

**UJI EFEKTIVITAS PENYERAPAN GAS KARBONDIOKSIDA (CO₂)
DARI BIOGAS OLEH MIKROALGA *Chlorella vulgaris* DAN
*Chaetoceros gracilis***

**SKRIPSI
PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN
JURUSAN MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN**

Oleh:
**LAILY MAGHFIROH EKA PUTRIANI TARIDA
NIM. 105080101111048**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2015**

**UJI EFEKTIVITAS PENYERAPAN GAS KARBONDIOKSIDA (CO₂)
DARI BIOGAS OLEH MIKROALGA *Chlorella vulgaris* DAN
*Chaetoceros gracilis***

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Perikanan pada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Brawijaya**

Oleh:

LAILY MAGHFIROH EKA PUTRIANI TARIDA

NIM. 105080101111048



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2015**

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan (plagiasi), maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut, sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.

Malang, Januari 2015

Mahasiswa

Laily Maghfiroh Eka P. T.
NIM. 105080101111048

RINGKASAN

LAILY MAGFIROH EKA PUTRIANI TARIDA. Skripsi dengan judul Uji Efektivitas Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂) dari Biogas oleh Mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* (Di bawah bimbingan **Prof. Dr. Ir. ENDANG YULI H., MS** dan **Dr. YUNI KILAWATI, S.Pi., M.Si**)

Masalah besar yang dihadapi dunia pada abad 21 ini salah satunya adalah pemanasan global. Indikator yang dapat digunakan untuk menganalisis pemanasan global adalah bertambahnya gas rumah kaca, terutama peningkatan gas CO₂ secara cepat akibat kegiatan manusia, misalnya limbah industri, limbah peternakan dan penggunaan kendaraan bermotor merupakan salah satu penyebab semakin tingginya akumulasi gas CO₂ di atmosfer dan akan berdampak langsung pada pemanasan global. Sehingga perlu adanya cara yang efektif untuk mengatasi permasalahan ini, salah satu caranya adalah dengan mengurangi pengeluaran karbon dioksida, yaitu dengan pendekatan biologis menggunakan mikroalga yang potensial untuk penyerapan karbon dioksida dengan teknologi fotobioreaktor.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan efektivitas penyerapan gas karbondioksida (CO₂) oleh mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis*. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Reproduksi Ikan, Laboratorium Nutrisi Ikan, Laboratorium Keamanan Hasil Perikanan dan Laboratorium Lingkungan dan Bioteknologi Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang pada bulan Oktober 2014 sampai November 2014.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan 2 kombinasi perlakuan yaitu, jenis mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* sebagai faktor A kemudian kelimpahan mikroalga (1×10^6 sel/ml; 2×10^6 sel/ml dan 3×10^6 sel/ml) sebagai faktor B. Pengamatan yang dilakukan selama delapan hari dengan selang waktu pengamatan setiap dua hari. Parameter kualitas air yang diamati yaitu suhu, salinitas, pH, karbondioksida, DO, nitrat dan orthofosfat.

Hasil pengukuran konsentrasi gas karbondioksida (CO₂) pada awal penelitian sebelum diberi mikroalga sebesar 16,16% dan selanjutnya mengalami penurunan menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris* dari hari ke 0 hingga hari ke 8 berturut-turut sebesar $A_1B_1 = 16,16\%-2,38\%$; $A_1B_2 = 16,16\%-2,61\%$ dan $A_1B_3 = 16,16\%-1,71\%$ atau dengan persentase penurunan sebesar $A_1B_1 = 85,27\%$, $A_1B_2 = 83,85\%$, dan $A_1B_3 = 89,42\%$. Penurunan konsentrasi gas karbondioksida (CO₂) oleh mikroalga *Chaetoceros gracilis* dari hari ke 0 hingga ke 8 berturut-turut sebesar $A_2B_1 = 16,16\%-1,15\%$; $A_2B_2 = 16,16\%-1,25\%$ dan $A_2B_3 = 16,16\%-0,89\%$ atau dengan persentase penurunan sebesar $A_2B_1 = 92,88\%$; $A_2B_2 = 92,26\%$ dan $A_2B_3 = 94,49\%$. Hasil pengamatan kualitas air selama penelitian didapatkan kisaran suhu = 28,7°C-30,7°C, salinitas = 35-40 ppt, pH = 7,67-9, karbondioksida = 2,17-14,63 mg/l, oksigen terlarut = 8,31-10,12 mg/l, nitrat = 0,24-3,32 mg/l dan orthofosfat = 0,02-0,57 mg/l.

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu berdasarkan hasil penelitian dan analisa menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial menunjukkan bahwa nilai Fhitung < Ftabel sehingga H₀ diterima yaitu bahwa antara *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* dengan kelimpahan yang berbeda tidak memiliki perbedaan dalam penyerapan gas karbondioksida (CO₂).

Saran dari penelitian ini pemanfaatan mikroalga untuk penyerapan gas karbondioksida (CO₂) sebaiknya menggunakan *Chaetoceros gracilis* karena berdasarkan hasil uji keamatan hubungan menunjukkan bahwa mikroalga *Chaetoceros gracilis* memiliki keamatan hubungan dengan kandungan gas karbondioksida.



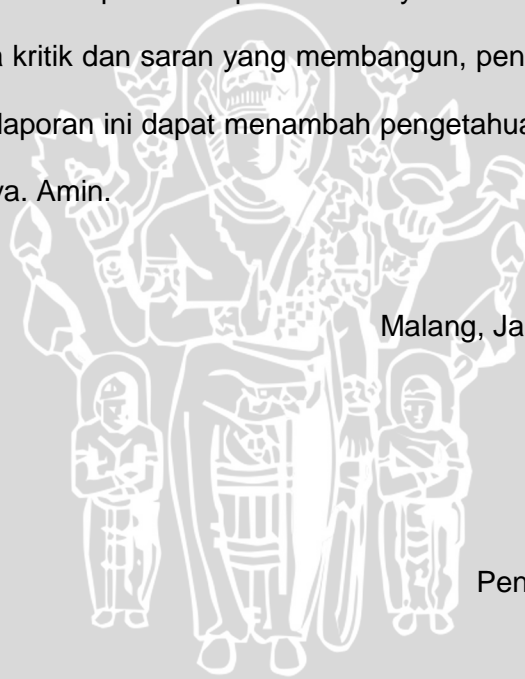
KATA PENGANTAR

Puji syukur bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi yang berjudul “**Uji Efektivitas Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂) dari Biogas oleh Mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis***”. Laporan Skripsi ini disusun sebagai prasyarat untuk memperoleh gelar Sarjana Perikanan dari Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang.

Dalam penyusunan laporan ini penulis menyadari adanya kekurangan. Oleh sebab itu, segala kritik dan saran yang membangun, penulis terima dengan senang hati. Semoga laporan ini dapat menambah pengetahuan dan bermanfaat bagi yang membacanya. Amin.

