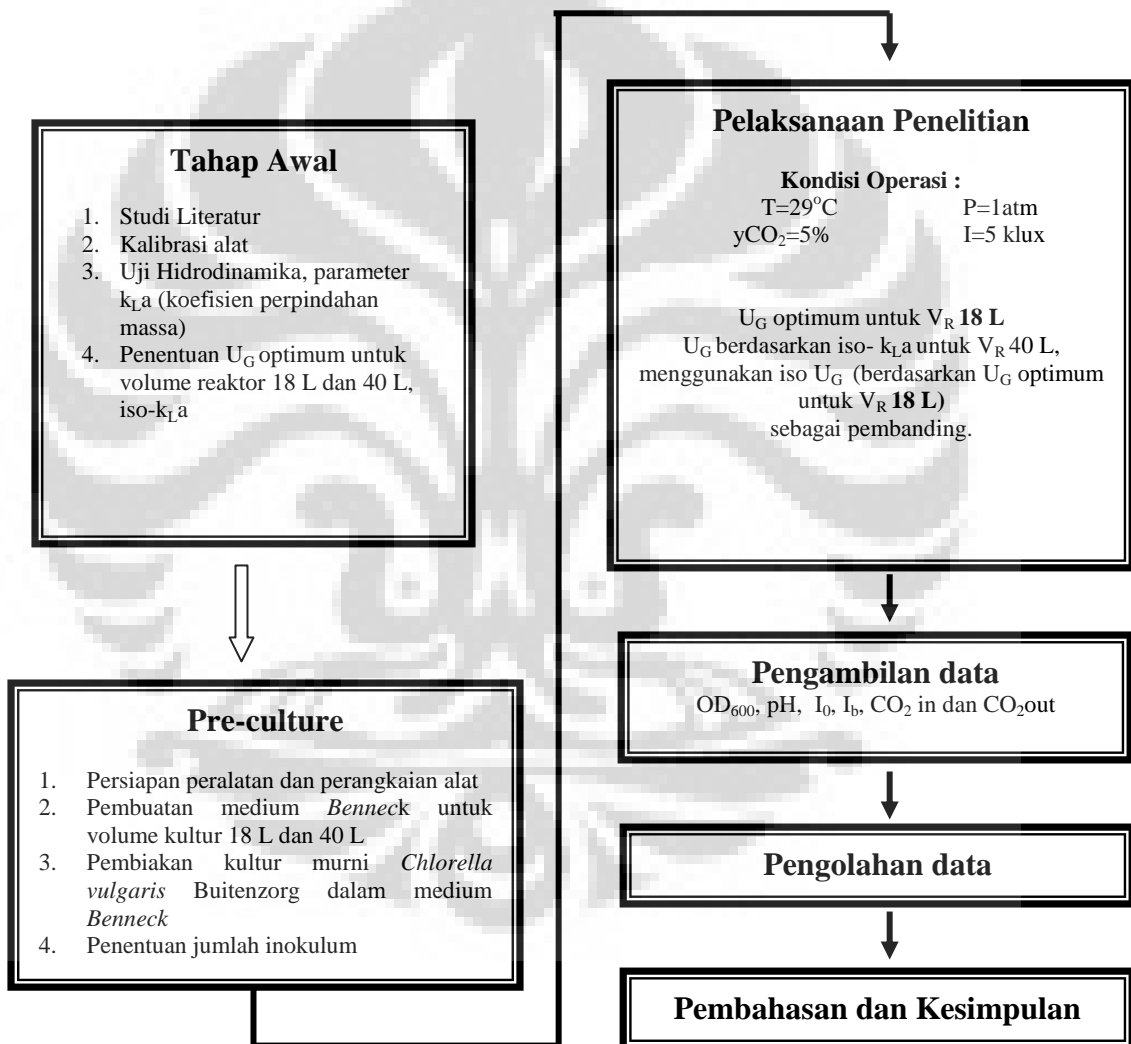


BAB III METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Rekayasa Bioproses, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

3.1. DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Tahapan penelitian ini bisa dilihat pada diagram alir penelitian berikut ini :



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.2. BAHAN DAN ALAT PENELITIAN

3.2.1. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam eksperimen penelitian ini antara lain :

1. Strain domestik *Chlorella vulgaris* Buitenzorg (Dinas Perikanan Darat Kota Depok, Indonesia)
2. KH_2PO_4 , MgSO_4 , NaNO_3 dan FeCl_3 untuk membuat media *Benneck*.
3. CO_2 untuk memperkaya udara pengaerasi medium kultur media dalam reaktor gelembung
4. Air bersih untuk membuat media *Benneck* dan mencuci peralatan.
5. Kertas tisu untuk mengeringkan

3.2.2. Alat Penelitian

Peralatan di reaktor yang dirangkai dalam satu sistem instrumen antara lain :

1. Fotobioreaktor berbentuk *flat-plate* berkapasitas 18 L dan 40 L dari bahan kaca transparan.
2. Sparger berbentuk pipa yang berlubang-lubang untuk sistem aerasi dalam reaktor sebanyak 2 buah untuk V_R 18 L dan sebanyak 4 buah untuk V_R 40 L.
3. Selang silikon.
4. *Air flow* kapasitas 140 L/min merk Resun LP-100
5. Flowmeter udara dan gas CO_2
6. Sumber cahaya sinar tampak berupa lampu Philip Halogen 23 W /220-240 V/ 1420 lm/ 62 lm/W *cool daylight*
7. *Y-junction* untuk memecah aliran udara/gas
8. T-septum dari bahan logam sebagai tempat sampel konsentrasi gas CO_2 masuk dan keluar reaktor.
9. Gelas beaker aliran gas keluaran fotobiorektor sebagai penahan aliran udara masuk dari lingkungan

Peralatan yang digunakan untuk pengambilan dan analisa data penelitian antara lain

1. *Optical density* 600 nm (OD_{600}) dengan spektrofotometer Double-Beam Spectrophotometer model 200-20 untuk mengukur kerapatan biomassa dalam medium kultur
2. *TCD Gas chromatography* untuk konsentrasi gas CO_2 input dan output
3. *Luxmeter* (Luxtron LX-103) untuk kerapatan flux cahaya awal dan transmisi
4. *pH meter electrode* (Hanna Model HI 8014) untuk monitor pH medium kultur
5. *DO-meter* (Multi 340i) untuk mengukur konsentrasi O_2 dalam air.
6. *Stopwatch* untuk mengukur waktu
7. Penggaris untuk mengukur ketinggian level liquid

Peralatan lain sebagai tambahan yaitu :

1. Peralatan *glassware* yang terdiri dari erlenmeyer, pipet ukur, pipet tetes, gelas ukur, botol sampel dan *beaker glass* yang memiliki volume tertentu sesuai dengan kebutuhan
2. Bola karet untuk pipet ukur

3.3. VARIABEL PENELITIAN

1. Variabel bebas, yaitu variabel yang diset pada suatu harga tertentu, meliputi : waktu pengambilan data (t) .
2. Variabel semibebas, yaitu variabel yang besarnya ditentukan oleh suatu variabel terikat tertentu, meliputi : berat kering sel (X) yang besarnya ditentukan sesuai dengan pengukuran OD
3. Variabel terikat, yaitu variabel yang diukur dengan menggunakan alat, meliputi : kerapatan massa (OD_{600}), pH, dan besar intensitas cahaya masuk (I_0) dan yang ditransmisikan oleh reaktor (I_b).

3.4. PROSEDUR PENELITIAN

Dari Gambar 3.1, tahapan prosedur penelitian yang akan dilakukan dapat dijabarkan sebagai berikut :

3.4.1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan meliputi :

3.4.1.1. Studi Literatur

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

3.4.1.2. Kalibrasi Alat

Alat-alat yang perlu dikalibrasi meliputi semua alat yang digunakan untuk pengukuran. Hal ini perlu dilakukan agar pengukuran tepat dan sesuai dengan kondisi aktual yang ada.

Alat-alat yang dikalibrasi meliputi :

1. Flowmeter udara dan CO₂
2. DO-meter
3. pH-meter
4. Spektrofotometer dengan memvalidasi grafik hubungan antara OD dengan jumlah sel (N_{sel}) dan berat kering (X).

Cara-cara melakukan kalibrasi untuk tiap peralatan dilakukan sesuai dengan petunjuk atau *manual book* yang ada.

3.4.1.3. Uji Hidrodinamika k_{La}

Tahap ini merupakan lanjutan pencarian parameter hidrodinamika dari aliran gas-cairan dalam reaktor. Pengujian yang dilakukan untuk parameter yaitu koefisien perpindahan massa (k_{La}). Cara yang dilakukan adalah dengan memvariasikan kecepatan superficial (U_G) pada aliran di reaktor dan selanjutnya mengukur parameter koefisien perpindahan massa (k_{La}) untuk tiap U_G di reaktor 18 L dan 40 L.

Cara mengukur koefisien perpindahan massa (k_{La}) dengan menggunakan *dynamic method* (Doran, 1995) adalah sebagai berikut :

1. Menempatkan *probe DO-meter* ke dalam air dalam reaktor pada ketinggian tertentu

2. Mengalirkan udara dari *air flow* pada kecepatan superfisial (U_G) tertentu.
3. Mencatat pembacaan konsentrasi O_2 yang stabil di DO meter pada saat pertama kali setelah aerasi. Konsentrasi tersebut adalah C_{AL1}
4. Mencatat konsentrasi O_2 yang stabil di DO meter pada saat berikutnya sebagai C_{AL2} .
5. Melakukan pengukuran konsentrasi O_2 dari waktu ke waktu hingga pembacaan DO meter mulai cenderung konstan/stabil. Rata-rata dari pembacaan di DO meter yang mulai steady disebut C_{AL} .
6. Memplotkan grafik $\ln\left(\frac{C_{AL} - C_{AL1}}{C_{AL} - C_{AL2}}\right)$ Vs $(t_2 - t_1)$
7. Slope dari grafik tersebut adalah $k_L a$

3.4.1.4. Penentuan U_G Optimum

Dari hasil uji hidrodinamika, selanjutnya dibuat grafik hubungan antara k_{La} vs U_G . Dari grafik ini, U_G optimum untuk reaktor 18 L yang sudah diteliti dan ditemukan oleh Isnaeni (2009) diplotkan untuk mendapatkan harga k_{La} . Dengan harga k_{La} yang sama atau disebut juga iso- k_{La} , maka U_G optimum untuk reaktor 40 L dapat ditentukan dari grafik tersebut. U_G optimum ini digunakan sebagai kondisi operasi pada reaktor 40 L.

3.4.2. Tahap Pre-culture

3.4.2.1. Perangkaian Alat

Pada tahap ini, semua alat yang yang dibutuhkan untuk sistem produksi dirangkai menjadi satu kesatuan seperti Gambar 3.2

3.4.2.2. Pembuatan Medium *Benneck*

Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat medium *Benneck* adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1. Bahan Medium *Benneck*

Bahan	Komposisi (mg/dm³ Aquadest)
KH ₂ PO ₄	200
MgSO ₄ .7H ₂ O	100
NaNO ₃	500
FeCl ₃	3-5

Cara pembuatan medium :

- Menyiapkan bahan-bahan pada tabel diatas, kemudian melarutkan bahan-bahan tersebut dalam air bersih dan diaduk sampai semuanya larut.
- Menyimpan medium yang sudah jadi dalam tempat tertutup dan aman.

3.4.2.3. Pemiakan Kultur Murni *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Chlorella vulgaris Buitenzorg murni dimasukkan ke dalam tempat kultivasi dan dicampur dengan medium *Benneck* dengan perbandingan tertentu sesuai kebutuhan penelitian. Kemudian dilakukan kultivasi dengan mengalirkan udara ke dalamnya. Kultivasi dapat dilakukan selama 2-3 hari dengan memberikan cahaya dengan intensitas 1000 lux untuk melewati fasa *lag* dari pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.

3.4.2.4. Penentuan Jumlah Inokulum

Penentuan jumlah inokulum perlu dilakukan untuk mengetahui perkembangan pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Dalam proses ini dilakukan homogenisasi dengan cara mengaerasi medium kultur hingga semua endapan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg yang ada di dalamnya merata. Kemudian mengambil sampel yang akan ditentukan jumlah selnya kemudian mengukur nilai absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer.

3.4.3 Tahap Penelitian

3.4.3.1. Iso- k_{La}

Setelah inokulum diukur pada tahap penentuan jumlah, kemudian inokulum tersebut dipindahkan ke dalam reaktor untuk memulai penelitian. Kondisi pH dan intensitas cahaya (I_0 dan I_b) juga diukur sebelum sistem dioperasikan. Selanjutnya kondisi operasi diatur pada kecepatan superfisial (U_G) aerasi yang sudah ditentukan sesuai grafik k_{La} vs U_G dengan konsentrasi CO_2 didalamnya sebanyak 5%. Sedangkan pencahayaan dibuat kontinu pada 5000 lux.

3.4.4. Pengambilan data

Data diambil tiap 4 jam sekali yaitu antara lain OD_{600} , pH, I_0 dan I_b , CO_2 in dan out.

3.4.5. Pengolahan Data

Data yang diambil akan diolah menjadi beberapa variabel berikut :

a. Pengolahan Data OD_{600}

Nilai OD yang didapat akan dikonversi menjadi N_{sel} dan X . N_{sel} adalah jumlah sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg yang terdapat dalam satu satuan volume. Sedangkan berat kering biomassa (X) adalah berat dari *Chlorella vulgaris* Buitenzorg di luar medium hidupnya. Jumlahnya dapat dihitung secara langsung dengan menggunakan data absorbansi pada 600 nm dan mengkorelasikannya pada kurva kalibrasi OD_{600} vs N_{sel} dan OD_{600} vs X .

Selanjutnya untuk mendapatkan hubungan antara X dan t atau $X = f(t)$ sebagai kurva pertumbuhan, digunakan model pendekatan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung laju pertumbuhan spesifik (μ) atau laju pertumbuhan produksi biomassa pada fasa logaritmik adalah persamaan kinetika *Monod* (1949)

$$\mu = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} \quad \text{atau} \quad \mu = \frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dt} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana :

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

b. Pengolahan Data pH

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

$$K_{CO_2} = \frac{[HCO_3^-][H^+]}{[CO_2]} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$[HCO_3^-] = K_{CO_2}[CO_2][H^+] \dots\dots\dots (3.3)$$

$$[HCO_3^-] = K_{CO_2}[CO_2]10^{-pH} \dots\dots\dots (3.4)$$

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

$$P_{CO_2} = H_{CO_2}[CO_2] \dots\dots\dots (3.5)$$

$$P_{CO_2} = \frac{y_{CO_2} \cdot P_T}{T} \dots\dots\dots (3.6)$$

$$\ln \left[\frac{H_{CO_2}}{H_{CO_2,0}} \right] = A_H \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_H \cdot \ln \left(\frac{T_0}{T} \right) + C_H \cdot \left(\frac{T_0}{T} - 1 \right) \dots\dots\dots (3.7)$$

$$\ln \left[\frac{H_{CO_2}}{H_{CO_2,0}} \right] = A_K \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_{KH} \cdot \ln \left(\frac{T_0}{T} \right) + C_K \cdot \left(\frac{T_0}{T} - 1 \right) \dots\dots\dots (3.8)$$

Dengan menggabungkan dua persamaan terakhir, maka kandungan bikarbonat $[HCO_3^-]$ dapat dihitung :

$$[HCO_3^-] = \left(\frac{K_{CO_2,0}}{H_{CO_2,0}} \right) \left(\frac{y_{CO_2} P_T}{10^{-pH}} \right) \left(\frac{\text{EXP} \left[A_K \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_K \cdot \ln \left(\frac{T_0}{T} \right) + C_K \cdot \left(\frac{T_0}{T} - 1 \right) \right]}{\text{EXP} \left[A_H \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) + B_H \cdot \ln \left(\frac{T_0}{T} \right) + C_H \cdot \left(\frac{T_0}{T} - 1 \right) \right]} \right) \dots\dots (3.10)$$

Dengan :

- P_T = temperatur operasi (*atm*)
 $y_{CO_2,0}$ = konsentrasi gas CO2 yang diumpankan (%)

$$K_{CO_2,0} = 4,38 \cdot 10^{-7}$$

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

T = temperatur operasi (K)

T₀ = temperatur standar (K)

Konstanta-konstanta aktivitas gas CO₂ :

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

$$A_h = 22,771 \quad B_h = -11,452 \quad C_h = -3.117$$

c. Pengolahan Data I

Jumlah intensitas yang diterima oleh reaktor (I₀) dan besar intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh reaktor (I_t) digunakan untuk menentukan besarnya nilai energi yang digunakan untuk produksi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Nilai energi tersebut ditentukan melalui persamaan berikut (Hirata *et al*, 1996) :

$$E_x = \frac{\int_0^t I_t dt}{\Delta X \cdot s} \dots\dots\dots (3.11)$$

dimana :

ΔX = berat biomassa yang dihasilkan selama masa kultivasi (g/dm³)

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

I_t = intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh kultur medium (W/m²)

t = waktu (jam)

dengan nilai konversi 1 lux = 2,95 · 10⁻³ W/m²

Energi cahaya total yang diterima oleh medium kultur selama pertumbuhan adalah (Hirata *et al*, 1996) :

$$E = \frac{\int (I_i - I_t) dt}{\Delta X \cdot s} \dots\dots\dots (3.12)$$

Selanjutnya dicari nilai efisiensi konversi energi cahaya untuk pembentukan biomassa η (Hirata *et al*, 1996) :

$$\eta = \frac{E_x}{E} \times 100\% \dots\dots\dots (3.13)$$

d. Pengolahan data CTR (Carbondioxide Transfer Rate)