Malang, Januari 2015

Penulis



UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih tidak lupa penulis persembahkan kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam persiapan, pelaksanaan dan penyusunan Skripsi, diantaranya:

1. Ayah Guffi, Mamah Ida dan adik-adikku (Hamgembel, Pipink dan Dhaffa) tercinta tersayang yang tak pernah henti memberi do'a dan dukungannya.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Endang Yuli H., MS dan ibu Dr. Yuni Kilawati, S. Pi, M. Si selaku dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II, yang dengan kebaikan hati memotivasi dan membimbing penulis dengan selalu menyediakan waktu ditengah kesibukannya, sehingga penulis menjadikannya sebagai pemicu semangat untuk menyelesaikan laporan ini.
3. Ibu Ir. Herwati Umi S. MS selaku dosen penguji I atas kritik dan sarannya yang bermanfaat untuk kesempurnaan laporan ini.
4. Bapak Zainudin, Ibu Nurhotipah, Ibu Iwin, dan Bapak Yitmono Laboran FPIK UB yang telah banyak membantu saat penelitian.
5. Tante Denok, Om Nunung dan Jihan untuk dukungannya selama pengerjaan penelitian ini.
6. Anna, Fitri, Lilo, Gita, Christin, Lenti, Scelen, Nissa, Sarah, Rica sahabat terbaik yang selalu membantu, memberikan semangat, tenaga dan doa dalam menyelesaikan penelitian ini.
7. Rekan satu tim, Keping Ardyansyah atas kerjasamanya.
8. Juara, thanks for everything.
9. Teman-teman MSP'10, yang sudah membantu dan memberi dukungan pada penulis.
10. Keluarga besar Bani Nawawi atas doa dan dukungannya.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
RINGKASAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Hipotesis.....	3
1.5 Kegunaan Penelitian.....	3
1.6 Waktu dan Tempat.....	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Mikroalga.....	4
2.1.1 <i>Chlorella vulgaris</i>	6
2.1.2 <i>Chaetoceros gracilis</i>	7
2.2 Pertumbuhan Mikroalga.....	9
2.3 Karbondioksida (CO ₂).....	12
2.4 Biogas.....	15
2.5 Fotosintesis.....	17
2.6 Fotobioreaktor.....	19

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Materi Penelitian	21
3.2 Alat dan Bahan	21
3.3 Metode Penelitian	21
3.4 Tahapan Penelitian	23
3.4.1 Kultur <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Chaetoceros gracilis</i>	23
a. Sterilisasi Alat dan Media	23
b. Kultur Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Chaetoceros gracilis</i>	25
3.4.2 Pengikatan Karbondioksida oleh <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Chaetoceros gracilis</i>	26
3.4.3 Perhitungan Kelimpahan Mikroalga	27
3.4.4 Analisis Parameter Kualitas Air	28
a. Suhu	28
b. Salinitas	28
c. pH	29
d. Oksigen Terlarut (DO)	29
e. Karbondioksida Terlarut	30
f. Nitrat	30
g. Orthofosfat	31
3.5 Rancangan Fotobioreaktor	32
3.6 Efektivitas Penyerapan Gas Karbondioksida oleh Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Chaetoceros gracilis</i>	32
3.7 Analisa Data	33

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pertumbuhan Mikroalga dan Penyerapan Gas Karbondioksida (CO ₂)	34
4.2 Penyerapan Gas Karbondioksida	35
4.3 Pertumbuhan Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Chaetoceros gracilis</i>	37
4.4 Efektivitas Penyerapan Gas Karbondioksida (CO ₂) oleh Mikroalga	41
4.5 Analisis Kualitas Air	44
4.5.1 Suhu	44
4.5.2 Salinitas	46
4.5.3 Derajat Keasaman (pH)	47
4.5.4 Karbondioksida (CO ₂)	49
4.5.5 Dissolved Oxygen (DO)	51
4.5.6 Nitrat (NO ₃ ⁻)	53
4.5.7 Orthofosfat	55
4.6 Pembahasan Umum	57

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59

DAFTAR PUSTAKA	60
----------------------	----

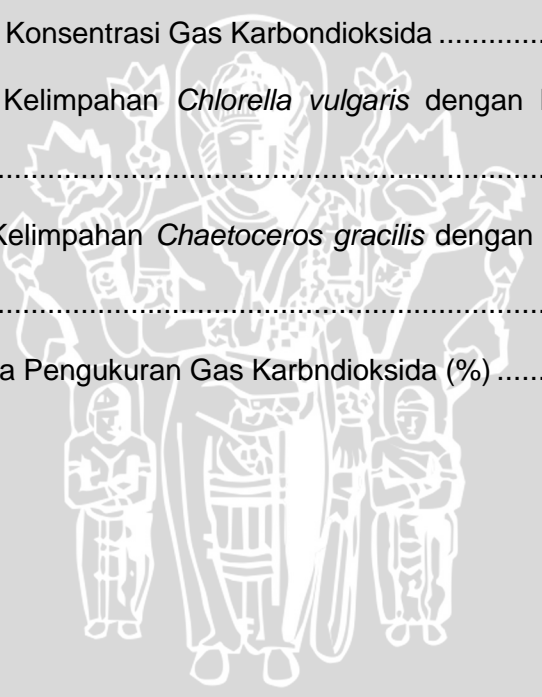
LAMPIRAN	65
----------------	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. <i>Chlorella vulgaris</i>	6
2. <i>Chaetoceros sp</i>	8
3. Fase Pertumbuhan Mikroalga	10
4. Siklus Karbon	15
5. Rancangan Fotobioreaktor	30
6. Grafik Konsentrasi Gas Karbondioksida (CO ₂) yang diserap oleh (a) <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Chaetoceros gracilis</i>	35
7. Grafik Pertumbuhan Mikroalga selama 8 Hari pada (a) <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Chaetoceros gracilis</i>	39
8. Grafik Perubahan Suhu selama 8 Hari (a) <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Chaetoceros gracilis</i>	45
9. Grafik Perubahan Salinitas selama 8 Hari (a) <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Chaetoceros gracilis</i>	46
10. Grafik Perubahan pH selama 8 Hari (a) <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Chaetoceros gracilis</i>	48
11. Grafik Konsentrasi Karbondioksida Terlarut selama 8 Hari (a) <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Chaetoceros gracilis</i>	50
12. Grafik Konsentrasi DO selama 8 Hari (a) <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Chaetoceros gracilis</i>	52
13. Grafik Perubahan Konsentrasi Nitrat pada hari ke 0 dan 8 pada (a) <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Chaetoceros gracilis</i>	54
14. Grafik Perubahan Ortofosfat pada hari ke 0 dan 8 pada (a) <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Chaetoceros gracilis</i>	56