Untuk mengetahui laju transfer gas CO₂ di dalam medium maka pada penelitian ini dapat menggunakan persamaan :

$$CTR = \Delta y_{CO_2} \times \alpha_{CO_2} \dots\dots\dots(3.14)$$

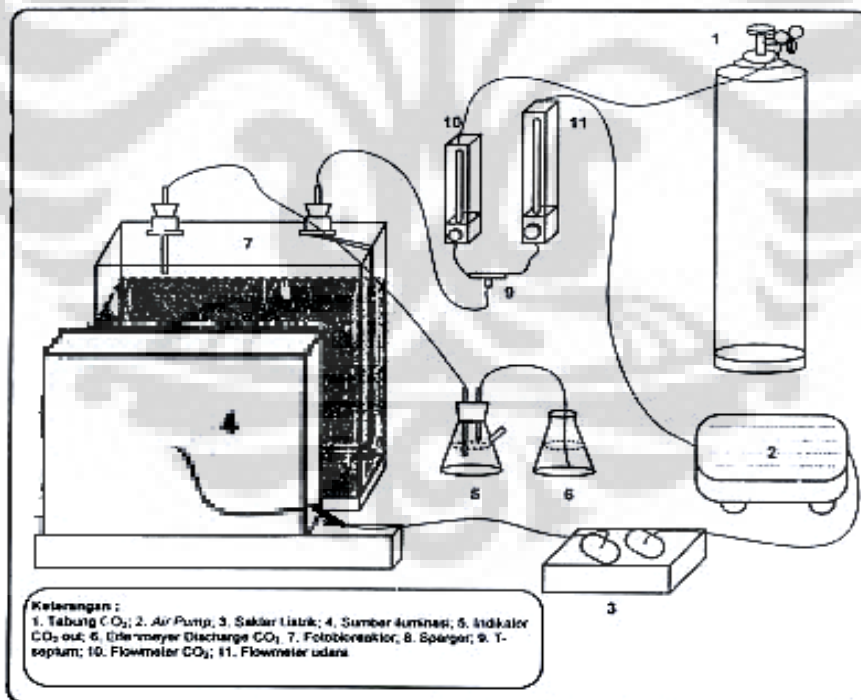
e. Pengolahan Data CUR (Carbon Uptake Rate)

Untuk mengetahui nilai CUR (Carbon Uptake Rate) pada penelitian ini dapat menggunakan persamaan :

$$CUR = \alpha \cdot \frac{dx}{dt} \quad ; \quad \text{Dimana: } \alpha = \frac{44}{\beta} \dots\dots\dots(3.15)$$

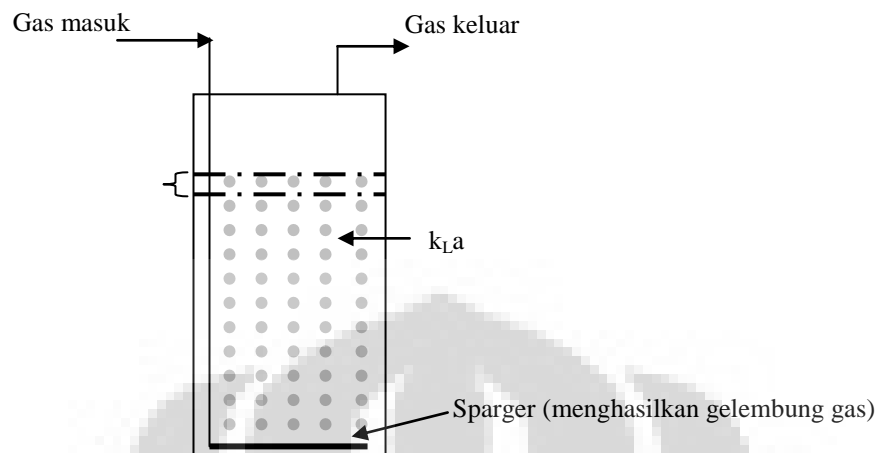
β = Berat molekul campuran

3.5. RANGKAIAN PERALATAN



Gambar 3.2. Rangkaian peralatan penelitian

3.6. SKEMA PROSES



Gambar 3.3. Skema proses dalam penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembahasan Umum

Pada penelitian ini, mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dikultivasi dalam fotobioreaktor kolom gelembung dengan pencahayaan kontinyu dan volume yang digunakan 40 L. Dalam kultivasi, dilakukan variasi kecepatan superfisial udara yang diambil berdasarkan pengukuran hidrodinamika yaitu parameter koefisien perpindahan massa (K_{La}) untuk mendapatkan kecepatan superfisial udara optimum agar produksi biomassa *Chlorella* menjadi maksimal.

Pada penelitian ini medium yang digunakan adalah *benneck*. penggunaan medium *Benneck* sebagai medium hidup kultur adalah karena di dalam medium ini terdapat banyak senyawa makro yang diperlukan dalam pertumbuhan *Chlorella vulgaris* (Wirosaputro, 2002: <http://www.nhm.ac.uk/>). Kandungan medium *Benneck* itu sendiri adalah $MgSO_4$, KH_2PO_4 , $NaNO_3$ dan $FeCl_3$ dengan komposisi seperti yang tertera pada tabel 3.1.

Jumlah inokulum awal *Chlorella* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu $1.000.000 \text{ sel/cm}^3$ atau dengan nilai X yaitu 0,72 gr/L. Jumlah inokulum ini dibuat dengan perbandingan stok alga terhadap medium yaitu 1 : 2. Sebelumnya, dilakukan *pre-culture* pada *Chlorella* yang bertujuan untuk memberikan kesempatan pada mikroalga tersebut beradaptasi dengan lingkungan atau medium yang baru (melewati fase lag). Jumlah inokulum awal tersebut didapat dengan mengukur nilai absorbansi dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 600. Kemudian nilai absorbansi tersebut dikorelasikan dengan menggunakan kurva kalibrasi OD_{600} vs N sel. Namun untuk pengolahan data, yang digunakan yaitu data dari fase log. Intensitas cahaya yang digunakan yaitu 5000 lux. Nilai intensitas cahaya ini mengacu pada penelitian sebelumnya dimana intensitas cahaya untuk pertumbuhan sel optimum dengan jumlah inokulum awal yang digunakan adalah 5000 lux (Andika, 2005). Konsentrasi CO_2 yang digunakan dijaga tetap sebanyak 5% dari total laju alir udara yang masuk ke dalam fotobioreaktor.

Pada penelitian ini tahap pertama dilakukan perlakuan Iso KLa dengan pencahayaan kontinyu dan sebagai pembanding dilakukan perlakuan Iso U_G juga dengan pencahayaan kontinyu. Dimana pada penentuan iso KLa terlebih dahulu dilakukan dengan menggunakan metode dinamik. metode dinamik merupakan suatu

metode untuk mengukur koefisien transfer massa dengan mengukur kelarutan suatu gas di dalam cairan, di dalam pengukuran K_La menggunakan alat DO meter untuk mengukur kelarutan gas O_2 dan nilai K_La dari gas O_2 akan diperoleh dari slope grafik antara $\ln(C^*-C_0)/(C^*-C)$ dengan t_2-t_1 (selang waktu). Untuk mendapatkan nilai K_La dari gas CO_2 maka akan dihitung dengan faktor korelasi $0,91 \cdot K_La(O_2)$.

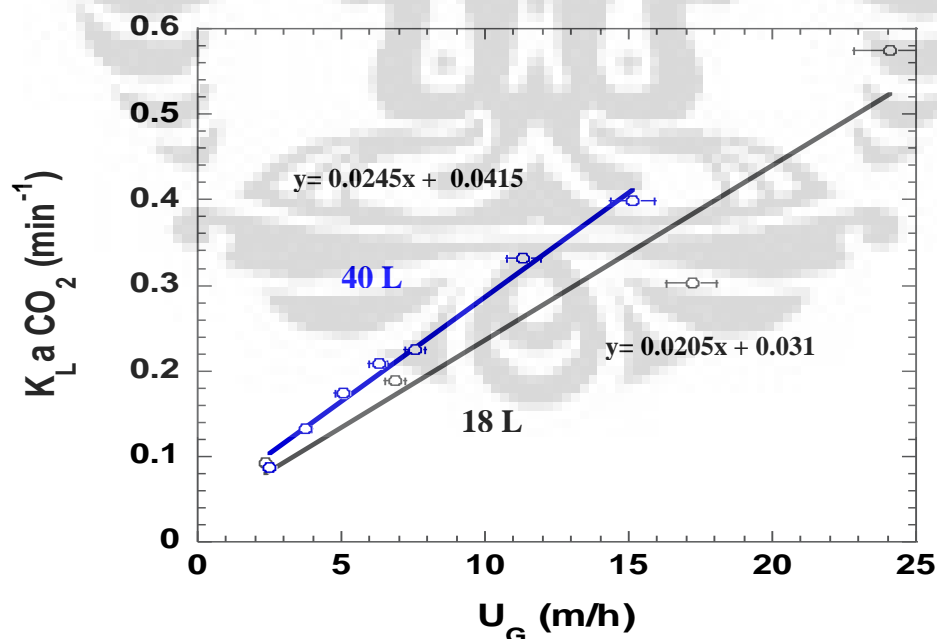
4.1 PENGEMBANGAN PARAMETER ISO- K_La

4.1.1 Koefisien Perpindahan Massa (K_La)

Koefisien perpindahan massa (K_La) menunjukkan besarnya perpindahan massa gas ke dalam cairan di reaktor. Tentu saja parameter ini sangat penting karena merupakan indikator langsung seberapa besar massa gas berpindah ke cairan.

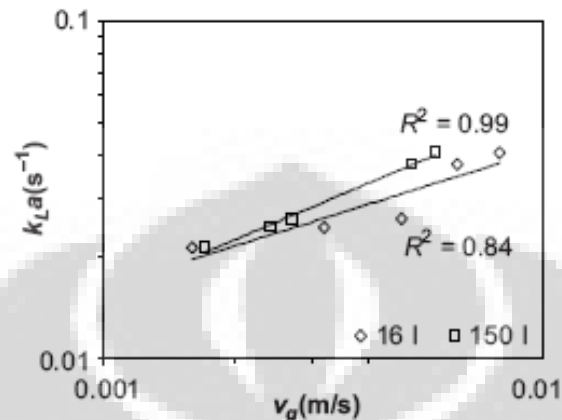
Koefisien perpindahan massa (K_La) dalam penelitian ini ditentukan dengan menggunakan metode dinamik. Prosesnya adalah dengan mengukur pertambahan konsentrasi oksigen pada air yang belum sama sekali diaerasi menggunakan *DO-meter* dari waktu t_1 , t_2 dan waktu-waktu berikutnya hingga konsentrasi yang ditunjukkan oleh *DO-meter* makin konstan (*steady*). Selanjutnya data diolah dengan menggunakan metode dinamik dan k_La ditentukan dari slope grafik yang didapat dari pengolahan data tersebut.

Hasil pengukuran k_La pada beberapa variasi U_G dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 4.1. Pengaruh kecepatan superficial (U_G) terhadap koefisien perpindahan massa (k_La) pada dua volume reaktor 18 L dan 40 L

Dari grafik diatas terlihat bahwa kecepatan superfisial (U_G) yang semakin diperbesar akan memperbesar koefisien perpindahan massa ($k_{L,a}$). Hasil ini cocok seperti hasil yang dilakukan Alam dan Razali (2005) berikut ini.



Gambar 4.2. Besarnya $k_{L,a}$ menurut besarnya kecepatan superfisial pada air destilasi 30 °C sumber : Alam dan Razali (2005).

Grafik 4.3 juga menunjukkan harga $k_{L,a}$ pada volume 40 L lebih besar dari harga $k_{L,a}$ pada volume 18 L pada U_G yang sama. Hal ini sama seperti yang dijelaskan pada bagian *gas hold up* sebelumnya, adalah karena dipengaruhi oleh geometri reaktor. Karena luas penampang permukaan cairan di 40 L lebih besar dan ketinggian cairan lebih rendah maka tahanan cairan lebih kecil. Sehingga gas lebih banyak masuk dalam cairan dan proses perpindahan massa lebih besar.

4.3. PENGUJIAN ISO- U_G DAN ISO $k_{L,a}$ PADA PRODUKSI MIKROALGA *CHLORELLA VULGARIS* BUITENZORG

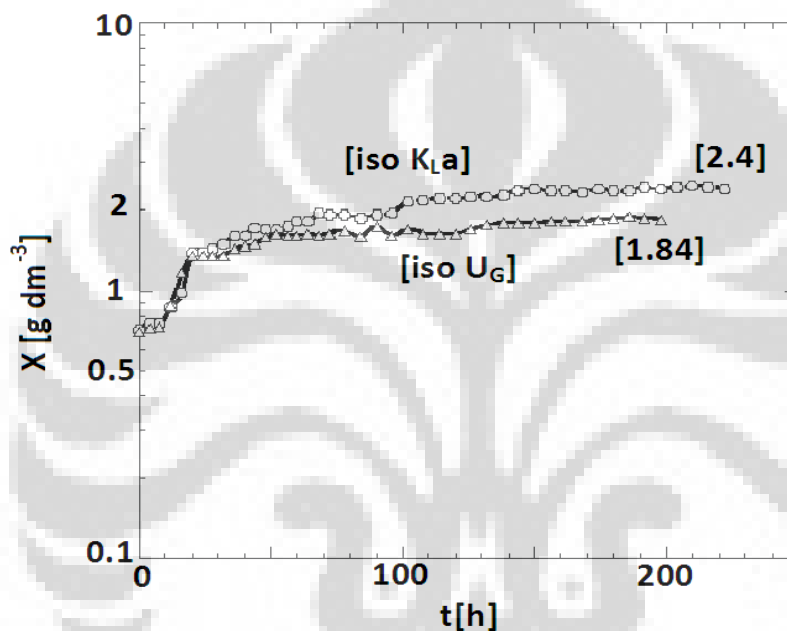
Dari grafik 4.1 kecepatan superfisial (U_G) yang akan dijadikan kondisi operasi pada reaktor 40 L dapat ditentukan berdasarkan kondisi iso- $k_{L,a}$. Kondisi iso- U_G dan iso- $k_{L,a}$ yang menjadi acuan adalah berdasarkan reaktor 18 L. Isnaeni (2009) telah mendapatkan kecepatan superfisial (U_G) optimum untuk reaktor 18 L sebesar 15,15 m/h dan nantinya akan digunakan untuk Iso U_G .

Sesuai grafik 4.1 dan berdasarkan U_G optimum di reactor 18 L, maka U_G berdasarkan iso- $k_{L,a}$ untuk reaktor 40 L didapatkan sebesar 12,20 m/h. Dengan harga U_G yang sudah didapatkan berdasarkan iso- $k_{L,a}$ diatas, maka produksi biomassa mikroalga *chlorella vulgaris* Buitenzorg diujikan sesuai dengan U_G tersebut.

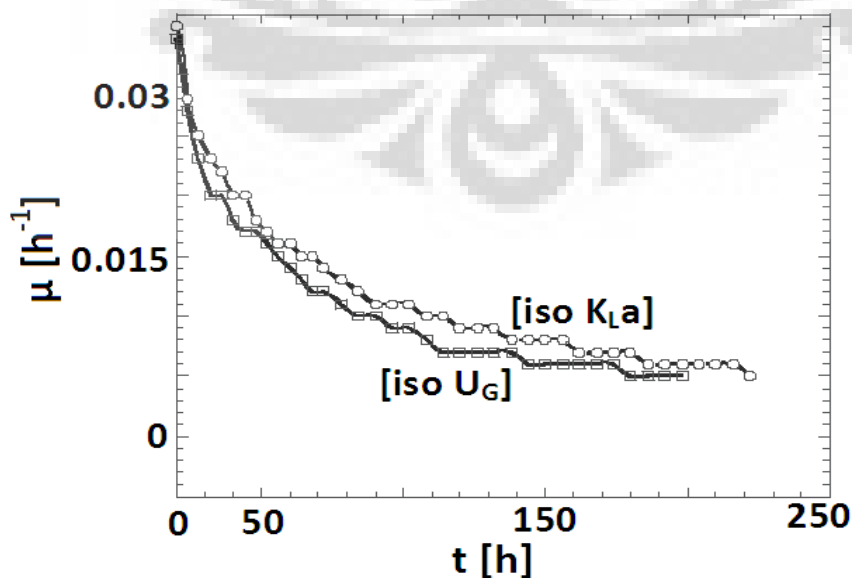
4. 3.1 Hasil Produksi Biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg Berdasarkan iso- U_G dan iso- K_{La}

Pada Penelitian ini baik perlakuan iso K_{La} maupun iso U_G sebagai pembanding menggunakan jumlah inokulum awal yang digunakan sebesar 0,7 g/L dan $I_{max,opt}$ yang digunakan pada kulturisasi adalah 5,000 lx secara kontinu.

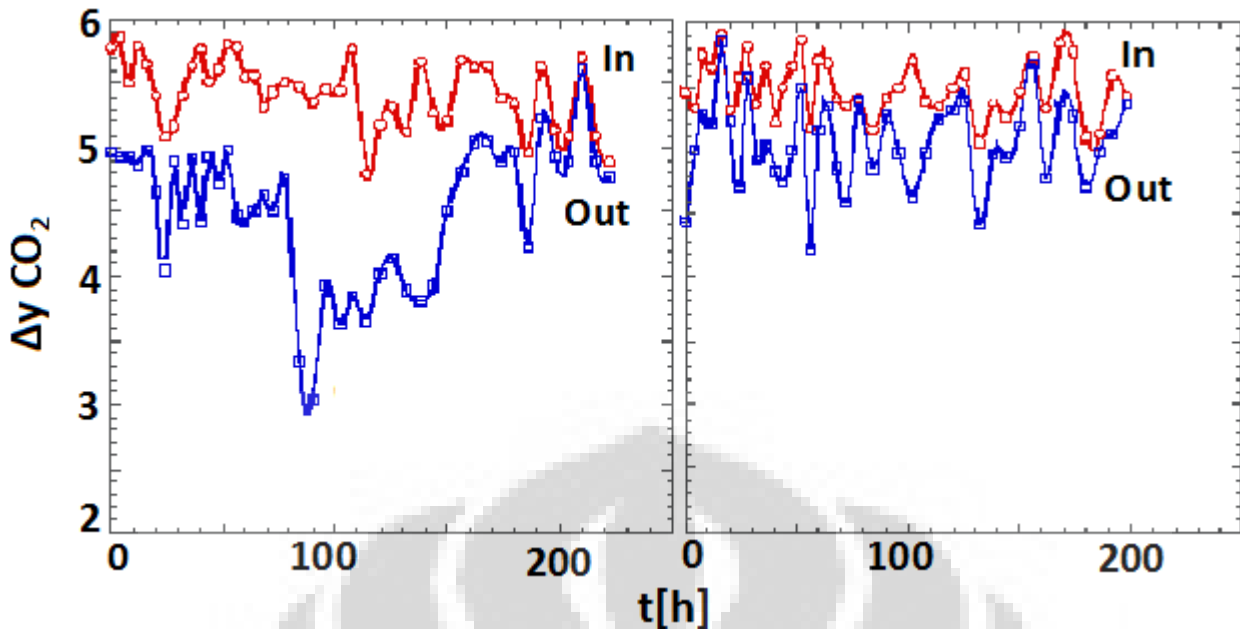
Grafik hubungan antara berat kering/biomassa (X) terhadap waktu yang didapat dari penelitian ini sebagai berikut :



Gambar 4.3. Grafik Pengaruh kondisi iso U_G dan iso K_{La} terhadap produksi Biomassa.