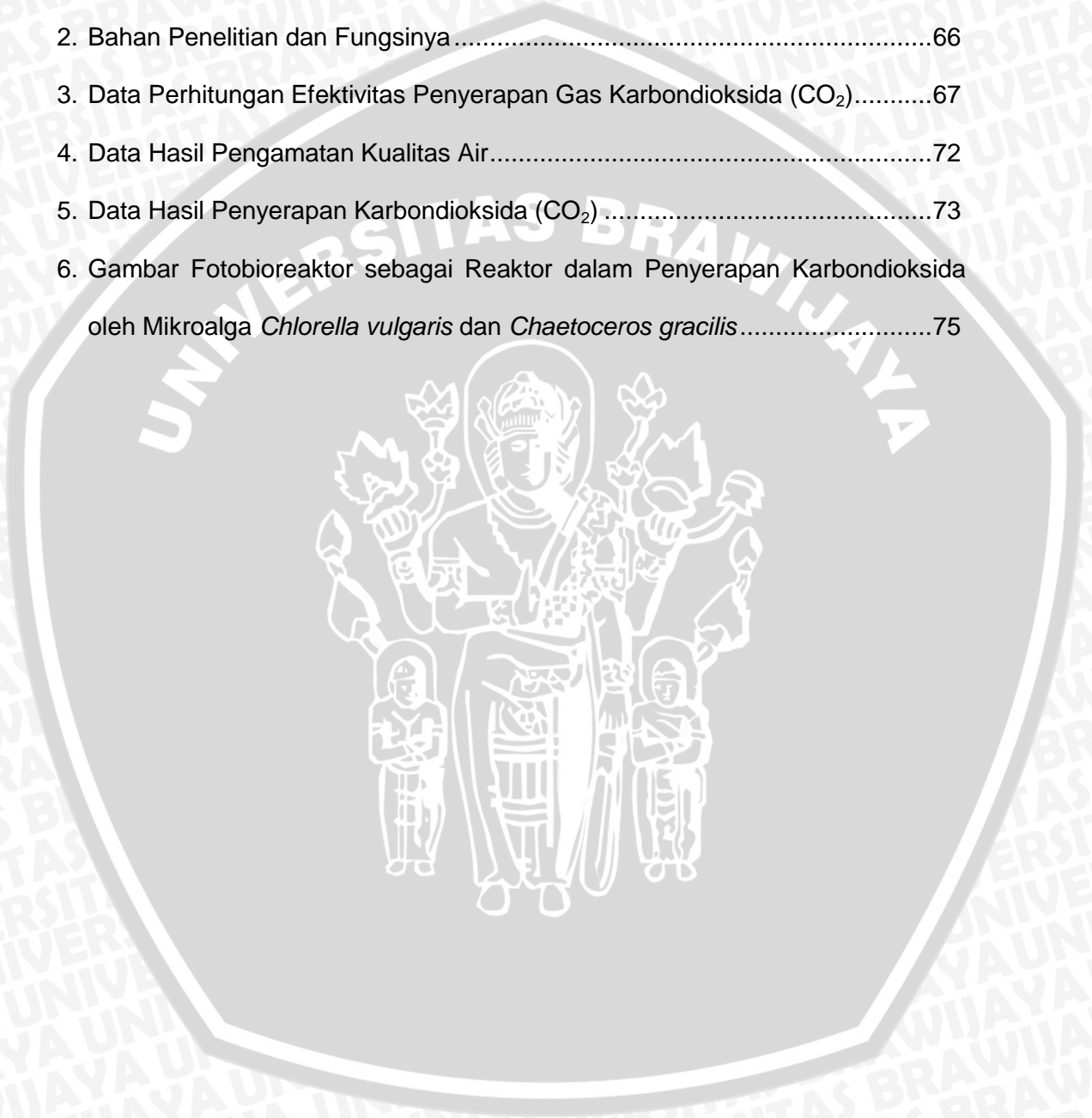
DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Persentase Volume Gas Karbondioksida (CO ₂) di Atmosfer	13
2. Komposisi Gas (%) dalam Biogas yang berasal dai Kotoran Ternak dan Sisa Pertanian	17
3. Kombinasi Perlakuan Jenis dan Kelimpahan Mikroalga RAL Faktorial.....	22
4. Data Hasil Rata-rata Kelimpahan Mikroalga dan Konsentrasi Gas Karbondioksida (CO ₂)	34
5. Tabel Sidik Ragam Konsentrasi Gas Karbondioksida	37
6. Hasil Uji Korelasi Kelimpahan <i>Chlorella vulgaris</i> dengan Kandungan Gas Karbondioksida	38
7. Hasil Uji Korelasi Kelimpahan <i>Chaetoceros gracilis</i> dengan Kandungan Gas Karbondioksida	38
8. Data Hasil Rata-rata Pengukuran Gas Karbndioksida (%)	42



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Alat Penelitian dan Fungsinya	64
2. Bahan Penelitian dan Fungsinya	66
3. Data Perhitungan Efektivitas Penyerapan Gas Karbondioksida (CO ₂).....	67
4. Data Hasil Pengamatan Kualitas Air.....	72
5. Data Hasil Penyerapan Karbondioksida (CO ₂)	73
6. Gambar Fotobioreaktor sebagai Reaktor dalam Penyerapan Karbondioksida oleh Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Chaetoceros gracilis</i>	75



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masalah besar yang dihadapi dunia pada abad 21 ini salah satunya adalah pemanasan global. Pemanasan global menyebabkan terjadinya kenaikan suhu permukaan bumi dan perubahan iklim. Salah satu indikator yang dapat digunakan untuk menganalisis pemanasan global adalah bertambahnya gas rumah kaca, terutama gas CO₂ akibat kegiatan manusia. Kegiatan industri, pembakaran bahan bakar fosil dan kegiatan peternakan merupakan salah satu penyebab semakin tingginya akumulasi gas CO₂ di atmosfer dan akan berdampak langsung pada pemanasan global.

Di Indonesia dampak dari pemanasan global ini telah dirasakan sejak tahun 1990an. Menurut Padmaningrum (2009), menyebutkan bahwa akibat dari pemanasan global adalah pergeseran iklim dari siklusnya. Hal ini diperkuat dengan hasil riset jangka panjang yang dilakukan sejumlah ahli menyimpulkan, musim kemarau menjadi lebih lama 80 hari, sebaliknya musim hujan berkurang 80 hari dari kondisi normal. Penyebab pemanasan global salah satunya adalah "*Greenhouse Effect*" atau yang kita kenal dengan efek rumah kaca. Efek Rumah Kaca adalah istilah untuk panas yang terperangkap didalam atmosfer bumi dan tidak bisa menyebar.

Menurut Wahyuni (2011), kegiatan peternakan yang merupakan penghasil gas rumah kaca menghasilkan beberapa gas yaitu karbondioksida, metana, dinitrogen oksida dan amonia. Limbah peternakan tersebut bisa dimanfaatkan menjadi sumber energi alternatif (biogas) untuk mengurangi masalah lingkungan seperti polusi udara dan tanah. Kualitas energi yang terkandung didalam biogas ditentukan oleh dua unsur yaitu gas karbondioksida (CO₂) dan gas metana (CH₄).

Bila kadar CH_4 tinggi maka biogas tersebut akan memiliki nilai kalor yang tinggi. Sebaliknya jika kadar CO_2 yang tinggi maka akan mengakibatkan nilai kalor biogas tersebut rendah. Maka dari itu untuk meningkatkan nilai kalor biogas maka kadar CO_2 harus dikurangi atau rendah (Hamidi *et al.*, 2011). Berdasarkan kedua pernyataan tersebut, maka pada penelitian ini digunakan biogas sebagai sumber karbondioksida.

Dibutuhkan sebuah solusi yang tepat dalam mengurangi kandungan karbondioksida di atmosfer, salah satu caranya melalui proses biologi. Menurut Nugraha (2012), salah satu caranya yaitu dengan memanfaatkan kemampuan mikroalga dalam menyerap karbondioksida melalui proses fotosintesis. Karbondioksida merupakan salah satu bahan utama dalam proses fotosintesis. Proses pemanfaatan karbondioksida oleh organisme yang mampu melakukan aktivitas fotosintesis dapat dilakukan dengan memberikan karbondioksida secara langsung terhadap organisme yang dapat memanfaatkan karbondioksida untuk proses fotosintesis seperti mikroalga.

1.2 Rumusan Masalah

Karbondioksida merupakan permasalahan besar saat ini karena merupakan salah satu pemicu dari pemanasan global yaitu meningkatnya temperatur rata-rata atmosfer, laut dan daratan bumi. Dampak dari pemanasan global salah satunya ditandai dengan perubahan iklim yang bergeser dari siklusnya dan naiknya permukaan air laut. Sumber dari gas karbondioksida ini secara umum adalah kegiatan industri, penggunaan bahan bakar fosil, kebakaran hutan dan kegiatan peternakan. Sehingga perlu adanya cara yang efektif untuk mengatasi permasalahan ini, salah satu caranya adalah dengan mengurangi pengeluaran karbondioksida, yaitu dengan pendekatan biologis

menggunakan mikroalga yang potensial untuk penyerapan karbondioksida dengan teknologi fotobioreaktor.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan efektivitas penyerapan gas karbondioksida (CO_2) oleh mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* dengan kelimpahan yang berbeda.

1.4 Hipotesis

H_0 = Diduga bahwa antara *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* dengan kelimpahan yang berbeda tidak memiliki perbedaan dalam penyerapan gas karbondioksida (CO_2).

H_1 = Diduga bahwa antara *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* dengan kelimpahan yang berbeda memiliki perbedaan dalam penyerapan gas karbondioksida (CO_2).

1.5 Kegunaan Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai efektifitas mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* dalam menyerap gas karbondioksida (CO_2).

1.6 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Reproduksi Ikan, Laboratorium Nutrisi Ikan, Laboratorium Keamanan Hasil Perikanan dan Laboratorium Lingkungan dan Bioteknologi Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang pada bulan Oktober 2014 sampai November 2014.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mikroalga

Mikroalga atau ganggang adalah organisme perairan yang lebih dikenal dengan fitoplankton (alga laut bersel tunggal). Organisme ini dapat melakukan fotosintesis dan hidup dari nutrisi anorganik serta menghasilkan zat-zat organik dari CO₂ oleh fotosintesis. Mikroalga mempunyai zat hijau daun (pigmen) klorofil yang berperan pada proses fotosintesis dengan bantuan H₂O, CO₂ dan sinar matahari untuk menghasilkan energi (Chalid *et al.*, 2007). Mikroalga adalah tumbuhan tingkat rendah yang memiliki klorofil, yang dapat digunakan untuk melakukan proses fotosintesis. Mikroalga tidak memiliki akar, batang dan daun yang terdiferensiasi. Umumnya mikroalga ditemukan di seluruh habitat di permukaan bumi terutama di ekosistem perairan selain itu dapat ditemukan juga di atas permukaan tanah yang bersimbiosis dengan berbagai organisme lainnya (Nugraha, 2012).

Mikroalga atau ganggang renik adalah organisme tumbuhan yang berukuran sangat kecil dan hanya dapat dilihat menggunakan mikroskop. Alga mikro juga hidup, tumbuh dan berkembang melalui proses fotosintesis yang melibatkan hara (nutrisi), sinar matahari, air (H₂O) dan karbondioksida (CO₂) (Komarawidjaja, 2010).

Mikroalga yang hidup melayang di permukaan air dan pergerakannya lebih banyak dibantu oleh pergerakan arus adalah salah satu kandidat biota yang dapat dimanfaatkan sebagai penyerap gas CO₂ secara maksimal. Hal ini disebabkan mikroalga memiliki waktu pertumbuhan yang cepat dibandingkan dengan tanaman darat. Banyak sekali manfaat dari mikroalga ini yang dapat digunakan untuk kepentingan manusia, antara lain sebagai bahan makanan,

pakan ternak, obat-obatan, campuran pupuk dan sumber bahan bakar (Sappewali, 2009).

Tumbuhan mampu mengurangi kadar karbondioksida dengan melakukan fotosintesis, atau disebut juga asimilasi karbon. Alga juga termasuk tumbuhan karena memiliki klorofil untuk berfotosintesis. Meskipun alga tidak memiliki struktur sekomples tumbuhan darat, fotosintesis pada alga dan tanaman tingkat tinggi terjadi dengan cara yang sama (Kohar, 2010).

Keuntungan penggunaan mikroalga dalam proses mitigasi emisi gas CO₂ adalah prosesnya berjalan alami seperti prinsip ekosistem alam sehingga sangat ramah lingkungan dan tidak menghasilkan limbah sekunder. Keunggulan lainnya adalah pada proses ini daur ulang nutrisi berjalan sangat efisien dan menghasilkan biomassa yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan. Kelemahan dari penggunaan mikroalga adalah prosesnya membutuhkan waktu yang relatif lama, memerlukan cahaya dan beberapa fisiologi yang belum diketahui secara jelas (Daniyati *et al.*, 2012).

Menurut Khoo *et al.*, (2011), mikroalga dapat mengkonversi cahaya dan karbondioksida menjadi biomassa secara efisien. Hal tersebut dikarenakan struktur seluler mikroalga lebih sederhana dibandingkan dengan tumbuhan tingkat tinggi, sehingga mikroalga memiliki potensi untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan karbondioksida di atmosfer. Penggunaan mikroalga memiliki kelebihan lain yaitu meskipun jumlah biomassa mikroalga hanya 0,05% biomassa tumbuhan darat, namun jumlah karbon yang dapat digunakan dalam proses fotosintesis sama dengan jumlah C yang difiksasi oleh tumbuhan darat. Mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* cocok dikembangkan sebagai absorber CO₂ karena memiliki pigmen hijau (klorofil) sehingga dapat melakukan fotosintesis.

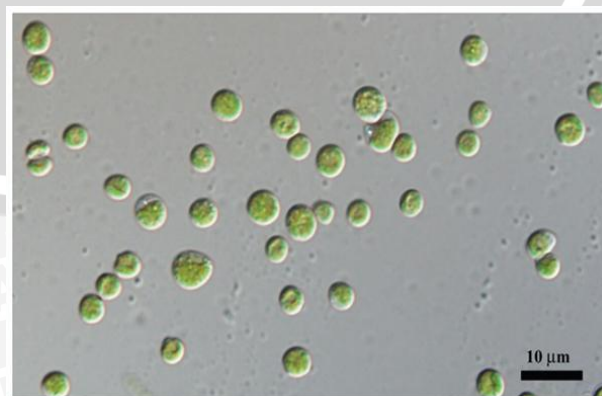
2.1.1 *Chlorella vulgaris*

Mikroalga merupakan organisme uniseluler yang memanfaatkan energi cahaya dan karbondioksida untuk fotosintesis, dengan efisiensi fotosintesis yang lebih tinggi (Al-Iwayzy, 2014). *Chlorella vulgaris* adalah salah satu spesies mikroalga yang paling menarik untuk dimanfaatkan dalam penyerapan karbondioksida karena pertumbuhannya yang cepat dan mudah dibudidayakan.

Chlorella adalah genus ganggang hijau bersel tunggal yang hidup di air tawar, laut dan tempat basah. Ganggang ini memiliki tubuh seperti bola. Didalam tubuhnya terdapat kloroplas berbentuk mangkuk. Perkembangbiakannya terjadi secara vegetatif dengan membelah diri. Setiap selnya mampu membelah diri dan menghasilkan empat sel baru yang tidak mempunyai flagel. Ganggang ini sering digunakan di laboratorium untuk penyelidikan fotosintesis. *Chlorella* juga merupakan mikroorganisme yang termasuk dalam filum *Chlorophyta* atau sering kita kenal sebagai alga hijau. Alga hijau memiliki struktur yang hampir sama dengan tumbuhan, salah satunya ialah dinding selnya (Wijoseno, 2011).