Gambar 4.4. Grafik Peristiwa laju pertumbuhan pada kondisi iso U_G dan iso K_{La} .



Gambar 4.5. Grafik Peristiwa y CO₂ in/out pada kondisi iso U_G dan iso K_La (A: iso K_La ; B: iso U_G)

Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa produksi biomassa mikroalga dari kondisi iso U_G membentuk kurva lebih landai dan gradiennya lebih kecil dari pada kondisi iso K_La. Sehingga dapat dipastikan berdasarkan Gambar 4.4 bahwa laju produksi biomassa pada kondisi iso K_La lebih tinggi dibandingkan laju produksi biomassa pada kondisi iso U_G. Hasil perhitungan berat kering sel akhir (X_f) adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1. Nilai berat kering akhir (X_f)

Kondisi	INOKULUM (g/dm ³)	X_f (g/dm ³) Volume kultur 40 L
iso-U _G	0,7	1,84
Iso-K _L a	0,7	2,4

Dari tabel terlihat bahwa biomassa akhir yang dihasilkan pada kondisi iso K_La lebih banyak dibandingkan dengan kondisi iso U_G. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dengan menggunakan jumlah inokulum awal yang sama namun, dengan kondisi iso K_La mampu meningkatkan produksi biomassa *Chlorella vulgaris* sampai 1,3 kali lipat. Sedangkan dari gambar grafik 4.5 menggambarkan kondisi y CO₂ in dan out yang masuk dan keluar di reaktor. Dari gambar ini dapat diketahui bahwa pada kondisi iso U_G dan kondisi iso K_La konsentrasi CO₂ yang masuk ke dalam reaktor sebesar 5%. Data konsentrasi CO₂ masuk dan keluar ini diperoleh dengan melihat grafik hasil gas chromatography (GC-TCD Shimadzu GC-8). Pada gambar 4.4 juga menerangkan

mengenai laju pertumbuhan. Laju pertumbuhan produksi biomassa pada media kultur berada dalam fase logaritmik dimana laju pertumbuhan berada pada titik maksimal lalu seiring bertambahnya waktu akan terus menurun hingga memasuki fasa stationer. Peristiwa ini dapat dimengerti dari persamaan laju pertumbuhan (μ) yaitu:

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

dimana :

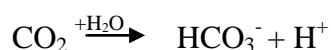
- μ = laju pertumbuhan spesifik (h^{-1})
- N = jumlah sel (sel/cm^3)
- X = berat kering sel/biomassa (g/dm^3)
- t = waktu (h)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa nilai μ berbanding terbalik dengan berat kering yang dihasilkan pada rentang tertentu sehingga semakin banyak biomassa yang dihasilkan maka μ akan semakin kecil. Pada kondisi iso K_L laju pertumbuhannya menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan iso U_G hal ini terjadi karena aktivitas sel pada kondisi iso K_L lebih tinggi dibandingkan dengan iso U_G .

Kemudian dari variabel penelitian yang diambil seperti pH, I_b dan y_{CO_2} , dapat dihitung beberapa parameter penelitian lain seperti q_{CO_2} , CTR, CUR [HCO_3^-] dan Ex.

4.3.2 Perhitungan [HCO_3^-]

Perhitungan terhadap [HCO_3^-] dimaksudkan untuk mengetahui jumlah [HCO_3^-] yang tersedia, yang dapat dikonsumsi oleh sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dalam pertumbuhannya. Senyawa bikarbonat ($[\text{HCO}_3^-]$) sendiri terbentuk karena adanya reaksi antara CO_2 terlarut dalam larutan medium dengan air. Konsentrasi [HCO_3^-] dihitung dari perubahan pH kultur yang terjadi sebagai akibat adanya aktivitas pertumbuhan sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Dari hasil penelitian yang sudah pernah dilakukan, menunjukkan bahwa peningkatan jumlah sel dalam kultur cenderung meningkatkan jumlah pH kultur. Pada saat gas CO_2 masuk dalam kultur, proses yang terjadi adalah pembentukan senyawa bikarbonat (pada ekstraselular) seperti pada reaksi berikut:

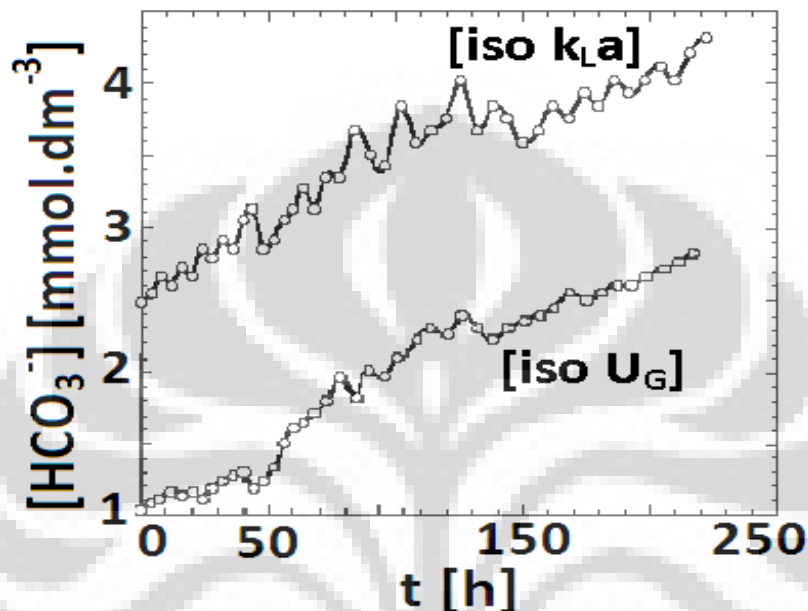


Senyawa bikarbonat inilah yang kemudian diserap oleh sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Proses metabolisme yang terjadi dalam sel selanjutnya adalah reaksi

antara bikarbonat tersebut dan air yang terdapat dalam sel membentuk senyawa organik seperti glukosa dan ion OH^- dimana dapat terlihat pada persamaan berikut:



Dengan menggunakan persamaan hukum Henry, dapat dicari besarnya konsentrasi $[\text{HCO}_3^-]$ yang terbentuk dalam kultur yaitu:



Gambar 4.6. Grafik Pengaruh kondisi iso UG dan iso KLa terhadap $[\text{HCO}_3^-]$ pada kultur

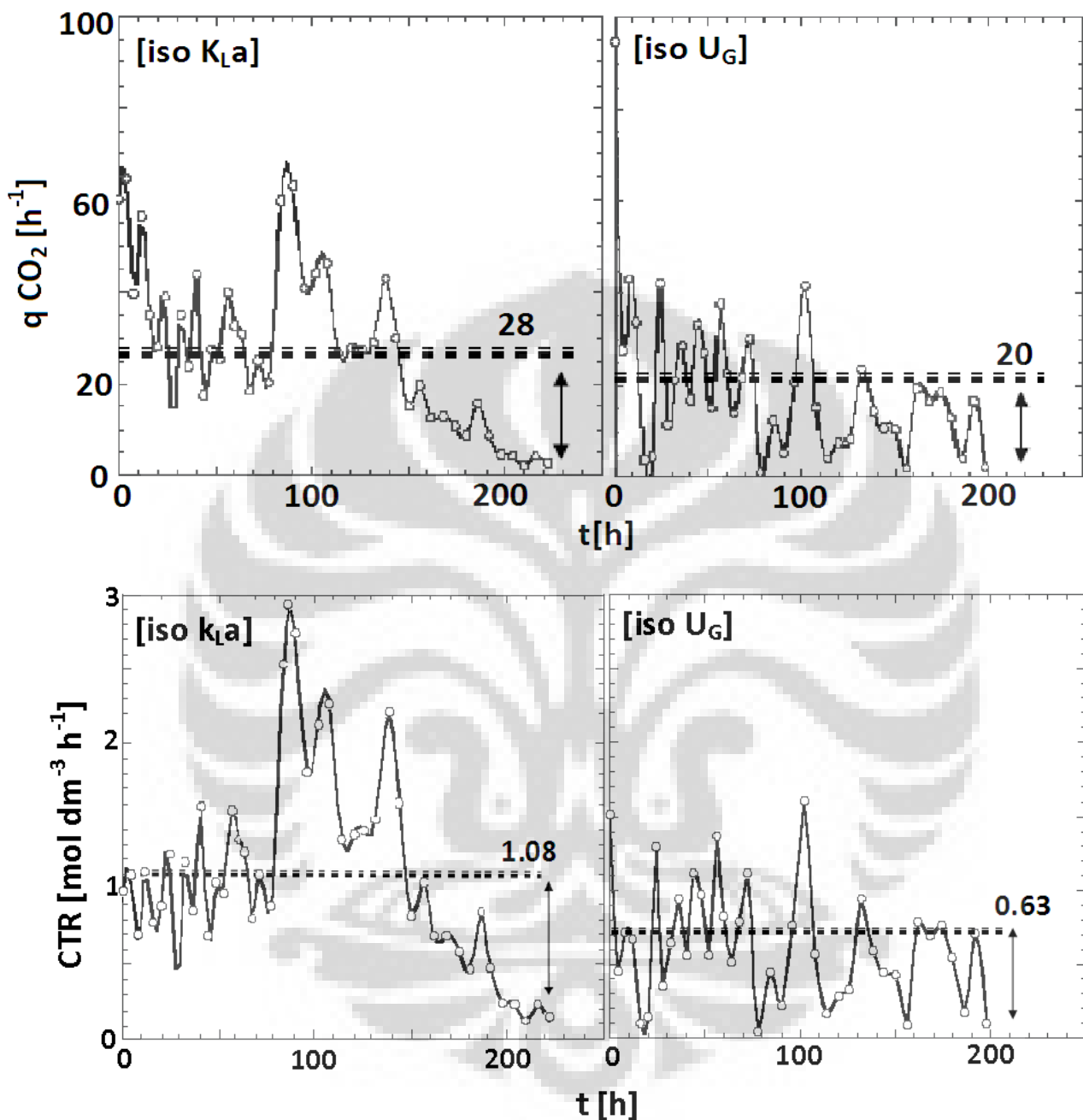
Karena besarnya konsentrasi spesi ion $[\text{HCO}_3^-]$ sebanding dengan besarnya nilai pH, maka nilai $[\text{HCO}_3^-]$ akan semakin besar dengan naiknya nilai pH dalam kultur.

Dari gambar 4.6 didapatkan nilai maksimum $[\text{HCO}_3^-]$ pada kultur kondisi iso U_G adalah 2,54 mM dan pada kultur kondisi iso K_{La} adalah 4,16 mM. Dari hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa pada kondisi iso K_{La} konsentrasi spesi ion $[\text{HCO}_3^-]$ dalam kultur meningkat 1,64 kali lipat dibandingkan kondisi iso U_G dengan sistem pencahayaan kontinu. Ini sejalan dengan fakta bahwa pada kondisi iso K_{La} aktivitas sel yang terjadi sangat tinggi.

4.3.3 Perhitungan q_{CO_2} , CTR, dan CUR

Laju transfer CO_2 spesifik (q_{CO_2}) adalah laju gas CO_2 yang ditransfer dalam suatu volume medium karena adanya aktivitas kehidupan biologi dalam satu satuan waktu tertentu, sedangkan CTR (Carbon Transfer Rate) merupakan banyaknya gas CO_2 yang ditransfer dalam suatu volume medium dan dibutuhkan oleh metabolisme

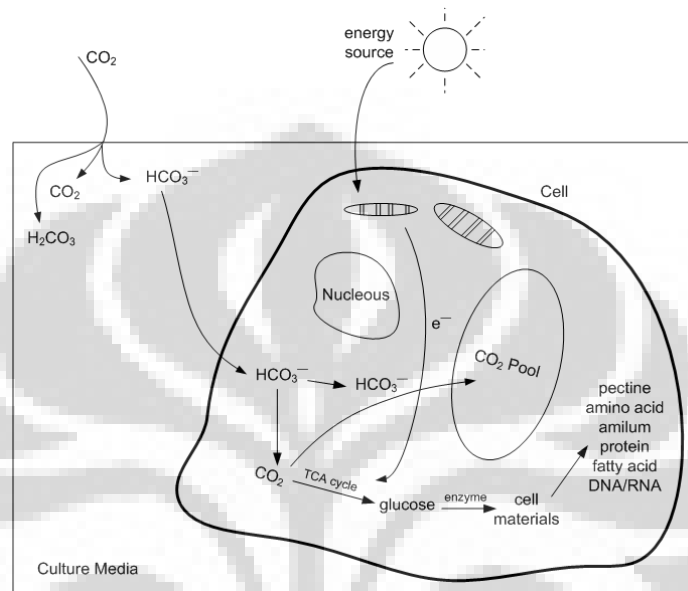
sel selama satu satuan waktu tertentu (Wijanarko, A, 2003). Kurva kecenderungan q_{CO_2} dan CTR terhadap waktu diperlihatkan pada gambar dibawah.



Gambar 4.7. Grafik Pengaruh kondisi iso UG dan iso KLa terhadap kemampuan fiksasi CO₂

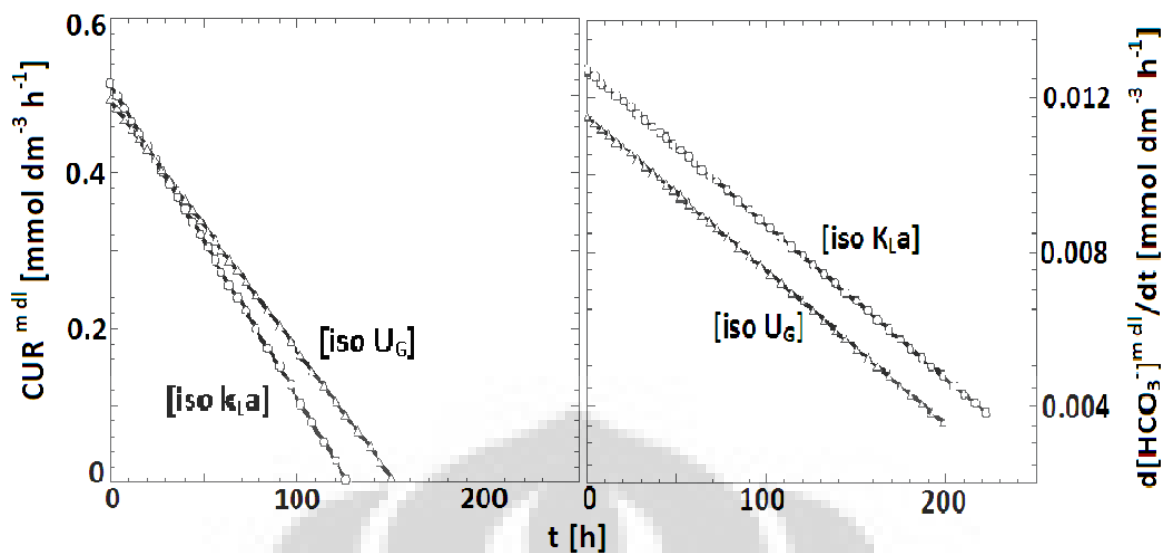
Dari gambar 4.7 terlihat bahwa kondisi perlakuan iso K_La juga mempengaruhi kemampuan fiksasi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa nilai rata-rata q_{CO_2} dan CTR yang digunakan untuk aktivitas biologi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada kondisi iso K_La lebih besar hampir 2 kali lipat dibandingkan dengan kondisi iso U_G.

Tingginya nilai CTR maupun q_{CO_2} pada kondisi iso U_G dan K_{LA} ini terjadi akibat mekanisme akumulasi CO_2 (CCM, *Carbondioxide Concentrating Mechanism*) intra sel mikro alga eukariotik seperti *Chlorella vulgaris* Buitenzorg terjadi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.6 dibawah.



Gambar 4.8. Mekanisme Akumulasi CO_2 intra sel (Kaplan et al, 1980)

Sel eukariotik memiliki vakuola yang dapat berfungsi juga sebagai organel pengakumulasi CO_2 intra sel (*CO₂ pool*) sehingga selama proses pertumbuhannya, CO_2 yang diabsorpsi sel relatif lebih besar dibandingkan pada mikro alga prokariotik. Hal ini terjadi karena CO_2 , selain dipergunakan untuk produksi biomassa dalam siklus TCA berikut reaksi enzimatis lainnya, juga diakumulasikan dalam vakuola sebagai cadangan intra sel yang dipergunakan kembali dalam produksi biomassa pada saat transfer CO_2 dari fase gas dalam gelembung udara pengaerasi ke kultur media terhenti (pH kultur media tetap) akibat terjadinya penjenuhan HCO_3^- dalam kultur media. (Wijanarko, A.2006)



Gambar 4.7. Grafik Pengaruh kondisi iso U_G dan iso K_{La} terhadap model CUR dan nilai model $d[HCO_3^-]/dt$

CUR (Carbon Uptake Rate) merupakan laju penggabungan CO_2 menjadi biomaterial, yang ditentukan berdasarkan laju pertumbuhan (Ohtaguchi, 1997) atau laju karbon dioksida yang digunakan untuk pertumbuhan dari mikroalga. Biomaterial kering untuk Formula sel dari *Chlorella vulgaris* ditentukan dengan *elemental analysis* yang telah dilakukan di laboratorium departemen Metalurgi UI dan LEMIGAS yang untuk mengetahui komponen penyusun dari *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dimana diperoleh:

Tabel 4.2. Hasil uji elemental analisis *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Komponen (% berat)				
C	H	N	O	P
22	6,05	5,2	9,45	2,36

sehingga dari analisis tersebut akan didapat rumus formula $CH_{3,3}N_{0,203}O_{0,322}P_{0,041}$ dari *Chlorella vulgaris* yang dimasukkan ke persamaan CUR yaitu :

$$CUR = \frac{44}{24.565} \cdot \frac{dX}{dt}$$

Sedangkan faktor dX/dt didapat dari turunan persamaan dari grafik hubungan perubahan X terhadap waktu. Dari gambar 4.7 terlihat bahwa nilai CUR untuk kondisi iso K_{La} lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi iso U_G , hal ini menunjukkan bahwa

laju akumulasi CO_2 yang digunakan untuk pertumbuhan pada kondisi iso K_{La} lebih tinggi. Hal ini juga sejalan dengan fakta bahwa aktivitas sel serta laju pertumbuhan pada kondisi iso K_{La} lebih tinggi dibandingkan dengan iso U_G . Sedangkan grafik $d\text{HCO}_3/\text{dt}$ menunjukkan laju akumulasi CO_2 dari kultur yang digunakan untuk pertumbuhan. Seiring berkurangnya laju pertumbuhan maka laju akumulasi dari $d\text{HCO}_3/\text{dt}$ juga akan menurun hal ini dapat ditunjukkan dari Gambar grafik $d\text{HCO}_3/\text{dt}$ namun penurunannya tidak terlalu signifikan. Perbedaan yang tinggi dari nilai CTR terhadap nilai CUR dan $d\text{HCO}_3/\text{dt}$ hal ini mungkin disebabkan karena adanya akumulasi CO_2 di dalam membran seluler dan adanya produk ekstraseluler yang dihasilkan ke media kultur.