Chlorella sp adalah alga bersel satu yang hidup di air tawar maupun air laut. Alga tersebut mampu berfotosintesis. Sumber karbon yang umum di manfaatkan adalah CO_2 dan karbon anorganik lainnya seperti ion HCO_3^- (Fauzi dan Panji, 2002). Klasifikasinya *Chlorella* menurut Dewi dan Gultom (2009), yaitu

Divisi	: Chlorophyta
Kelas	: Chlorophyceae
Ordo	: Chlorococcales
Sub-ordo	: Autosporinaceae
Familia	: Chlorellaceae
Genus	: Chlorella
Spesies	: <i>Chlorella sp.</i>



Gambar 1. *Chlorella vulgaris*
(Held and Raymod, 2011)

Manfaat yang dimiliki oleh mikroalga *Chlorella* menurut Prihantini (2005), yaitu memiliki potensi sebagai pakan alami, pakan ternak, suplemen, penghasil komponen bioaktif bahan farmasi dan kedokteran. Hal tersebut dikarenakan *Chlorella* mengandung berbagai nutrisi seperti protein, karbohidrat, asam lemak tak jenuh, vitamin, klorofil, enzim dan serat yang tinggi. Menurut Jusadi dan Mokoginta (2003), *Chlorella* merupakan salah satu jenis fitoplankton yang banyak digunakan untuk berbagai keperluan, salah satunya sebagai makanan rotifera atau sebagai media hidup larva ikan.

2.1.2 *Chaetoceros gracilis*

Chaetoceros sp adalah salah satu spesies diatom. Diatom (filum Heterokontophyta, kelas Bacillariophyta) berbentuk uniseluler, walaupun demikian terdapat berbagai spesies agregat yang berkelompok dan membentuk koloni seperti rantai. Sel diatom tertutup oleh dinding sel yang terbuat dari silikat, bahan yang keras seperti gelas. Diatom adalah pabrik fotosintesis yang efisien, menghasilkan banyak makanan yang dibutuhkan makhluk hidup (makanan tersebut adalah diatom itu sendiri), serta oksigen (O_2) sebagai hasil fotosintesisnya. Diatom sangat penting di perairan terbuka, berperan sebagai produsen utama di daerah beriklim sedang dan kutub (Castro dan Huber, 2007).

Chaetoceros termasuk diatom yang sering disebut *golden-brownalgae* karena kandungan pigmen kuning lebih banyak dari pigmen hijau sehingga bila padat populasinya, perairan akan terlihat coklat muda. *Chaetoceros* ada yang berbentuk bulat dengan diameter 4-6 mikron dan ada yang berbentuk segi empat dengan ukuran 8-12 x 7-18 mikron (Akbar, 2008).

Menurut Triswanto (2011), beberapa spesies mikroalga kelompok diatom dari divisi Chrysophyta berpotensi untuk menyerap gas buang CO_2 yang dihasilkan oleh proses pembakaran baik kendaraan, industri, respirasi dan

dekomposisi. Diatom bila dibandingkan dengan hutan hujan diseluruh dunia lebih produktif karena mempunyai kontribusi 40-45% produktivitas laut, sehingga diatom memiliki peranan yang sangat penting dalam siklus silika dan karbon di alam sehingga kesinambungan perikanan terjaga. Diatom memiliki kelebihan yang lain yaitu dapat diproduksi dalam waktu yang singkat karena siklus hidup pendek dan reproduksi cepat serta proses produksinya yang ramah lingkungan.

Klasifikasi *Chaetoceros* secara taksonomi menurut Botes (2003) dalam Herlinah (2010) adalah sebagai berikut :

Phylum : Chrisophyta
Klass : Bacillariophyceae
Ordo : Biddulphiales
Sub ordo : Biddulphineae
Famili : Chaetocerotaceae
Genus : Chaetoceros
Spesies : *C. gracilis*



Gambar 2. *Chaetoceros sp* (Gennaro, 2014)

Menurut hasil penelitian yang dilakukan Idris (2012), disebutkan bahwa pertumbuhan *Chaetoceros sp* dan gas CO₂ memiliki hubungan korelasi negatif, dimana peningkatan biomassa diikuti dengan penurunan konsentrasi CO₂. Hal tersebut diduga akibat difusi gas CO₂ yang terjadi pada saat gas CO₂ dialirkan ke dalam fotobioreaktor. Difusi tersebut menghasilkan CO₂ terlarut sehingga meningkatkan konsentrasi karbon anorganik terlarut (DIC) pada fotobioreaktor. Karbondiosida terlarut inilah yang dimanfaatkan oleh *Chaetoceros sp* dalam proses fotosintesis, sehingga *Chaetoceros sp* termasuk salah satu mikroalga yang dapat dimanfaatkan untuk mengurangi karbondioksida. Spesies *Chaetoceros sp* juga memiliki kelimpahan yang besar hampir sepanjang tahun

pada perairan laut, baik di habitat muara maupun pesisir di sepanjang pantai atlantik.

2.2 Pertumbuhan Mikroalga

Menurut Isnansetyo dan Kurniastuty (1995) dalam Nugraha (2012) Pertumbuhan mikroalga dapat mengalami beberapa fase pertumbuhan, yaitu :

1. Fase Lag (adaptasi atau istirahat)

Dimulai setelah penambahan inokulum ke dalam media kultur hingga beberapa saat sesudahnya. Pada fase ini peningkatan paling signifikan terlihat pada ukuran sel karena secara fisiologis mikroalga menjadi sangat aktif. Metabolisme berjalan tetapi pembelahan sel belum terjadi sehingga kepadatan sel belum meningkat karena mikroalga masih beradaptasi dengan lingkungan barunya.

2. Fase Logaritmik (Log) atau Eksponensial

Fase ini dimulai dengan pembelahan sel dengan laju pertumbuhan yang meningkat secara intensif. Bila kondisi optimum maka laju pertumbuhan pada fase ini dapat mencapai nilai maksimal dan pola laju pertumbuhan dapat digambarkan dengan fase logaritmik. Pada fase ini merupakan fase terbaik untuk memanen mikroalga untuk keperluan pakan atau industri.

3. Fase Penurunan Laju Pertumbuhan

Pembelahan sel terjadi pada fase ini, namun tidak seintensif fase sebelumnya, sehingga laju pertumbuhan juga mengalami penurunan dibandingkan fase sebelumnya.