4.3.4 Perhitungan E_x dan η_{bp}

Dari data I_o dan I_b yang diambil dalam penelitian maka dapat dihitung nilai I_i dan I_t pada kedua kondisi yaitu iso U_G dan iso K_{La} yang kedua kondisi ini menggunakan pencahayaan kontinu, dan kemudian digunakan untuk menghitung energi yang digunakan untuk produksi biomassa (E_x) dan efisiensi konversi energi cahaya untuk produksi biomassa (η_{bp}).

Dari perhitungan didapatkan nilai E_x dan η sebagai berikut :

Tabel 4.3. Energi cahaya yang digunakan selama kultivasi dan efisiensinya

Kondisi	E_x (kJ/kg)	η_{bp} (%)
Iso-UG	15342,282	2,68
Iso- k_{La}	5717,241	2,70

Perlakuan untuk kedua kondisi yaitu iso U_G dan iso K_{La} sama-sama menggunakan pencahayaan kontinu, serta menggambarkan efisiensi energi cahaya untuk produksi biomassa. Pada kondisi iso K_{La} lebih efisiensi yang didapat lebih besar dari pada iso U_G dan juga energi yang digunakan untuk produksi biomassa (E_x) lebih kecil hampir 3 kali lipat dibandingkan iso U_G . Hal ini menunjukkan bahwa dengan energi yang digunakan lebih kecil pada perlakuan iso K_{La} namun memberikan pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan iso U_G sehingga energi cahaya yang dimanfaatkan lebih efisien.

4.3.5 Uji Tambahan

Setelah dilakukan uji lebih mendalam mengenai sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg selain mempunyai kemampuan memfiksasi karbondioksida ternyata mempunyai manfaat sebagai makanan tambahan hal itu dibuktikan dengan terdapatnya kandungan klorofil dan β -karoten dalam sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Klorofil yang fungsinya dalam tanaman sebagai pembentuk bahan makanan, akan bermanfaat jika dikonsumsi untuk membuang racun (detoksifikasi), merangsang pembentukan hemoglobin, sebagai antioksidan, mempercepat penyembuhan luka, mengurangi aroma tubuh yang tidak sedap serta membantu memperbaiki pencernaan. Beta-karoten dikenal sebagai antioksidan, penangkal radikal bebas dan pencegah kanker, merangsang sistem kekebalan tubuh serta sumber vit A.



Gambar 4.8. Struktur molekul senyawa Beta Karotene
(chm.bris.ac.uk, 2009)

Hasil uji *pre-culture* dan *culture* dari *Chlorella vulgaris* Buitenzorg untuk klorofil dan β -karoten disajikan dalam tabel berikut ini.

Tabel 4.3. Tabel kandungan pigmen dalam biomassa *Chlorella vulgaris*
Buitenzorg

Jenis	Analisa	B karoten (ppm)	Klorofil (ppm)	Keterangan
<i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg	<i>Pre-culture</i>	11,44	36,97	Nilai rerata pigmen
	<i>Culture</i>	9,18	16,88	
		3,3-11,2	7,0-27,0	<i>Chlorella</i> secara umum*

*(www.gtamart.com)

Selain sebagai makanan tambahan sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pun berpotensi sebagai sumber alternatif yang dapat diperbaharui (biodiesel), Semua jenis

alga memiliki komposisi kimia sel yang terdiri dari protein, karbohidrat, lemak (*fatty acids*) dan *nucleic acids*. Presentase keempat komponen tersebut bervariasi tergantung jenis alga. Ada jenis alga yang memiliki komponen *fatty acids* lebih dari 40%. Dari komponen *fatty acids* inilah yang akan diekstraksi dan diubah menjadi biodiesel. Dapat dilihat pada Tabel 4.3, kandungan lemak pada beberapa jenis alga:

Tabel 4.4. Kandungan Lemak pada Beberapa Jenis Alga Ditunjukkan dalam Zat Kering (%)

Species	Kandungan Lemak (%)
<i>Scenedesmus obliquus</i>	12-14
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1,9
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	16-40
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	21
<i>Chlorella vulgaris</i>	14-22
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	2
<i>Spirogyra sp.</i>	11-21
<i>Dunaliella bioculata</i>	8
<i>Dunaliella salina</i>	6
<i>Euglena gracilis</i>	14-20
<i>Prymnesium parvum</i>	22-38
<i>Tetraselmis maculate</i>	3
<i>Porphyridium cruentum</i>	9-14
<i>Spirulina platensis</i>	4-9
<i>Spirulina maxima</i>	6-7
<i>Synechococcus sp.</i>	11
<i>Anabaena cylindrical</i>	4-7

Sumber : Becker, (1994)

Dari hasil pengujian dengan menggunakan metode Bligh & Dyer didapatkan kandungan lemak berada pada kisaran 14-22%, dengan kandungan lemak pada *culture* sebesar 16,33 % dan kandungan lemak pada *pre-culture* sebesar 18,57%. Dari hasil uji tersebut terlihat bahwa penelitian ini pada *culture* dan *pre-culture* tidak memberikan pengaruh secara signifikan pada kandungan lipid, klorofil dan β -karoten dari *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil dan pembahasan penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada parameter koefisien perpindahan massa (k_{La}) jumlah berat kering yang diperoleh lebih tinggi di dibandingkan pada parameter iso U_G , yaitu pada kecepatan superfisial atau nilai U_g 12,20 m/h.
2. Parameter hidrodinamika yang bisa dikembangkan untuk basis *scale up* koefisien perpindahan massa (k_{La}) atau iso U_G . Namun parameter yang paling mendekati untuk meningkatkan produksi biomassa *Chlorella* melalui *scale up* di volume 40L adalah koefisien perpindahan massa (k_{La}).

Sebagai saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Proses pencampuran dalam reaktor harus lebih ditingkatkan dengan menggunakan metode-metode yang lain misalnya variasi bentuk dan letak sparger. Hal ini perlu dilakukan agar kondisi perpindahan massa lebih merata sehingga walaupun ingin melakukan *scale up*, hasilnya akan lebih sesuai target.
2. Beberapa parameter hidrodinamika lain seperti, ukuran gelembung, kecepatan cairan dalam reaktor bisa diteliti lebih lanjut sebagai basis *scale up*

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, Z.H.N.M dan Razali, F (2005). Scale-up Stirred and Aerated Bioengineering Bioreactor Based on Constant Mass Transfer Coefficient. *Jurnal Teknologi*, 43(F), 95-110
- Andika, Sang Made Kresna. (2004). *Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella vulgaris Buitenzorg dengan Alterasi Pencahayaan dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung*. Skripsi . Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok
- Anonim. *Composition of Chlorella*.
<http://www.chlorella-africa.com>
- Anonim (2009). *Cara menghilangkan / menurunkan zat besi (Fe) dalam air*,
http://www.airminumisiulang.com/news/47/cara_menghilangkan_menurunkan_zat_besi_fe_dalam_air
- Apriyati N, Farida, (2006). *Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella vulgaris Buitenzorg dengan Pencahayaan Alami dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung*. Skripsi . Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok
- Babcock Jr, W.R., Malda, J., Radway. C.j. (2002). *Hydrodynamics and Mass Transfer In a Tubular Airlift Photobioreactor*. *Journal of Applied Phycology*, 14, 169-184
- Benny Syahputra, (2008). *Pemanfaatan Algae Chlorella Pyrenoidosa Untuk Menurunkan Tembaga (Cu) Pada Pelapisan Logam*.
- Doran, Pauline ,M. (1995), *Bioprocess Engineering Principles*. Academic press limited
- Falkner G. and F. Wagner (1995), *Influence of fluctuating phosphate supply on the regulation of phosphate uptake by the blue green alga Anacystis nidulans*, *Journal Phycology*, 31, 745-753
- Miron, S.A., Camacho, G.F., Gomez, C.A., Grima, M.E., Chisti, Y (2000). *Bubble-Column and Airlift Photobioreactors for Algal Culture*. *AICHE journal*, 46,9
- Moshtari, B., Babakhani, G.E., Moghaddas, S.J. (2009). *Experimental Study of Gas Hold-up and Bubble Behavior In Gas-Liquid Bubble Column*. *Petroleum & Coal*, 51(1), 27-32

- Muryanto, (2006). *Peningkatan Biomassa Chlorella vulgaris Buitenzorg dengan Pencahayaan Periodik dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung Susun Seri*. Skripsi . Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok
- Paul, M. (2005), *Chlorophyll*.
http://www.biology.arizona.edu/the_biology_project/the_biology_project.html
- Rahayu, Eka Spty. (2006). *Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella vulgaris Buitenzorg dengan Pencahayaan Alami dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung Susun Seri*. Skripsi . Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok
- Sujarwo, Muhammad Aji. (2006). *Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella vulgaris Buitenzorg dengan dengan Pencahayaan Kontinyu dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung Susun Seri*. Skripsi . Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok
- Syahri, Indah Permata. (2008). *Evaluasi Kinerja Fotobioreaktor Kolom Gelembung Skala Menengah untuk Produksi Biomassa Chlorella sp. Melalui Pengaturan Kerapatan Fluks Cahaya*. Skripsi . Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok
- Valentino, (2006). *Produksi Biomassa Chlorella vulgaris Buitenzorg melalui Pencahayaan Siklus Harian dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung*. Skripsi . Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok
- Wirosaputro,S, (2002), *Chlorella, Untuk Kesehatan Global, teknik Budidaya dan Pengolahan*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Yudi S, Antonius. (2006). *Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella vulgaris Buitenzorg dengan Alterasi Pencahayaan dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung Susun Seri*. Skripsi . Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok
- Whitmarsh, J., dan Govindjee (2004). *The Photosyntetic Process*.
<http://www.life.ui.ac.edu/govindjee/paper/gov.html>
- Wijanarko, A (2006), *Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella vulgaris Buitenzorg dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung Seri dengan Pengaturan Pencahayaan* , Disertasi. Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok
- Wikipedia (n.d). *Chlorella* (2009)

LAMPIRAN 1 Eksperimental Data

1.1. Penentuan Koefisien Perpindahan Massa ($k_L a$)

Cara mengukur koefisien perpindahan massa ($k_L a$) dengan menggunakan *dynamic method* (Doran, 1995) adalah sebagai berikut :

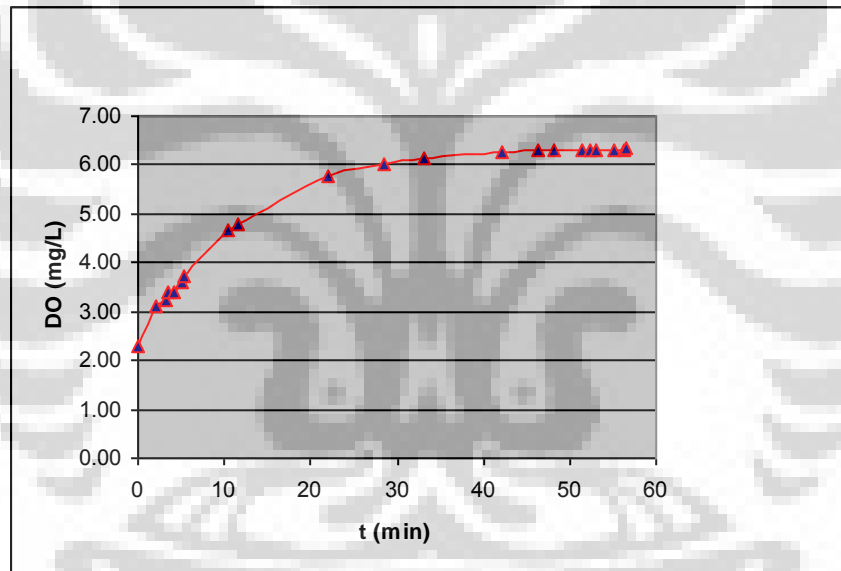
1. Menempatkan *probe DO-meter* ke dalam air dalam reaktor pada ketinggian tertentu
2. Mengalirkan udara dari *air flow* pada kecepatan superfisial (U_G) tertentu.
3. Mencatat pembacaan konsentrasi O_2 yang stabil di DO meter pada saat pertama kali setelah aerasi. Konsentrasi tersebut adalah C_{AL1}
4. Mencatat konsentrasi O_2 yang stabil di DO meter pada saat berikutnya sebagai C_{AL2} .
5. Melakukan pengukuran konsentrasi O_2 dari waktu ke waktu hingga pembacaan DO meter mulai cenderung konstan/stabil. Rata-rata dari pembacaan di DO meter yang mulai steady disebut C_{AL} .
6. Memplotkan grafik $\ln \left(\frac{C_{AL} - C_{AL1}}{C_{AL} - C_{AL2}} \right) V_S (t_2 - t_1)$
7. Slope dari grafik tersebut adalah $k_L a$

1.1.1. Pengukuran Kandungan Oksigen dan Penentuan $k_L a$ di volume 18 L

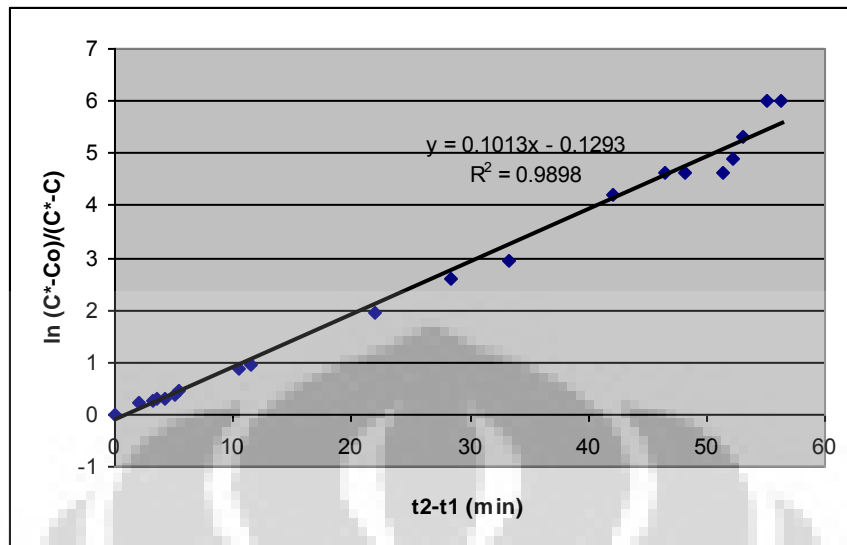
1. Laju alir udara skala 1 l/min

t(min)	DO	t2-t1	$\ln (C^*-C_0)/(C^*-C)$
0	2.31	0	0
2.11	3.1	2.11	0.218799765
3.24	3.22	3.24	0.256659176
3.54	3.39	3.54	0.312872321
4.20	3.4	4.20	0.31627948
5.00	3.59	5.00	0.383323982
5.36	3.74	5.36	0.439624027
10.52	4.66	10.52	0.878458276
11.53	4.78	11.53	0.953026972
22.02	5.76	22.02	1.953400821
28.41	6.03	28.41	2.595254707
33.23	6.12	33.23	2.951929651

42.15	6.27	42.15	4.204692619
46.41	6.29	46.41	4.610157727
48.10	6.29	48.10	4.610157727
51.32	6.29	51.32	4.610157727
52.25	6.3	52.25	4.8978398
53.03	6.31	53.03	5.303304908
55.11	6.32	55.11	5.996452089
56.30	6.32	56.30	5.996452089
56.55	6.33	56.55	



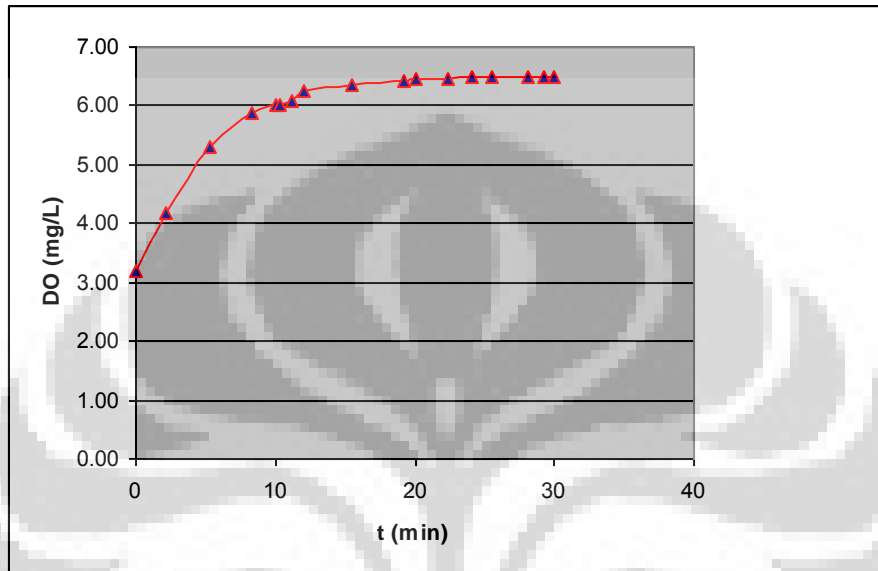
Gambar 1. t Vs DO dengan kecepatan alir udara 1L/min



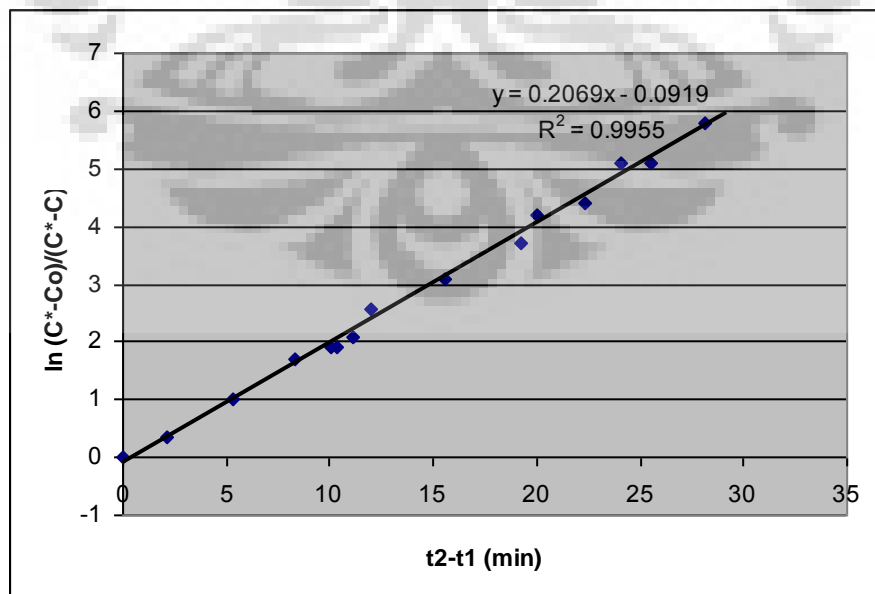
Gambar 2. Koefisien Mass Transfer dengan kecepatan alir udara 1L/min

2. Laju alir udara skala 4 l/min

t(min)	DO	t2-t1	$\ln(C^*-C_o)/(C^*-C)$
0	3.21	0	0
2.10	4.19	2.10	0.35364004
5.31	5.30	5.31	1.008566008
8.31	5.89	8.31	1.685183887
10.09	6.01	10.09	1.904237453
10.36	6.02	10.36	1.92485674
11.12	6.09	11.12	2.082485684
12.02	6.25	12.02	2.577181926
15.54	6.35	15.54	3.08800755
19.25	6.42	19.25	3.716616209
20.01	6.45	20.01	4.186619838
22.31	6.46	22.31	4.40976339
24.12	6.48	24.12	5.10291057
25.55	6.48	25.55	5.10291057
28.11	6.49	28.11	5.796057751
29.22	6.50	29.22	
30.01	6.50	30.01	



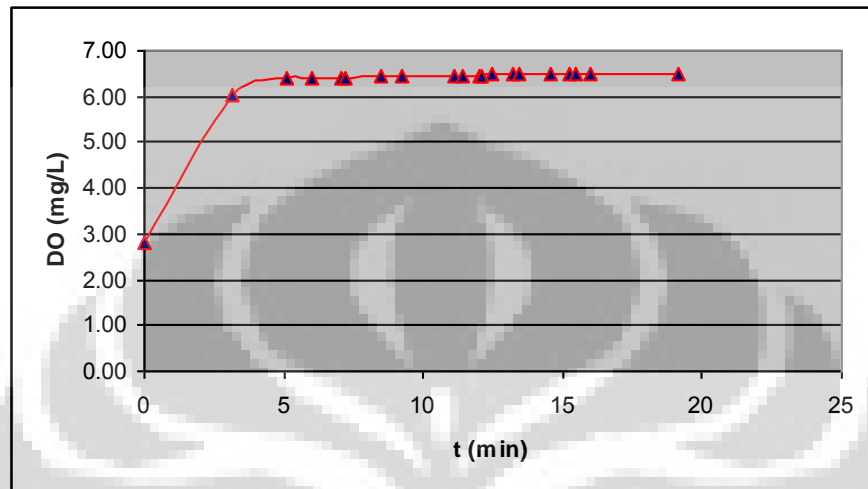
Gambar 3. t Vs DO dengan kecepatan alir udara 4L/min



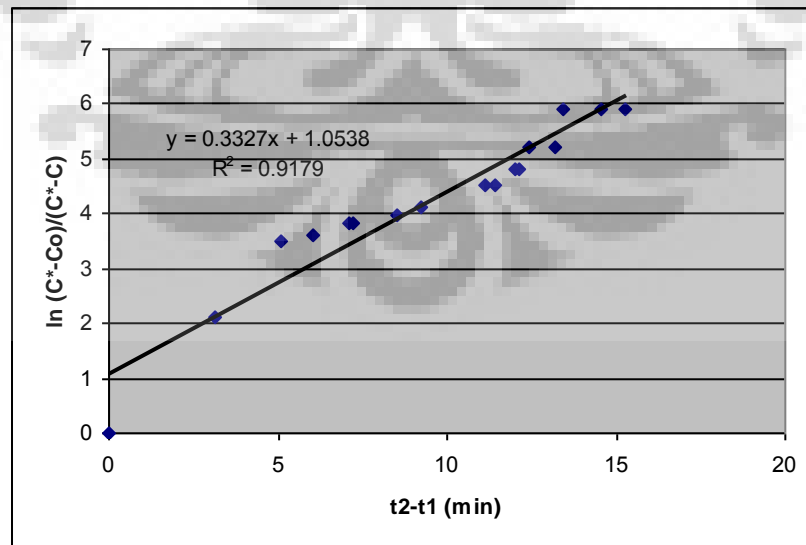
Gambar 4. Koefisien mass transfer dengan kecepatan alir udara 4L/min

3. Laju alir udara skala 10 l/min

t(min)	DO	t2-t1	$\ln (C^*-C_0)/(C^*-C)$
0	2.82	0	0
3.15	6.05	3.15	2.101420448
5.11	6.39	5.11	3.510187665
6.01	6.40	6.01	3.605497845
7.09	6.42	7.09	3.828641396
7.19	6.42	7.19	3.828641396
8.51	6.43	8.51	3.962172789
9.26	6.44	9.26	4.116323469
11.12	6.46	11.12	4.521788577
11.44	6.46	11.44	4.521788577
12.01	6.47	12.01	4.80947065
12.11	6.47	12.11	4.80947065
12.45	6.48	12.45	5.214935758
13.21	6.48	13.21	5.214935758
13.41	6.49	13.41	5.908082938
14.54	6.49	14.54	5.908082938
15.25	6.49	15.25	5.908082938
15.50	6.50	15.50	
16.02	6.50	16.02	
19.11	6.50	19.11	



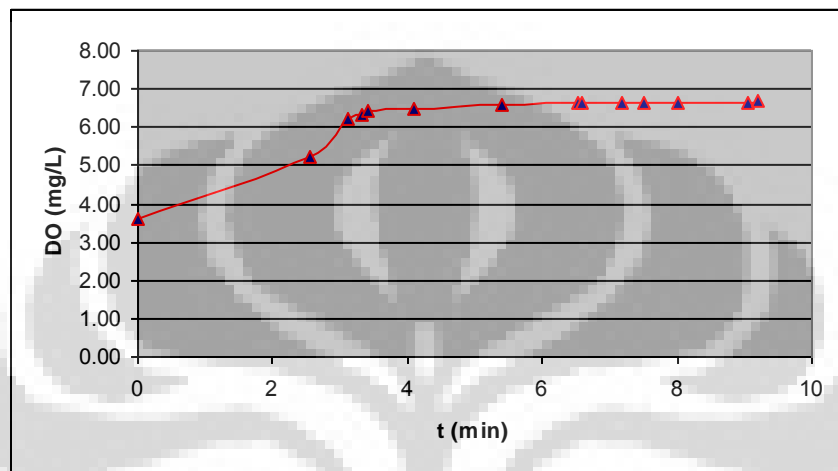
Gambar 5. t Vs DO dengan kecepatan alir udara 10 L/min



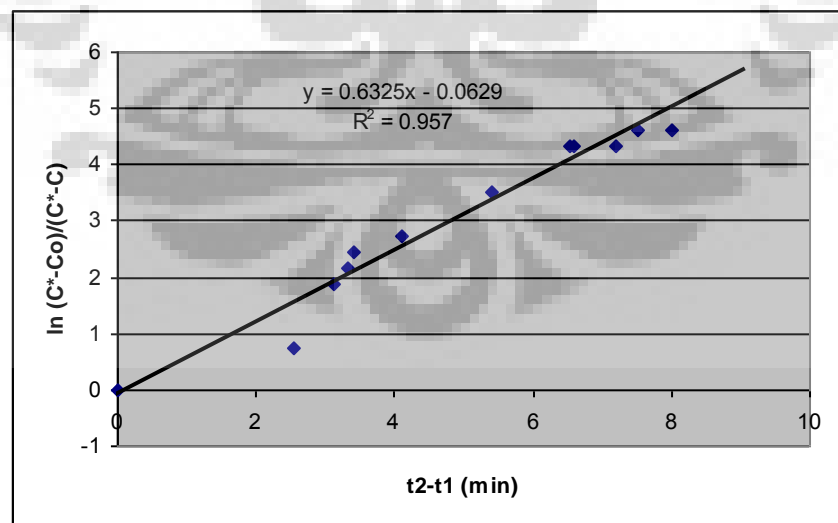
Gambar 6. Koefisien mass transfer dengan kecepatan alir udara 10 L/min

4. Laju alir udara skala 14 l/min

t(min)	DO	t2-t1	$\ln (C^*-C_0)/(C^*-C)$
0	3.62	0	0
2.54	5.21	2.54	0.736705155
3.12	6.20	3.12	1.870164175
3.32	6.32	3.32	2.164963715
3.40	6.41	3.40	2.462215239
4.10	6.47	4.10	2.724579503
5.40	6.58	5.40	3.523087199
6.52	6.63	6.52	4.334017415
6.59	6.63	6.59	4.334017415
7.19	6.63	7.19	4.334017415
7.50	6.64	7.50	4.621699488
8.00	6.64	8.00	4.621699488
9.06	6.65	9.06	
9.21	6.67	9.21	



Gambar 7. t Vs DO dengan kecepatan alir udara 14 L/min



Gambar 8. Koefisien mass transfer dengan kecepatan alir udara 14 L/min

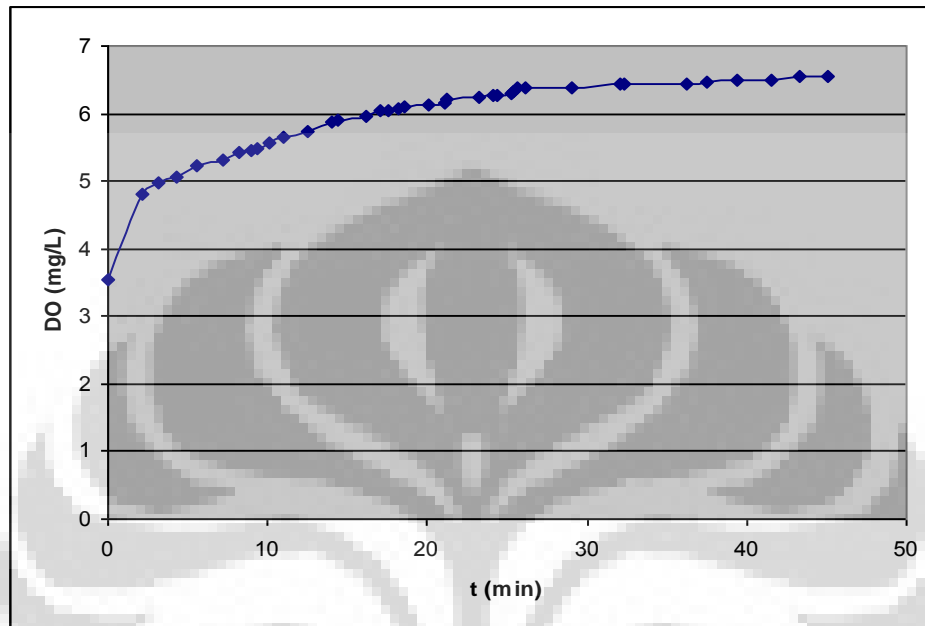


1.1.2. Pengukuran Kandungan Oksigen dan Penentuan $k_L a$ di volume 40 L

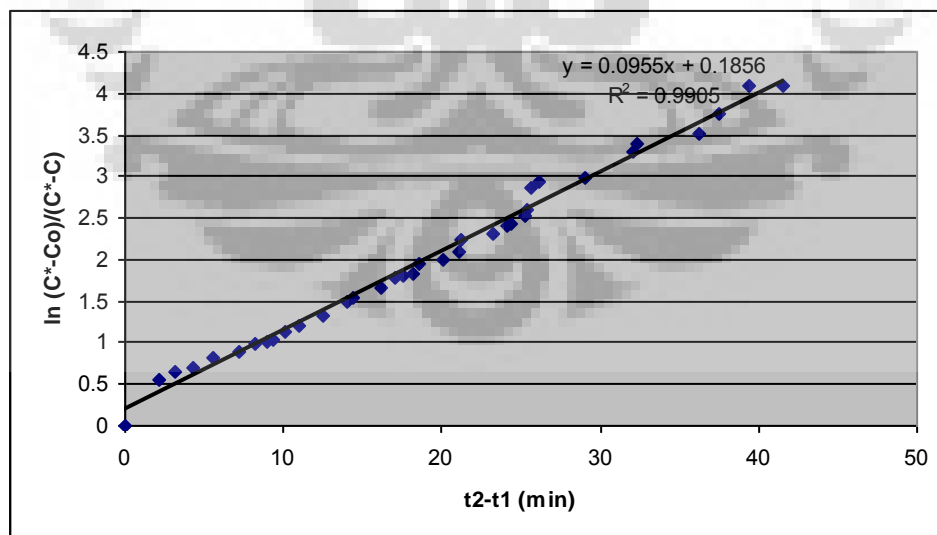
1. Laju alir udara 4 L/min

t(min)	DO	t2-t1	$\ln (C^*-C_0)/(C^*-C)$
0	3.55	0	0
2.09	4.82	2.09	0.552949097
3.17	4.97	3.17	0.644197768
4.25	5.05	4.25	0.696497267
5.56	5.23	5.56	0.82524625
7.15	5.31	7.15	0.888259218
8.24	5.42	8.24	0.981944702
9	5.46	9	1.018312346
9.4	5.47	9.4	1.027614739
10.06	5.58	10.06	1.136095382
11.04	5.65	11.04	1.211807204
12.47	5.74	12.47	1.318416939
14.06	5.87	14.06	1.495750954
14.34	5.9	14.34	1.54156049
16.14	5.97	16.14	1.657392306
17.05	6.04	17.05	1.788420568
17.59	6.05	17.59	1.808623275
18.22	6.06	18.22	1.829242562
18.51	6.11	18.51	1.939243458
20.05	6.13	20.05	1.986871507
21.05	6.17	21.05	2.089525661
21.25	6.22	21.25	2.234707671
23.29	6.24	23.29	2.299246192
24.14	6.27	24.14	2.404606707
24.34	6.28	24.34	2.442347035
25.21	6.3	25.21	2.522389743
25.38	6.32	25.38	2.60940112
25.58	6.37	25.58	2.867230229
26.14	6.38	26.14	2.927854851
29.02	6.39	29.02	2.992393372
32.03	6.43	32.03	3.302548301
32.37	6.44	32.37	3.39785848
36.27	6.45	36.27	3.503218996
37.49	6.47	37.49	3.754533424
39.41	6.49	39.41	4.091005661

41.51	6.49	41.51	4.091005661
43.32	6.54	43.32	
45.08	6.54	45.08	



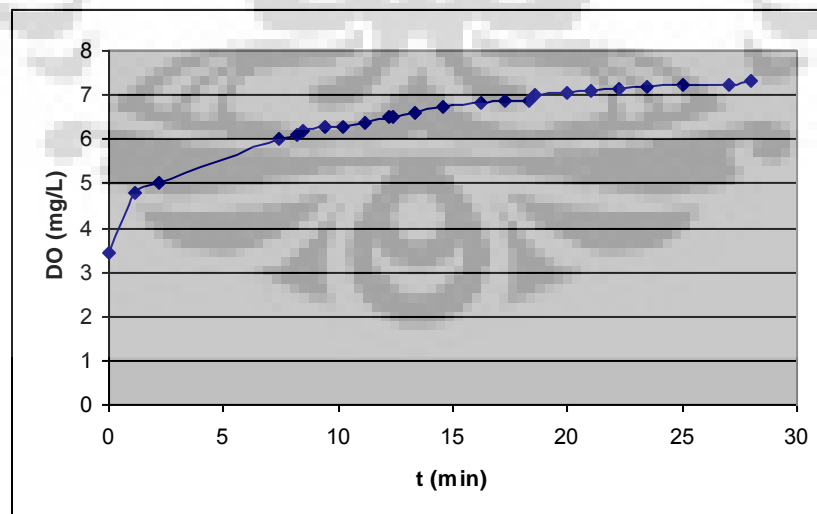
Gambar 9. t Vs DO dengan kecepatan alir udara 4L/min



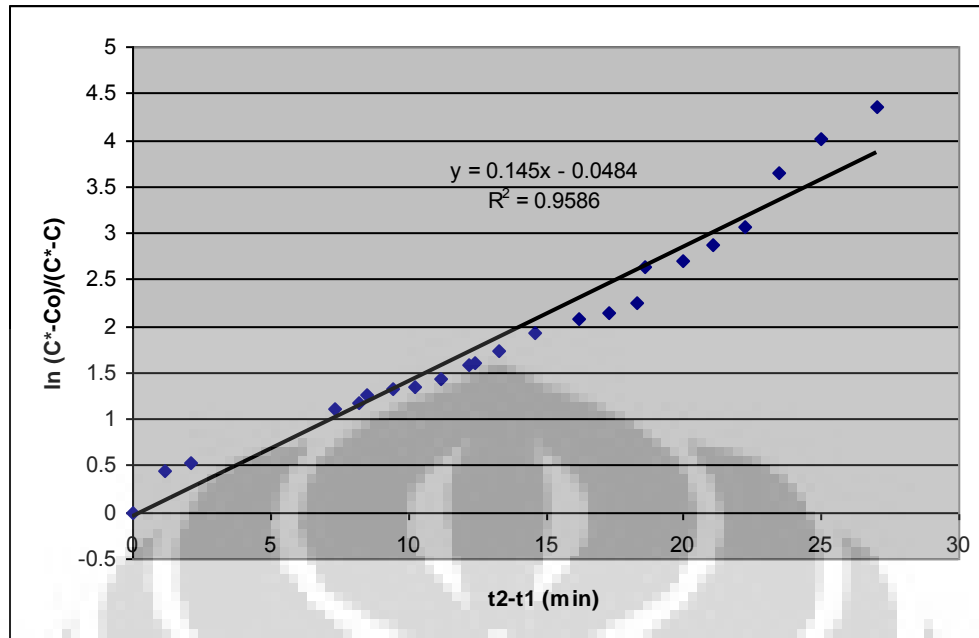
Gambar 10. Koefisien mass transfer dengan kecepatan alir udara 4L/min