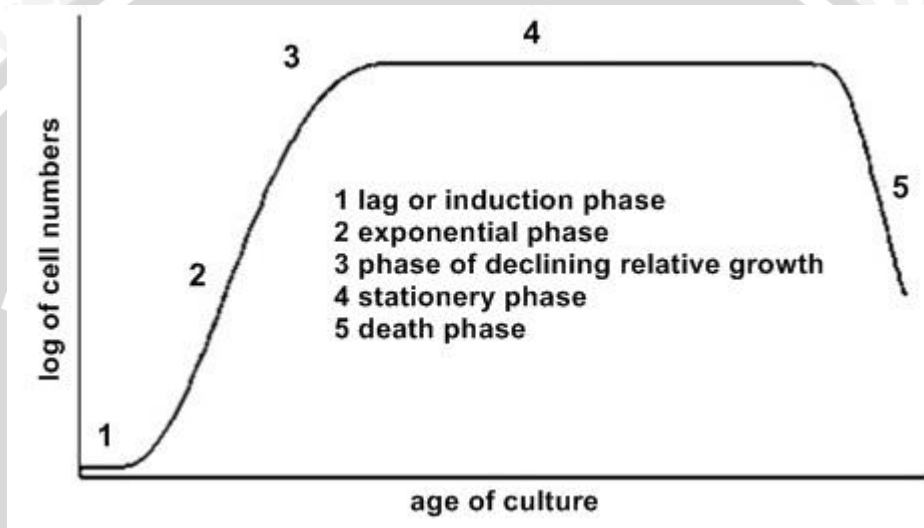
4. Fase Stasioner

Pada fase ini laju reproduksi dan laju kematian relatif sama. Penambahan dan pengurangan jumlah mikroalga seimbang sehingga kepadatannya relatif tetap (stasioner).

5. Fase Kematian

Fase ini ditandai dengan laju kematian yang lebih besar daripada laju reproduksi sehingga jumlah sel mengalami penurunan secara geometric. Penurunan kepadatan sel fitoplankton ditandai dengan perubahan kondisi optimum yang dipengaruhi oleh temperatur, cahaya, pH medium, ketersediaan hara dan beberapa faktor lain yang saling terkait satu sama lain.

Secara skematis pola pertumbuhan mikroalga dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Fase Pertumbuhan Mikroalga

Pertumbuhan *Chaetoceros* menurut Fox (1983) dalam Herlinah (2010), juga meliputi beberapa fase pertumbuhan. Fase lag dimana terjadi sedikit peningkatan jumlah sel dalam waktu yang relatif lama, hal tersebut disebabkan oleh adaptasi perubahan media kultur. Fase eksponensial terjadi peningkatan jumlah sel secara cepat. Fase penurunan pertumbuhan dimana pembelahan sel terjadi secara lambat karena penurunan faktor pembatas seperti nutrisi, cahaya, pH, karbondioksida dan faktor fisika kimia lainnya. Pada fase stasioner penurunan faktor pembatas maka laju pertumbuhan berada dalam keseimbangan sehingga kepadatan sel relatif konstan, setelah itu mengalami fase kematian karena penurunan kualitas air dan nutrisi pada batas yang dapat mendukung

pertumbuhan sel selanjutnya kepadatan sel menurun dengan cepat atau terjadi kematian.

Menurut Fadilla (2010), faktor yang mempengaruhi dan membatasi pertumbuhan fitoplankton adalah :

➤ Nutrien

Mikroalga membutuhkan berbagai unsur untuk pertumbuhannya. Beberapa unsur yang dibutuhkan dalam jumlah relatif besar dan disebut hara makro misalnya C (karbon), H (hidrogen), O (oksigen), N (nitrogen), P (fosfor), Si (Silikon), Mg (magnesium), K (kalium) dan Ca (kalsium). Selain hara makro diperlukan juga hara mikro yang diperlukan dalam jumlah yang sangat kecil seperti Fe (besi), Mn (mangan), Cu (tembaga), Zn (Seng), B (boron), Mo (Molybdenum, V (vanadium) dan Co (kobal).

➤ Suhu

Suhu berpengaruh langsung karena peningkatan suhu sampai batas tertentu akan menaikkan laju fotosintesis.

➤ Cahaya

Cahaya matahari mutlak dibutuhkan untuk fotosintesis. Cahaya merupakan sumber energi dalam proses fotosintesis yang berguna untuk pembentukan senyawa karbon organik.

➤ pH

Derajat keasaman merupakan gambaran jumlah atau aktivitas ion hydrogen di dalam perairan. Variasi pH dapat mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan mikroalga dalam beberapa hal, antara lain mengubah keseimbangan karbon organik, mengubah ketersediaan nutrien dan dapat mempengaruhi fisiologis sel.

2.3 Karbondioksida (CO₂)

Karbondioksida merupakan salah satu gas atmosfer yang dapat menyerap gelombang panas atau biasa disebut Gas Rumah Kaca (GRK). Karbondioksida dihasilkan dari pernafasan, pembusukan dan pembakaran. Gas-gas atmosfer yang dapat menyerap gelombang panas tersebut menyebabkan suhu atmosfer bumi naik dan menjadi salah satu permasalahan lingkungan yaitu pemanasan global. Proses penyerapan gelombang panas oleh gas atmosfer disebut sebagai Efek Rumah Kaca (EFK) (Purwaningsih, 2007).

Karbondioksida (CO₂) di atmosfer berasal proses alamiah makhluk hidup (manusia, hewan dll), pembakaran bahan bakar fosil (minyak bumi, batu bara, gas bumi), kebakaran hutan dan proses lainnya. Konsentrasi karbondioksida (CO₂) di bumi mengalami peningkatan signifikan, rata-rata 15 ppm per tahun. Peningkatan jumlah karbondioksida di atmosfer seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk di dunia dan pertumbuhan ekonomi (Santoso, 2012).

Menurut Rahmi *et al.*, (2010), gas CO₂ dalam udara murni berjumlah 0,03%, bila melebihi toleransi dapat mengganggu pernapasan dan gas CO₂ yang terlalu berlebihan di bumi dapat mengikat panas matahari sehingga suhu bumi panas. Pemanasan global di bumi akibat CO₂ disebut juga sebagai efek rumah kaca. Karbondioksida (CO₂) yang berlebih di udara dapat mengurangi kesegaran dan kebersihan udara yang kita hirup. Karbondioksida (CO₂) juga bisa menjadi polusi udara apabila kadarnya dalam udara berlebih, dapat mengakibatkan gangguan kesehatan. Sehingga diperlukan upaya untuk mengurangi kadar karbondioksida yang efisien dan efektif. Kandungan gas karbondioksida yang ada di atmosfer dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Persentase Volume Gas Karbondioksida (CO₂) di Atmosfer (Cole, 1988 dalam Effendi, 2003)

Gas	Persentase (%)
1. Nitrogen (N ₂)	78,084
2. Oksigen (O ₂)	20,946
3. Argon (Ar)	0,934
4. Karbondioksida (CO ₂)	0,033

Menurut Zumarita (2011), karbondioksida merupakan senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon, berbentuk gas pada keadaan suhu dan tekanan standar dan berada di atmosfer bumi, karbondioksida adalah gas yang tidak berwarna dan berbau. Karbondioksida dihasilkan oleh semua hewan, tumbuh-tumbuhan, fungi dan mikroorganisme pada proses respirasi dan digunakan oleh tumbuhan pada proses fotosintesis. Pada proses fotosintesis ini tumbuh-tumbuhan dapat mengurangi kadar karbondioksida dengan menggunakan energi cahaya untuk memproduksi materi organik dengan mengkombinasi karbondioksida dengan air.