2. Laju alir udara 6 L/min

t(min)	DO	t2-t1	$\ln (C^*-C_0)/(C^*-C)$
0	3.43	0	0
1.15	4.81	1.15	0.440971797
2.14	5.03	2.14	0.533474676
7.37	6.02	7.37	1.106394429
8.24	6.1	8.24	1.17093295
8.48	6.2	8.48	1.257944327
9.41	6.27	9.41	1.323695705
10.21	6.3	10.21	1.353254507
11.18	6.38	11.18	1.436636116
12.17	6.5	12.17	1.576398058
12.42	6.53	12.42	1.614619271
13.3	6.62	13.3	1.738916988
14.59	6.74	14.59	1.933073002
16.21	6.82	16.21	2.087223682
17.3	6.85	17.3	2.151762203
18.33	6.89	18.33	2.244852626
18.59	7.02	18.59	2.626220183
20.01	7.04	20.01	2.700328155
21.03	7.08	21.03	2.86738224
22.23	7.12	22.23	3.068052935
23.45	7.2	23.45	3.6558396
25	7.23	25	4.012514544
27.04	7.25	27.04	4.348986781
28	7.3	28	



Gambar 11. t Vs DO dengan kecepatan alir udara 6L/min

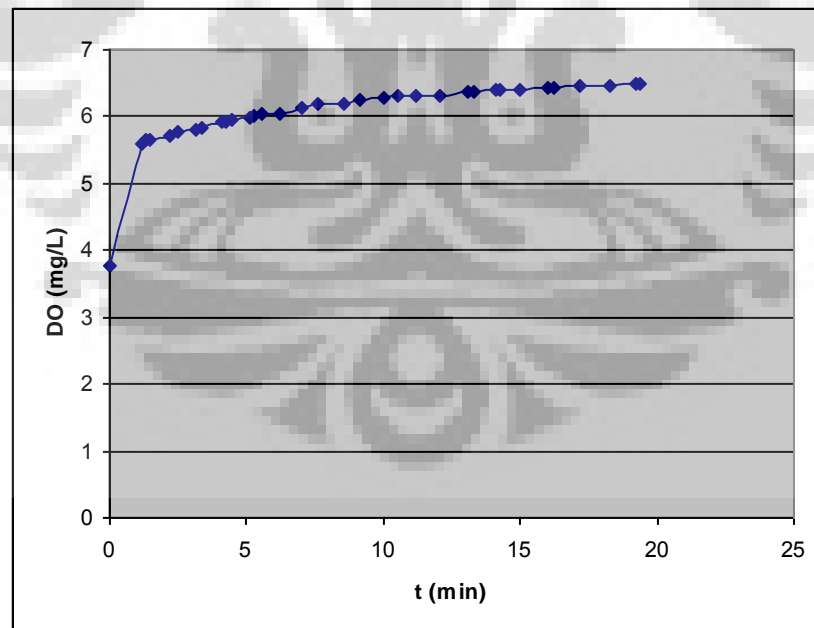


Gambar 12. Koefisien mass transfer dengan kecepatan alir udara 6L/min

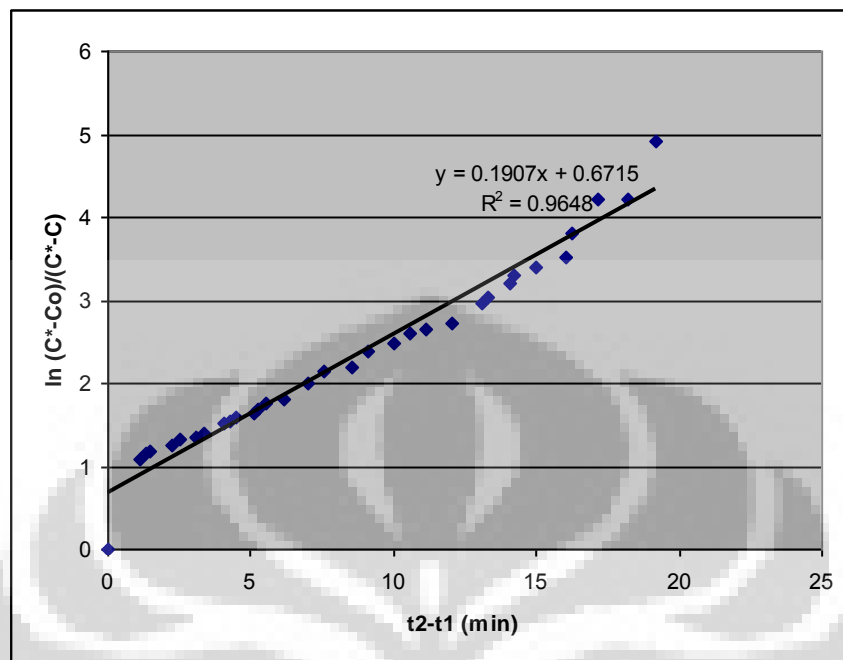
3. Laju alir udara 8 L/min

t(min)	DO	t2-t1	$\ln(C^*-C_o)/(C^*-C)$
0	3.66	0	0
1.04	5.13	1.04	0.804372816
1.21	5.22	1.21	0.883015943
2	5.32	2	0.978326123
2.25	5.43	2.25	1.094859939
3.59	5.59	3.59	1.293036868
4.33	5.66	4.33	1.393841567
5	5.7	5	1.456361924
5.22	5.72	5.22	1.489151747
5.54	5.76	5.54	1.558144618
6.14	5.78	6.14	1.594512262
6.38	5.83	6.38	1.691676011
7.12	5.87	7.12	1.776833819
7.29	5.9	7.29	1.84582669
7.59	5.91	7.59	1.869924242
8.2	5.95	8.2	1.972578396
9.09	6.01	9.09	2.149509104
9.46	6.02	9.46	2.182298927

10.38	6.07	10.38	2.364620484
11.02	6.08	11.02	2.405442478
11.28	6.09	11.28	2.448002093
11.48	6.12	11.48	2.587764035
12.32	6.15	12.32	2.750282965
12.45	6.17	12.45	2.875446108
13.03	6.2	13.03	3.098589659
13.3	6.21	13.3	3.185601036
13.53	6.22	13.53	3.280911216
14.08	6.23	14.08	3.386271731
15.13	6.25	15.13	3.63758616
15.32	6.27	15.32	3.974058396
16.14	6.27	16.14	3.974058396
16.5	6.29	16.5	4.48488402
17.33	6.31	17.33	5.583496309
18.07	6.32	18.07	
18.3	6.32	18.3	
19.17	6.32	19.17	
19.39	6.32	19.39	



Gambar 13. t Vs DO dengan kecepatan alir udara 8L/min

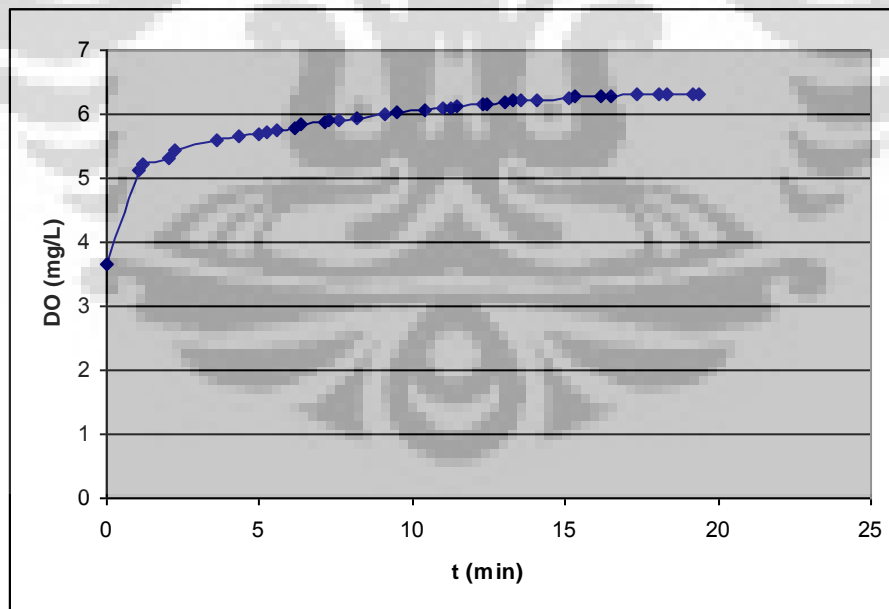


Gambar 14. Koefisien mass transfer dengan kecepatan alir udara 8L/min

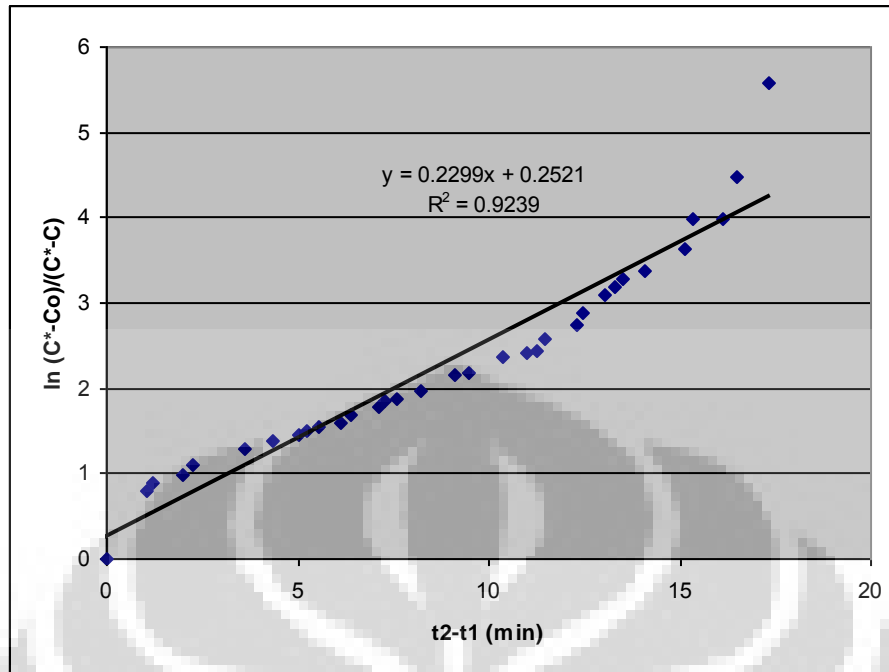
4. Laju alir udara 10 L/min

t(min)	DO	t2-t1	ln (C*-Co)/(C*-C)
0	3.66	0	0
1.04	5.13	1.04	0.804372816
1.21	5.22	1.21	0.883015943
2	5.32	2	0.978326123
2.25	5.43	2.25	1.094859939
3.59	5.59	3.59	1.293036868
4.33	5.66	4.33	1.393841567
5	5.7	5	1.456361924
5.22	5.72	5.22	1.489151747
5.54	5.76	5.54	1.558144618
6.14	5.78	6.14	1.594512262
6.38	5.83	6.38	1.691676011
7.12	5.87	7.12	1.776833819
7.29	5.9	7.29	1.84582669
7.59	5.91	7.59	1.869924242
8.2	5.95	8.2	1.972578396
9.09	6.01	9.09	2.149509104

9.46	6.02	9.46	2.182298927
10.38	6.07	10.38	2.364620484
11.02	6.08	11.02	2.405442478
11.28	6.09	11.28	2.448002093
11.48	6.12	11.48	2.587764035
12.32	6.15	12.32	2.750282965
12.45	6.17	12.45	2.875446108
13.03	6.2	13.03	3.098589659
13.3	6.21	13.3	3.185601036
13.53	6.22	13.53	3.280911216
14.08	6.23	14.08	3.386271731
15.13	6.25	15.13	3.63758616
15.32	6.27	15.32	3.974058396
16.14	6.27	16.14	3.974058396
16.5	6.29	16.5	4.48488402
17.33	6.31	17.33	5.583496309
18.07	6.32	18.07	
18.3	6.32	18.3	
19.17	6.32	19.17	
19.39	6.32	19.39	



Gambar 15. t Vs DO dengan kecepatan alir udara 10 L/min

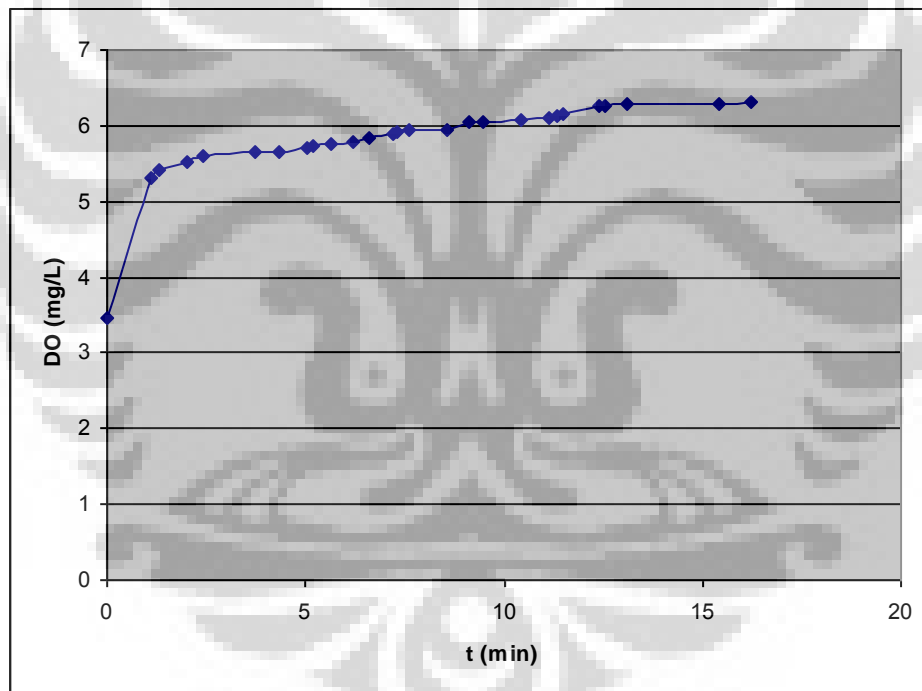


Gambar 16. Koefisien mass transfer dengan kecepatan alir udara 10 L/min

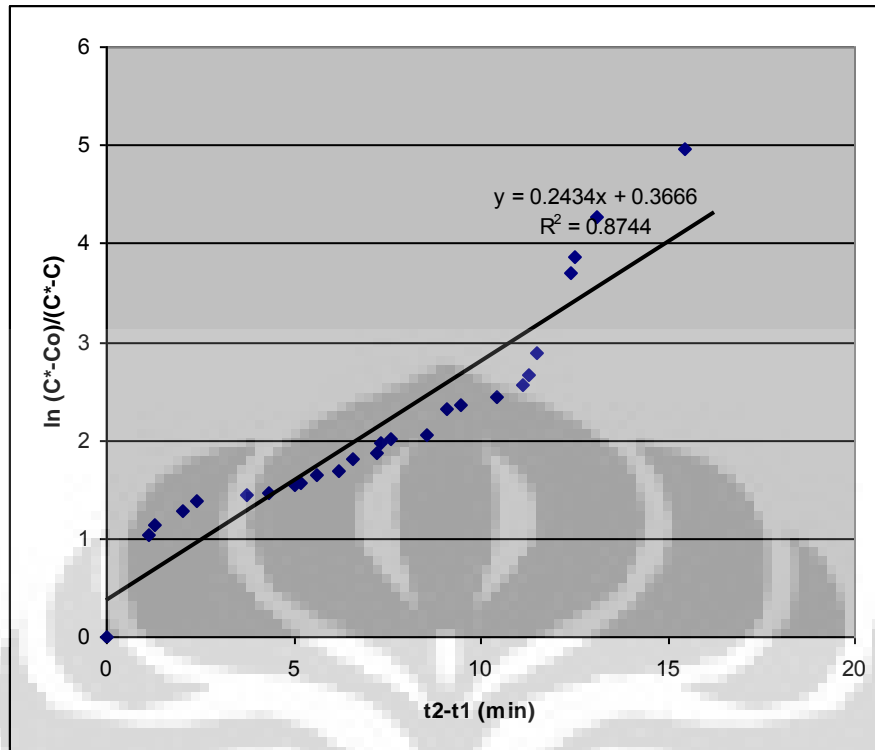
5. Laju alir udara 12 L/min

t(min)	DO	t2-t1	$\ln(C^*-C_o)/(C^*-C)$
0	3.46	0	0
1.1	5.3	1.1	1.031018998
1.3	5.41	1.3	1.145132304
2.01	5.52	2.01	1.273965176
2.4	5.6	2.4	1.379325692
3.72	5.64	3.72	1.436484106
4.33	5.66	4.33	1.466337069
5.04	5.71	5.04	1.545117947
5.21	5.72	5.21	1.561647249
5.62	5.77	5.62	1.648658626
6.21	5.79	6.21	1.685699897
6.58	5.85	6.58	1.805844209
7.2	5.88	7.2	1.871802177
7.3	5.92	7.3	1.967112357
7.61	5.94	7.61	2.018405651
8.56	5.95	8.56	2.045073898
9.1	6.04	9.1	2.323787301

9.46	6.05	9.46	2.360154945
10.45	6.07	10.45	2.437115986
11.12	6.1	11.12	2.564949357
11.31	6.12	11.31	2.660259537
11.48	6.16	11.48	2.883403089
12.4	6.25	12.4	3.710081662
12.52	6.26	12.52	3.864232342
13.12	6.28	13.12	4.26969745
15.44	6.3	15.44	4.96284463
16.23	6.32	16.23	



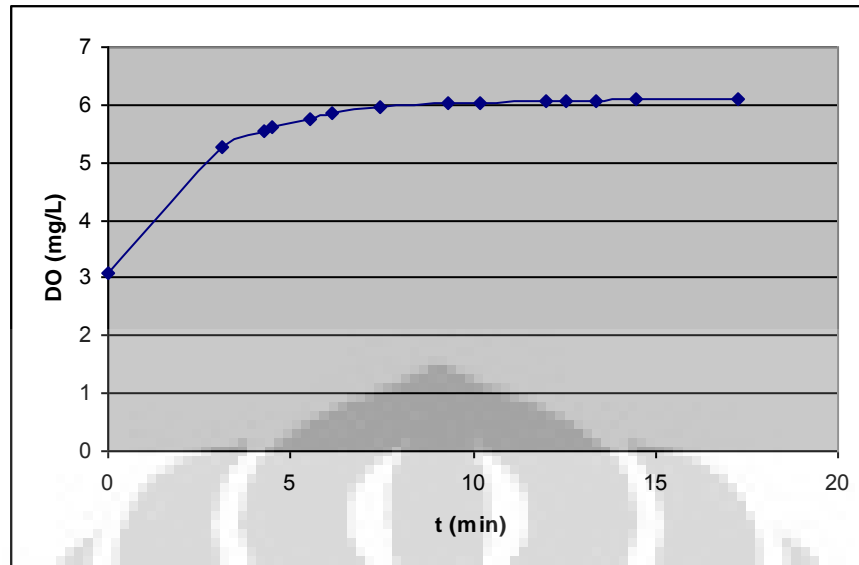
Gambar 17. Koefisien mass transfer dengan kecepatan alir udara 12 L/min



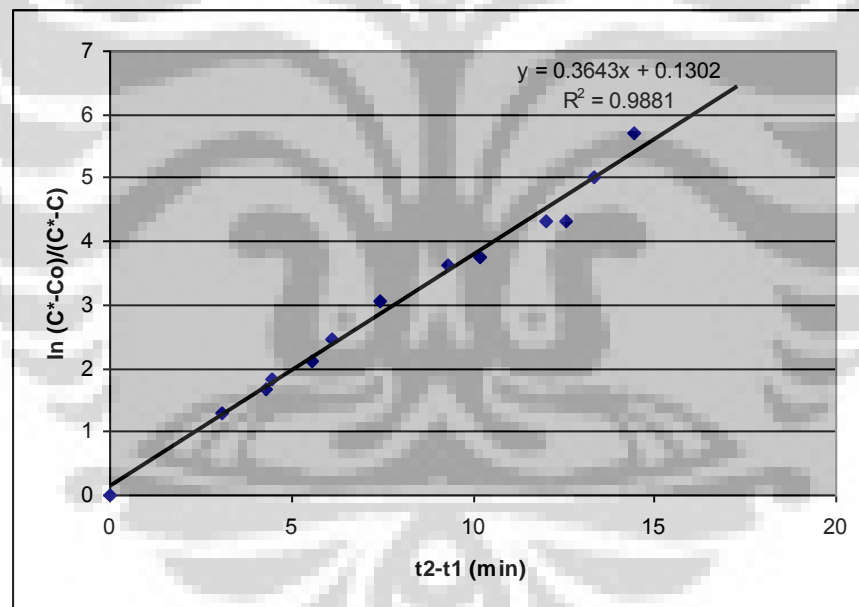
Gambar 18. Koefisien mass transfer dengan kecepatan alir udara 12 L/min

5. Laju alir udara 18 L/min

t(min)	DO	t2-t1	ln (C*-Co)/(C*-C)
0	3.1	0	0
3.1	5.27	3.1	1.284941867
4.28	5.54	4.28	1.678430784
4.48	5.62	4.48	1.832581464
5.54	5.74	5.54	2.120263536
6.12	5.84	6.12	2.445685937
7.46	5.96	7.46	3.064725145
9.29	6.02	9.29	3.624340933
10.2	6.03	10.2	3.757872326
12.02	6.06	12.02	4.317488114
12.56	6.06	12.56	4.317488114
13.35	6.08	13.35	5.010635294
14.45	6.09	14.45	5.703782475
17.28	6.1	17.28	



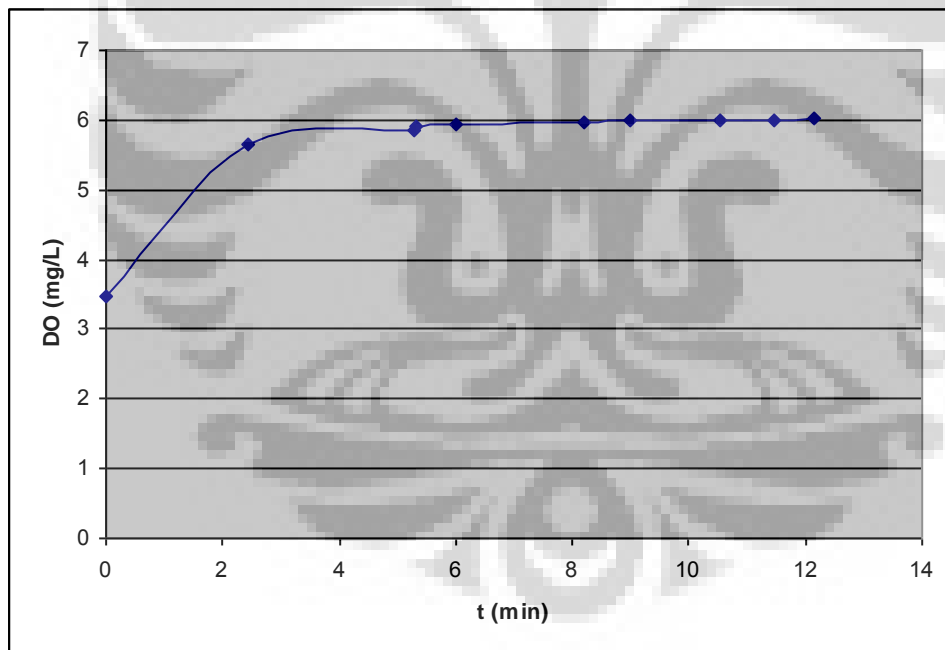
Gambar 19. t Vs DO dengan kecepatan alir udara 18 L/min

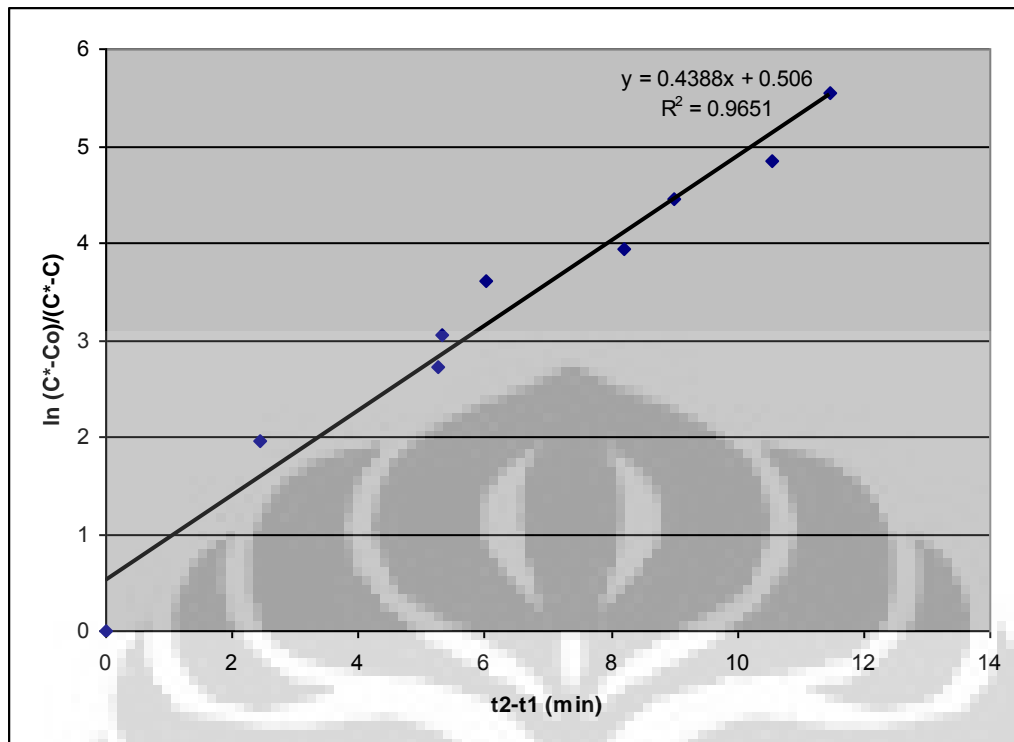


Gambar 20. Koefisien mass transfer dengan kecepatan alir udara 18 L/min

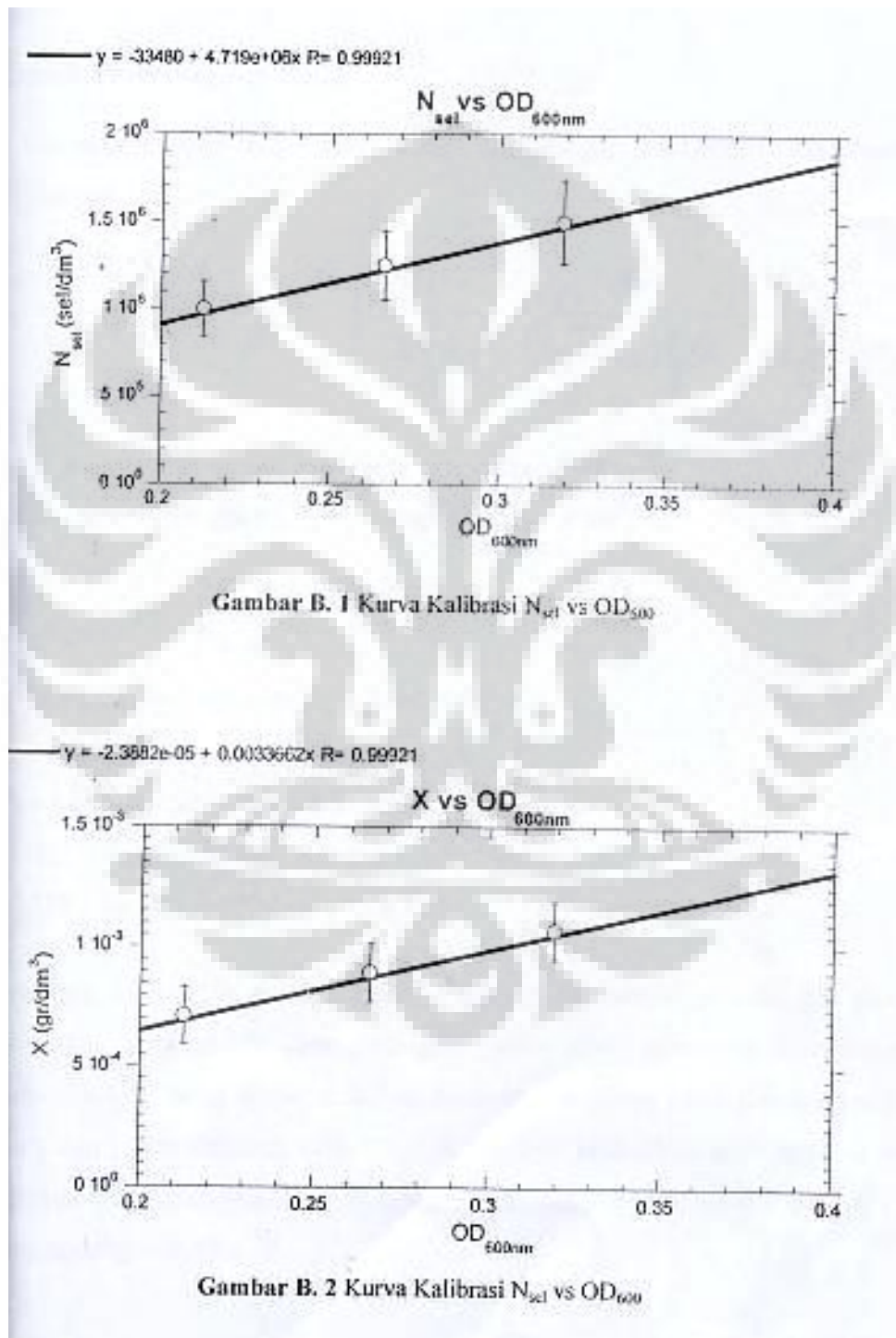
6. Laju alir udara 24 L/min

t(min)	DO	t2-t1	$\ln (C^*-C_0)/(C^*-C)$
0	3.46	0	0
2.45	5.66	2.45	1.961658506
5.27	5.85	5.27	2.7119641
5.31	5.9	5.31	3.060270795
6.01	5.95	6.01	3.599267295
8.21	5.97	8.21	3.935739532
9	5.99	9	4.446565156
10.54	6	10.54	4.852030264
11.46	6.01	11.46	5.545177444
12.14	6.02	12.14	





1.1.3 KURVA KALIBRASI





1.1.4. Hasil Pengambilan Data

1.1.4.1 Iso $K_L a$

t	x (gram/dm ³)	μN (h ⁻¹)	(mM) [HCO ₃ ⁻]	y CO ₂ in	y CO ₂ out	Δy CO ₂	CTR (g/dm ³ .h)	q CO ₂ (h ⁻¹)	dx/dt	CUR	dhco ₃ /dt
0	0.710	0.000	2.484	5.78	4.96	0.82	42.660	60.088	0.0127	0.022733	0.0127
4	0.748	0.013	2.542	5.85	4.92	0.93	48.382	64.673	0.0123	0.022017	0.01254
8	0.750	0.007	2.661	5.51	4.94	0.57	29.654	39.520	0.0119	0.021301	0.01238
12	0.864	0.016	2.601	5.8	4.86	0.94	48.902	56.622	0.0115	0.020585	0.01222
16	0.979	0.020	2.723	5.65	4.99	0.66	34.336	35.063	0.0111	0.019869	0.01206
20	1.392	0.034	2.661	5.41	4.66	0.75	39.018	28.027	0.0107	0.019153	0.0119
24	1.392	0.028	2.852	5.08	4.04	1.04	54.105	38.864	0.0103	0.018437	0.01174
28	1.428	0.025	2.787	5.17	4.89	0.28	14.567	10.200	0.0099	0.017721	0.01158
32	1.482	0.023	2.918	5.41	4.41	1	52.024	35.105	0.0095	0.017005	0.01142
36	1.594	0.022	2.852	5.64	4.91	0.73	37.977	23.823	0.0091	0.016289	0.01126
40	1.590	0.020	3.056	5.77	4.43	1.34	69.712	43.854	0.0087	0.015573	0.0111
44	1.711	0.020	3.127	5.52	4.94	0.58	30.174	17.637	0.0083	0.014857	0.01094
48	1.682	0.018	2.852	5.61	4.72	0.89	46.301	27.533	0.0079	0.014141	0.01078
52	1.697	0.017	2.918	5.81	4.98	0.83	43.180	25.439	0.0075	0.013425	0.01062
56	1.722	0.016	3.056	5.78	4.46	1.32	68.672	39.878	0.0071	0.012709	0.01046
60	1.801	0.016	3.127	5.55	4.42	1.13	58.787	32.649	0.0067	0.011993	0.0103
64	1.797	0.015	3.274	5.56	4.5	1.06	55.145	30.691	0.0063	0.011277	0.01014
68	1.929	0.015	3.127	5.32	4.64	0.68	35.376	18.344	0.0059	0.010561	0.00998
72	1.924	0.014	3.350	5.43	4.5	0.93	48.382	25.146	0.0055	0.009845	0.00982
78	1.922	0.013	3.350	5.51	4.76	0.75	39.018	20.303	0.0049	0.008771	0.00958
84	1.870	0.012	3.674	5.48	3.33	2.15	111.851	59.808	0.0043	0.007697	0.00934
90	1.913	0.011	3.508	5.36	3.04	2.32	120.695	63.099	0.0037	0.006623	0.0091
96	1.946	0.011	3.428	5.46	3.93	1.53	79.597	40.893	0.0031	0.005549	0.00886
102	2.127	0.011	3.847	5.44	3.63	1.81	94.163	44.268	0.0025	0.004475	0.00862
108	2.157	0.010	3.590	5.77	3.85	1.92	99.886	46.299	0.0019	0.003401	0.00838
114	2.211	0.010	3.674	4.79	3.66	1.13	58.787	26.585	0.0013	0.002327	0.00814

120	2.181	0.009	3.759	5.18	4.02	1.16	60.348	27.670	0.0007	0.001253	0.0079
126	2.231	0.009	4.028	5.32	4.14	1.18	61.388	27.510	1E-04	0.000179	0.00766
132	2.242	0.009	3.674	5.13	3.88	1.25	65.030	29.011			0.00742
138	2.262	0.008	3.847	5.67	3.8	1.87	97.285	43.013			0.00718
144	2.356	0.008	3.759	5.28	3.92	1.36	70.753	30.031			0.00694
150	2.390	0.008	3.590	5.22	4.52	0.7	36.417	15.239			0.0067
156	2.356	0.008	3.674	5.69	4.8	0.89	46.301	19.652			0.00646
162	2.349	0.007	3.847	5.63	5.05	0.58	30.174	12.844			0.00622
168	2.329	0.007	3.759	5.64	5.06	0.58	30.174	12.955			0.00598
174	2.393	0.007	3.936	5.39	4.89	0.5	26.012	10.870			0.00574
180	2.343	0.007	3.847	5.35	4.96	0.39	20.289	8.661			0.0055
186	2.363	0.006	4.028	4.96	4.24	0.72	37.457	15.853			0.00526
192	2.410	0.006	3.936	5.63	5.23	0.4	20.810	8.635			0.00502
198	2.396	0.006	4.028	5.14	4.93	0.21	10.925	4.559			0.00478
204	2.430	0.006	4.122	5.1	4.9	0.2	10.405	4.270			0.00454
210	2.440	0.006	4.028	5.71	5.61	0.1	5.202	2.132			0.0043
216	2.437	0.006	4.218	5.1	4.9	0.2	10.405	4.270			0.00406
222	2.403	0.005	4.316	4.89	4.77	0.12	6.243	2.598			0.00382

1.1.4.2 Iso U_G

t	x (gram/dm ³)	μN (h ⁻¹)	(mM) [HCO ₃ ⁻]	y CO ₂ in	y CO ₂ out	Δy CO ₂	CTR (g/dm ³ .h)	q CO ₂ (h ⁻¹)	dx/dt	CUR	dHCO ₃ /dt
0	0.701	0.000	1.035	5.46	4.43	1.03	66.542	94.927	0.0122	0.496318	0.0115
4	0.723	0.008	1.084	5.32	5.01	0.31	20.027	27.684	0.01188	0.4833	0.01134
8	0.735	0.006	1.109	5.76	5.27	0.49	31.656	43.090	0.01156	0.470282	0.01118
12	0.881	0.019	1.162	5.66	5.2	0.46	29.718	33.751	0.01124	0.457264	0.01102
16	1.157	0.031	1.135	5.92	5.85	0.07	4.522	3.910	0.01092	0.444245	0.01086
20	1.356	0.033	1.162	5.31	5.21	0.1	6.460	4.763	0.0106	0.431227	0.0107
24	1.345	0.027	1.109	5.59	4.71	0.88	56.851	42.267	0.01028	0.418209	0.01054
28	1.345	0.023	1.189	5.82	5.58	0.24	15.505	11.527	0.00996	0.405191	0.01038
32	1.347	0.020	1.245	5.36	4.92	0.44	28.426	21.098	0.00964	0.392173	0.01022
36	1.433	0.020	1.274	5.67	5.03	0.64	41.346	28.862	0.00932	0.379155	0.01006
40	1.462	0.018	1.303	5.22	4.84	0.38	24.549	16.795	0.009	0.366136	0.0099
44	1.482	0.017	1.189	5.51	4.75	0.76	49.099	33.132	0.00868	0.353118	0.00974
48	1.567	0.017	1.245	5.67	5.01	0.66	42.638	27.207	0.00836	0.3401	0.00958
52	1.610	0.016	1.334	5.87	5.49	0.38	24.549	15.249	0.00804	0.327082	0.00942
56	1.585	0.015	1.497	5.17	4.24	0.93	60.081	37.902	0.00772	0.314064	0.00926
60	1.596	0.014	1.604	5.72	5.16	0.56	36.178	22.662	0.0074	0.301045	0.0091
64	1.610	0.013	1.641	5.7	5.35	0.35	22.611	14.046	0.00708	0.288027	0.00894
68	1.605	0.012	1.718	5.41	4.87	0.54	34.886	21.731	0.00676	0.275009	0.00878
72	1.628	0.012	1.799	5.35	4.59	0.76	49.099	30.163	0.00644	0.261991	0.00862
78	1.666	0.011	1.973	5.41	5.38	0.03	1.938	1.163	0.00596	0.242464	0.00838
84	1.581	0.010	1.841	5.16	4.86	0.3	19.381	12.261	0.00548	0.222936	0.00814
90	1.738	0.010	1.928	5.41	5.26	0.15	9.691	5.576	0.005	0.203409	0.0079
96	1.601	0.009	2.019	5.5	4.98	0.52	33.594	20.985	0.00452	0.183882	0.00766
102	1.686	0.009	1.973	5.72	4.63	1.09	70.418	41.763	0.00404	0.164355	0.00742
108	1.626	0.008	2.114	5.38	4.99	0.39	25.195	15.500	0.00356	0.144827	0.00718
114	1.623	0.007	2.019	5.35	5.24	0.11	7.106	4.378	0.00308	0.1253	0.00694
120	1.628	0.007	1.928	5.5	5.31	0.19	12.275	7.541	0.0026	0.105773	0.0067
126	1.695	0.007	2.019	5.61	5.39	0.22	14.213	8.384	0.00212	0.086245	0.00646