Menurut Affandi (2011), karbondioksida yang terdapat di perairan berasal dari berbagai sumber, yaitu sebagai berikut :

1. Difusi dari atmosfer. Karbondioksida yang terdapat di atmosfer mengalami difusi secara langsung ke dalam air.
2. Air hujan, air hujan yang jatuh ke permukaan bumi secara teoritis memiliki kandungan karbondioksida sebesar 0,55-0,60 mg/liter, berasal dari karbondioksida yang terdapat di atmosfer.
3. Air yang melewati tanah organik. Tanah organik yang mengalami dekomposisi mengandung relatif banyak karbondioksida sebagai hasil proses dekomposisi. Karbondioksida hasil dekomposisi ini akan larut ke dalam air.

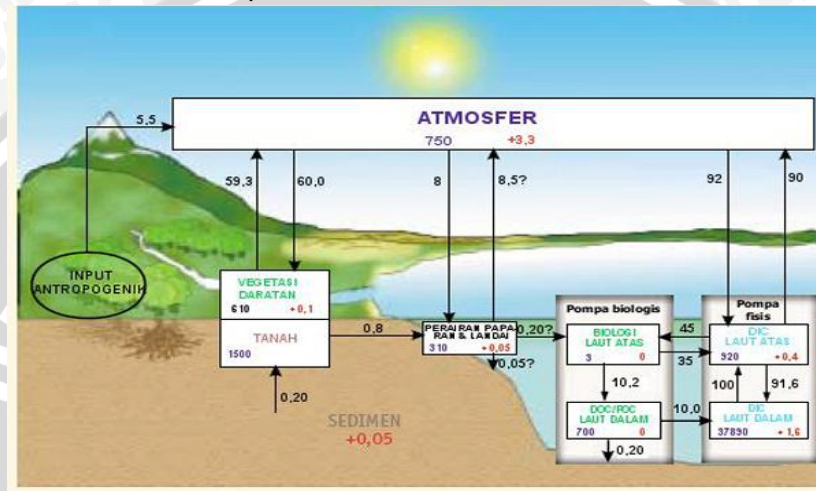
4. Respirasi tumbuhan, hewan dan bakteri aerob maupun anaerob. Respirasi tumbuhan dan hewan mengeluarkan karbondioksida. Dekomposisi bahan organik pada kondisi aerob menghasilkan karbondioksida sebagai salah satu produk akhir. Dekomposisi anaerob karbohidrat pada bagian dasar perairan juga menghasilkan karbondioksida sebagai sebagai produk akhir.

Di atmosfer terdapat kandungan karbondioksida (CO_2) sebanyak 0,03 %. Karbondioksida dimanfaatkan oleh tumbuhan untuk berfotosintesis dan menghasilkan oksigen yang nantinya akan digunakan oleh manusia dan hewan untuk berespirasi. Dinamika karbon di alam dapat dijelaskan secara sederhana dengan siklus karbon. Siklus karbon adalah siklus biogeokimia yang mencakup pertukaran atau perpindahan karbon diantara biosfer, pedosfer, geosfer, hidrosfer dan atmosfer bumi. Siklus karbon adalah suatu proses yang rumit karena setiap proses saling mempengaruhi proses lainnya (Sutaryo, 2009).

Menurut Effendi (2003), sumber karbon utama di bumi adalah atmosfer dan perairan, terutama lautan. Laut mengandung karbon lima puluh kali lebih banyak daripada karbon di atmosfer. Perpindahan karbon di atmosfer ke laut terjadi melalui proses difusi. Karbon yang terdapat di atmosfer dan perairan diubah menjadi karbon anorganik melalui proses fotosintesis, kemudian masuk kembali ke atmosfer melalui proses respirasi dan dekomposisi yang merupakan proses biologis makhluk hidup.

Menurut Balino *et al.*, (2000), peredaran karbon dalam berbagai bentuk organik dan anorganiknya, dan transfer karbon dari permukaan ke laut dalam dibangun oleh proses-proses fisis dan biologis. Proses-proses ini biasanya disebut sebagai pompa fisis (physical pump atau pompa daya larut) dan pompa biologis (biological pump). Kedua pompa ini bertindak meningkatkan konsentrasi CO_2 di dalam interior laut. Penyerapan karbon oleh fitoplankton dan ekspornya

ke interior dan sedimen laut disebut pompa biologis. Fotosintesis adalah proses dimana fitoplankton mengambil karbon; laju fotosintesis dikenal sebagai produktivitas primer. Fitoplankton adalah mesin bagi pompa biologis. Pompa fisis dibangkitkan oleh sirkulasi balik laut yang lambat dan lebih mudah terlarutnya CO₂ di air dingin daripada di air hangat, karena daya larut CO₂ bertambah jika suhu turun. Siklus karbon dapat dilihat dari Gambar 4.



Gambar 4. Siklus Karbon

Gambar 4 merupakan fluks tahunan rata-rata antara kolam-kolam karbon global yang diberikan dalam petagram karbon per tahun (pG C y⁻¹) (1 petagram, Pg = 1 gigaton = 100 juta ton). Angka dengan warna biru pada setiap kotak menyatakan inventaris global dalam Pg C, sementara itu angka dengan warna merah menunjukkan rata-rata penambahan tahunan inventaris akibat input antropogenik.

2.4 Biogas

Biogas adalah gas mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara (Rahayu, 2009). Biogas merupakan energi yang layak digunakan baik secara teknis, sosial maupun ekonomis terutama untuk mengatasi masalah energi di pedesaan (Mara, 2012).

Biogas merupakan teknologi pembentukan energi dengan memanfaatkan limbah, seperti limbah pertanian, limbah peternakan dan limbah manusia. Prinsip dasar teknologi biogas adalah proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa udara (*anaerob*) untuk menghasilkan campuran dari beberapa gas, diantaranya metana dan CO₂ (Wahyuni, 2011). Biogas dihasilkan melalui proses fermentasi limbah organik seperti sampah, sisa-sisa makanan, kotoran hewan dan limbah industri makanan. Adapun unsur-unsur yang terkandung dalam biogas yaitu gas metana (CH₄), gas karbondioksida (CO₂), gas oksigen (O₂), gas hidrogen sulfida (H₂S), gas hidrogen (H₂) dan gas karbon monoksida (CO). Bila kadar CH₄ tinggi maka biogas tersebut akan memiliki nilai kalor yang tinggi. Sebaliknya jika kadar CO₂ yang tinggi maka akan mengakibatkan nilai kalor biogas tersebut rendah. Maka dari itu untuk meningkatkan nilai kalor biogas maka kadar CO₂ harus dikurangi atau rendah. (Hamidi *et al.*, 2011). Salah satu upaya yang dapat dilakukan dalam menurunkan kandungan CO₂ dalam biogas adalah dengan memanfaatkan kemampuan mikroalga dalam menyerap karbondioksida melalui fotosintesis.

Menurut Hanif (2010), kotoran sapi merupakan kotoran yang paling efisien digunakan sebagai penghasil biogas, karena setiap 10-20 kg kotoran perhari dapat menghasilkan 2 m³ biogas. Dimana energi yang terkandung dalam 1m³ biogas sebesar 2000-4000 kkal atau dapat memenuhi kebutuhan memasak bagi satu keluarga (4-5 orang) selama 3 jam.

Menurut Harahap *et al.*, (1978) dalam Haryati (2006), komposisi gas dalam biogas dari kotoran ternak dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi gas (%) dalam biogas yang berasal dari kotoran ternak dan sisa pertanian.