132	1.751	0.007	2.066	5.06	4.42	0.64	41.346	23.610	0.00164	0.066718	0.00622
138	1.776	0.007	2.114	5.37	4.97	0.4	25.841	14.551	0.00116	0.047191	0.00598
144	1.776	0.006	2.163	5.25	4.95	0.3	19.381	10.913	0.00068	0.027664	0.00574
150	1.787	0.006	2.265	5.47	5.18	0.29	18.735	10.483	0.0002	0.008136	0.0055
156	1.803	0.006	2.214	5.75	5.69	0.06	3.876	2.150			0.00526
162	1.814	0.006	2.265	5.32	4.78	0.54	34.886	19.231			0.00502
168	1.816	0.006	2.318	5.84	5.37	0.47	30.364	16.717			0.00478
174	1.830	0.006	2.318	5.78	5.26	0.52	33.594	18.360			0.00454
180	1.850	0.005	2.372	5.09	4.72	0.37	23.903	12.921			0.0043
186	1.877	0.005	2.427	5.12	5	0.12	7.752	4.130			0.00406
192	1.861	0.005	2.484	5.6	5.12	0.48	31.010	16.661			0.00382
198	1.843	0.005	2.542	5.43	5.36	0.07	4.522	2.453			0.00358



SEMQuant results. Listed at 11:44:59 on 05/01/10
 Operator: jaya
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 0006 Chlorela2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (4 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

Standards :

C	K	Carbon Low	13/09/06
N	K	BN	22/03/06
O	K	AL2O3	17/11/09
Na	K	Orthoclase	22/03/06
Mg	K	MagOxide	22/03/06
P	K	GaP	22/03/06
K	K	Orthoclase	22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C	K	ED	7.27 9.89
N	K	ED	26.71 31.15
O	K	ED	48.54 49.57
Na	K	ED	1.45 1.03
Mg	K	ED	1.28 0.86
P	K	ED	12.10 6.38
K	K	ED	2.65 1.11
Total			100.00 100.00

* = <2 Sigma

Pengolahan Data CUR (Carbon Uptake Rate)

Contoh perhitungan CUR pada penelitian ini :

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

Maka :

$$CUR = \frac{44}{\beta} \cdot \frac{dX}{dt}$$

dimana β merupakan berat formula sel, untuk mendapatkan nilai β , *Chlorella vulgaris* harus dikeringkan terlebih dahulu, pada penelitian kali ini *Chlorella* dikeringkan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) di Cibinong, Bogor. Setelah dikeringkan barulah kita dapat melakukan Elemental Analysis untuk mengetahui elemen dasar dari *Chlorella*, Elemental Analysis dilakukan di dua tempat yaitu di Lemigas dan di Departemen Metalurgi Universitas Indonesia, Pengukuran dilakukan di dua tempat karena pengukuran Elemental Analysis yang dilakukan di Lemigas hanya bisa untuk mengukur elemen seperti C, H, dan N saja sedangkan pengukuran Elemental Analysis di Departemen Metalurgi Universitas Indonesia tidak bisa mengukur elemen H. Berikut ini merupakan perhitungan untuk mendapatkan Rumus Formula Sel (RMF) dari *Chlorella vulgaris* Buitenzorg :

Komposisi %berat :

$$C = 22\%$$

$$H = 6,05\%$$

$$N = 5,2\%$$

$$O = \frac{48,54}{26,71} \times 5,2\% = 9,45\%$$

$$P = \frac{12,10}{26,71} \times 5,2\% = 2,36\%$$

Maka :

Komposisi sel kering $\text{CH}_x\text{N}_y\text{O}_z\text{P}_A$

Basis : 1 mol karbon

$$C = \frac{22}{45,06} \times 100\% = 48,82\%$$

$$C = \frac{48,82}{12} \times \frac{12}{48,82} = 1 \text{ mol}$$

$$H = \frac{6,05}{45,06} \times 100\% = 13,43\%$$

$$H = \frac{13,43}{1} \times \frac{12}{48,82} = 3,3 \text{ mol}$$

$$N = \frac{5,2}{45,06} \times 100\% = 11,54\%$$

$$N = \frac{11,54}{12} \times \frac{12}{48,82} = 0,203 \text{ mol}$$

$$O = \frac{9,45}{45,06} \times 100\% = 20,97\%$$

$$O = \frac{20,97}{12} \times \frac{12}{48,82} = 0,322 \text{ mol}$$

$$P = \frac{2,36}{45,06} \times 100\% = 5,24\%$$

$$P = \frac{5,24}{12} \times \frac{12}{48,82} = 0,041 \text{ mol}$$

Dari perhitungan didapatkan :

$$C = 1 \text{ mol}$$

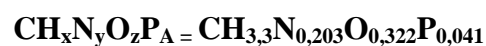
$$H = 3,3 \text{ mol}$$

$$N = 0,203 \text{ mol}$$

$$O = 0,322 \text{ mol}$$

$$P = 0,041 \text{ mol}$$

Dari hasil perhitungan maka Rumus Formula sel dapat diketahui, Rumus Formula sel untuk *Chlorella vulgaris* Buitenzorg yaitu :



Setelah mendapatkan rumus formula sel maka β dapat diketahui,

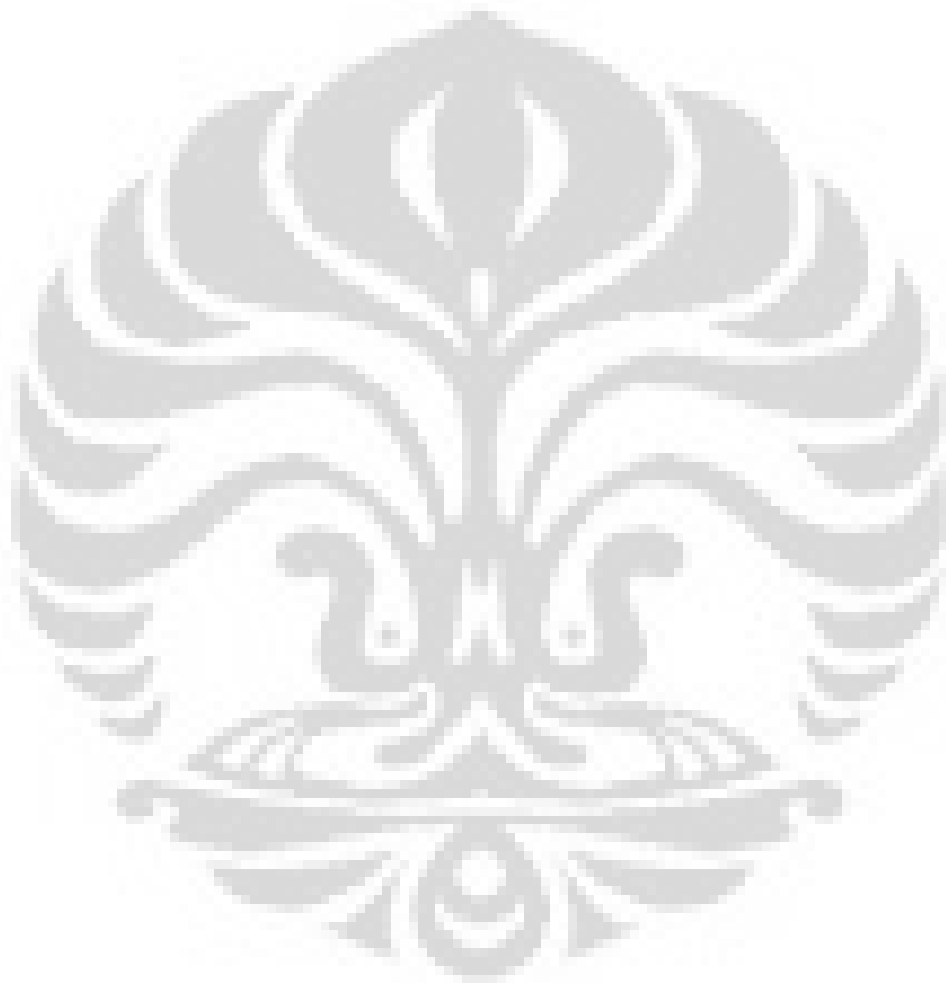
$$\beta = \text{RMF} = 1 (12) + 3,3 (1) + 0,203 (14) + 0,322 (16) + 0,041 (31) = 24,565$$

$$\beta = 24,565$$

dengan memasukan nilai β ke dalam persamaan awal, maka nilai CUR dapat diketahui,

$$CUR = \frac{44}{24,565} \cdot \frac{dX}{dt}$$

$$CUR = 1,79 \cdot \frac{dX}{dt}$$



Daftar Pertanyaan

1. Apa perbedaan antara metode iso UG dengan iso Kla ?
2. Bagaimana cara menentukan metode iso Kla ?
3. Mengapa nilai CO₂ out pada iso Kla perbedaannya lebih besar ?
4. Berapa persen peningkatan pertumbuhan metode iso Kla dibandingkan iso UG? Mengapa hal ini bisa terjadi?
5. Bagaimana menentukan nilai DO untuk menentukan nilai Kla ?
6. Apa kepanjangan dari BP ?
7. Apa perbedaan metode Kla dengan filtrasi ?



Jawaban :

1. Metode iso U_G merupakan metode yang menggunakan kecepatan superfisial optimum yang sama baik itu di volume 18 L maupun 40 L. Sedangkan untuk metode iso K_La merupakan metode hidrodinamik yang terlebih dahulu mengukur mass transfer di dalam reaktor, dan nantinya untuk mendapatkan kecepatan optimum dari volume 18 L untuk 40 L dapat digunakan grafik hubungan antara K_La atau koefisien mass transfer dengan kecepatan superfisial.
2. Penentuan metode iso K_La dilakukan dengan menggunakan DO meter untuk membaca mass transfer gas di dalam reaktor, kemudian setelah reaktor diisi penuh dan telah dialiri udara maka dicatat pembacaan pertama konsentrasi dari gas O_2 sebagai C_{AL1} . kemudian catat kembali perubahan konsentrasi O_2 hingga stabil sebagai C_{AL2} . Setelah konsentrasi keadaan gas konstan, keadaan ini dicatat dengan C_{AL} . Kemudian dengan memplotkan antara $\ln\left(\frac{C_{AL} - C_{AL1}}{C_{AL} - C_{AL2}}\right)$ dengan $(t_2 - t_1)$ maka berdasarkan slope grafik tersebut didapat nilai K_La .
3. Hal ini disebabkan karena pada kondisi iso K_La pertumbuhan biomassa dari *Chlorella* lebih tinggi dibandingkan dengan iso U_G sehingga menyebabkan kemampuan fiksasi pada iso K_La lebih tinggi dengan demikian kondisi grafik y CO_2 pada iso K_La perbedaannya lebih besar.
4. Peningkatan produksi biomassa *Chlorella* pada kondisi iso K_La sebesar 30,4% dibandingkan iso U_G , hal ini terjadi karena mass transfer gas yang digunakan untuk pertumbuhan *Chlorella* pada kondisi iso K_La lebih baik dibandingkan kondisi iso U_G .
5. Nilai DO didapat secara otomatis berdasarkan pembacaan di alat DO meter. Nilai DO merupakan nilai oksigen terlarut di dalam reaktor.

6. BP merupakan kepanjangan biological process.
7. metode filtrasi menggunakan peralatan tambahan berupa filter untuk mengontrol pertumbuhan chlorella, sedangkan pada metode KLa tidak ada.



UJI LIPID, KLOOROFIL DAN β -KAROTEN

Cara Kerja (Metode Bligh & Dyer)

1. Sampel dikeringkan di dalam oven pada suhu 60°C
2. Sampel disuspensikan ke dalam pelarut metanol : kloroform : aquades (MeOH:CHCl₃:H₂O) dengan perbandingan 2,5:1,25:1 (Campuran I).
3. Campuran I dishaker selama 2 jam dan didiamkan selama semalam
4. Campuran I kemudian dipindahkan ke dalam wadah gelas baru sedangkan sisa sampel kembali disuspensikan dengan campuran pelarut MeOH:CHCl₃:H₂O dan dishaker selama 1 jam (campuran II)
5. Setelah selesai campuran II digabung dengan campuran I dan ditambahkan pelarut kloroform : aquades 1:1
6. Kemudian dishaker selama 2 jam sehingga terbentuk 2 lapisan
7. Lapisan Organik diambil menggunakan pipet Pasteur
8. Pelarut kloroform diuapkan sehingga diperoleh ekstrak lipid
9. Ekstrak lipid ditentukan massanya secara gravimetri

Gambar Percobaan



Hasil Perhitungan

✓ Culture

Berat sampel = 0,4040

Berat botol kosong = 10,470

Berat botol akhir = 10.536

Maka,

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

$$Lipid = \left(\frac{10.536 - 10.470}{0.4040} \right) \times 100\%$$

Lipid = 16,33%

✓ Pre-Culture

Berat sampel = 0,4672

Berat botol kosong = 9,8150

Berat botol akhir = 9,9018

Maka,

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

$$Lipid = \frac{(9.9018 - 9.8150)}{0.4672} \times 100\%$$

Lipid = 18.57%

(P. Manirakiza1, A. Covaci, and P. Schepens, “Comparative Study on Total Lipid Determination using Soxhlet, Roese-Gottlieb, Bligh & Dyer, and Modified Bligh & Dyer Extraction Methods”, Journal of Food Composition and Analysis (2001) 14, 93-100)

Analisa Klorofil

Cara Kerja :

1. Campurkan sampel dengan aseton dengan perbandingan 1:1 dalam tabung yang 10 ml
2. Tambahkan glass bead
3. Masukkan ke dalam sonikator ± 45 menit
4. Sentrifuge ± 30 menit
5. Lihat absorbansinya pada 645 nm & 663 nm
6. Larutan standarnya aseton

Perhitungan

Chlorophyll a : $12,7 \times (A663) - 2,69 \times (A645)$

Chlorophyll b : $22,9 \times (A645) - 4,64 \times (A663)$

Chlorophyll a+b : $8,02 \times (A663) + 20,2 \times (A645)$

Hasil Perhitungan

- Culture

Biomassa = 0,010 gr

A645 = 0,470

A663 = 0,922

Chlorophyll a : $12,7 \times (0,922) - 2,69 \times (0,470)$

: 10,44 mg/L

Chlorophyll b : $22,9 \times (0,470) - 4,64 \times (0,922)$

: 6,48 mg/L

Chlorophyll a+b : $8,02 \times (0,922) + 20,2 \times (0,470)$
 : 16,884 mg/L

- Pre-Culture

Biomassa = 0,0151 gr

A645 = 1,10

A663 = 1,84

Chlorophyll a : $12,7 \times (1,84) - 2,69 \times (1,10)$
 : 20,40 mg/L

Chlorophyll b : $22,9 \times (1,10) - 4,64 \times (1,84)$
 : 16,65 mg/L

Chlorophyll a+b : $8,02 \times (1,84) + 20,2 \times (1,10)$
 : 36,97 mg/L

(*“Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology”*. Edited by Amos Richmond, Blackweel Science, (2004) pp 40-54)



Analisa Pigmen Karotenoid

Cara Kerja :

1. Sebanyak 10 ml kultur disentrifuge dengan kecepatan 3500 rpm selama 15 menit kemudian supernatant dibuang
2. Endapan alga dikeringkan dalam oven dengan suhu 70°C
3. Sampel diekstraksi dengan 3 ml etanol, 6 tetes kalium hidroksida 60 % dan 3 ml larutan natrium klorida 0,9 %
4. Sonifikasi selama 15 menit kemudian di sentrifuge dengan kecepatan 3500 rpm selama 15 menit
5. Supernatan yang dihasilkan ditambah 4 ml dietil eter, kemudian dikocok
6. Diperoleh dua lapisan yaitu lapisan bawah berwarna hijau dan lapisan atas berwarna kuning.
7. Supernatan yang berwarna kuning diukur serapan pada panjang gelombang maksimum 450 nm terhadap blanko pereaksi

Perhitungan :

$$\text{Karotenoid (mg/L)} = 3,92 \times A_{450}$$

Keterangan : A = Hasil absorbansi

Hasil Analisa

A_{450} Culture : 2,344

A_{450} Pre-Culture : 2,920

- Culture

$$\text{Karotenoid (mg/L)} = 3,92 \times A_{450}$$

$$\text{Karotenoid} = 9.18 \text{ mg / L}$$

- Pre-Culture

$$\text{Karotenoid (mg/L)} = 3,92 \times A_{450}$$

$$\text{Karotenoid} = 11.44 \text{ mg / L}$$

(Hanaa H. Abd El-Baky, F. K. El Baz and Gamal S El-Baroty, "Enhancement of Antioxidant Production in *Spirulina Plantesis* Under Oxidate Stress", American-Eurasian Journal of Scientific Research 2 (2): 170-179, 2007)

(Semenenko, E.V. and A.A. Abdullaev, "Parametric Control of β -Carotene Biosynthesis in *Dunaliella Salina* Cells Under Conditions of Intensive Cultivation" Fizioloiya Rastanii., 27: 31-41, 1980)