Jenis gas	Kotoran Sapi	Campuran kotoran ternak dan sisa pertanian
Metana (CH ₄)	65,7	55-70
Karbondioksida (CO ₂)	27,0	27-45
Nitrogen (N ₂)	2,3	0,5-3,0
Karbonmonoksida (CO)	0,0	0,1
Oksigen (O ₂)	0,1	6,0
Propana (C ₃ H ₈)	0,7	-
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	Tidak terukur	Sedikit sekali
Nilai Kalor (kkal/m ³)	6513	4800-6700

Menurut Haryati (2006), biogas merupakan sumber *renewal energy* yang mampu menyumbangkan andil dalam usaha memenuhi kebutuhan bahan bakar. Bahan baku sumber energi ini merupakan bahan *non-fossil*, umumnya adalah limbah atau kotoran ternak. Biogas merupakan suatu pengganti yang unggul untuk menggantikan bahan bakar minyak atau gas alam. Di banyak negara berkembang, kotoran ternak, limbah pertanian dan kayu sebagai bahan bakar. Polusi asap yang diakibatkan oleh pembakaran bahan bakar tersebut mengakibatkan masalah yang paling menjadi perhatian yaitu emisi metan dan karbondioksida yang menyebabkan efek rumah kaca dan mempengaruhi perubahan iklim global.

2.5 Fotosintesis

Menurut Rianawaty (2009), proses pembuatan makanan pada tumbuhan hijau disebut sebagai proses fotosintesis. Pengertian fotosintesis dalam kamus Biologi adalah peristiwa penggabungan karbondioksida dan air secara kimiawi dalam klorofil untuk membentuk karbohidrat dengan bantuan cahaya matahari

sebagai sumber energi. Fotosintesis menggunakan energi cahaya matahari untuk menyusun glukosa. Bahan baku fotosintesis adalah air (H_2O) dan karbondioksida (CO_2). Pigmen hijau yang disebut klorofil digunakan untuk mengubah energi sinar matahari menjadi energi kimia. Hasil fotosintesis berupa glukosa dan oksigen.

Fotosintesis merupakan proses penyusunan zat dengan menggunakan energi matahari. Hanya golongan tumbuhan dan beberapa jenis bakteri saja yang mampu menangkap energi matahari dan menggunakannya untuk proses penyusunan zat. Proses inilah yang kemudian disebut fotosintesis. Melalui fotosintesis, tumbuhan menyusun zat berupa zat gula. Zat gula disusun dari bahan dasar yaitu berupa H_2O dan CO_2 , sehingga fotosintesis ini juga sering disebut asimilasi karbon (Suyitno, 2005).

Fotosintesis menggambarkan sebuah proses yang unik dari konversi energi sinar matahari. Dalam prosesnya, senyawa anorganik dan energi cahaya di konversi menjadi senyawa organik oleh organisme fotoautotrof. Fotosintesis dapat digambarkan sebagai reaksi reduksi oksidasi yang dikendalikan oleh energi cahaya yang diserap oleh klorofil, dimana karbondioksida dan air dikonversi menjadi karbohidrat dan oksigen. Konversi tersebut dapat dibagi menjadi dua tahap, yaitu reaksi terang (light reaction) dan reaksi gelap (dark reaction). Pada tahap reaksi terang yang berlangsung dalam membran fotosintesis, energi cahaya dikonversi menjadi energi kimia yang terdiri dari $NADPH_2$ dan ATP. Pada tahap reaksi gelap, yang berlangsung dalam stroma, $NADPH_2$ dan ATP dimanfaatkan untuk mengubah karbondioksida menjadi karbohidrat (Abdurrachman *et al.*, 2013).

Proses fotosintesis berlangsung dalam 2 proses. Proses pertama merupakan proses yang tergantung pada cahaya matahari (Reaksi Terang), yaitu reaksi yang membutuhkan energi cahaya matahari langsung dan molekul-

molekul energi cahaya tersebut belum dapat digunakan untuk proses berikutnya. Pada reaksi terang ini energi cahaya matahari yang belum dapat digunakan yaitu dalam bentuk energi kimia. Proses yang kedua adalah proses yang tidak membutuhkan cahaya (Reaksi Gelap) yang terjadi ketika produk dari reaksi terang digunakan untuk membentuk ikatan kovalen C-C dari karbohidrat. Pada proses ini, CO₂ atmosfer (atau CO₂ dari air untuk organisme akuatik/marine) ditangkap dan dimodifikasi oleh penambahan hidrogen menjadi bentuk karbohidrat (Utomo, 2007).

Alasan menggunakan mikroalga sebagai agen untuk mengurangi kadar CO₂ karena menurut Cole (1988) dalam Effendi (2003), 88% dari produksi fotosintesis di bumi ini disumbangkan oleh fotosintesis yang dilakukan oleh alga laut. Masuknya CO₂ ke dalam perairan sebagian digunakan oleh tanaman atau fitoplankton untuk proses fotosintesis.

2.6 Fotobioreaktor

Fotobioreaktor merupakan bioreaktor yang digunakan untuk kultivasi mikroorganisme fotosintetik. Komponen utama yang membedakan adalah adanya sistem pencahayaan buatan dengan intensitas cahaya tertentu. Berdasarkan letak sumber cahaya relatif terhadap tabung reaktor, fotobioreaktor dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu fotobioreaktor dengan sistem pencahayaan dari luar tabung (external illumination) dan fotobioreaktor dengan sistem pencahayaan dari dalam tabung (internal illumination). Perbedaan sistem pencahayaan ini disebabkan oleh perbedaan material atau bahan dasar reaktor. Illuminasi eksternal digunakan untuk fotobioreaktor yang tabungnya berasal dari bahan dengan konduktivitas cahaya tinggi seperti gelas, akrilik, polikarbonat, fleksigelas dan bahan-bahan polimer lainnya. Illuminasi internal digunakan untuk

fotobioreaktor yang bahannya terbuat dari material tidak tembus cahaya seperti besi, baja, baja nirkarat dan bahan logam lainnya (Aristiawan, 1999).

Menurut Loubiere (2009) dalam Kohar (2010), fotobioreaktor adalah reaktor yang beroperasi dengan bantuan cahaya, baik cahaya matahari maupun cahaya lampu. Cahaya dibutuhkan untuk membantu jalannya proses fotosintesis, karena objek kultur adalah biota yang membutuhkan cahaya dalam siklus hidupnya (misalnya tumbuhan, khususnya mikroalga atau fitoplankton).

Fotobioreaktor merupakan wadah atau tempat mereaksikan mikroorganisme, dimana cahaya matahari masih dapat menembus masuk ke dalamnya. Alat ini digunakan sebagai reaktor eksperimen untuk mengetahui kemampuan fitoplankton dalam menyerap gas CO₂. Selain itu juga berfungsi untuk menurunkan gas CO₂ dari sumbernya dan menghasilkan gas O₂ (Idris, 2012).

Menurut Daniyati *et al.*, (2012), Fotobioreaktor merupakan bioreaktor yang digabungkan dengan sumber cahaya tertentu untuk asupan energi cahaya ke dalam reaktor. Fotobioreaktor merupakan sistem tertutup yang lebih mudah dikontrol dan disesuaikan desainnya dengan lokasi pemasangan, dan lebih bisa mencegah kontaminasi, mencegah penguapan air dan CO₂, dan tidak memerlukan area yang luas. Produktivitas biomassa yang tinggi bisa dicapai dan kontaminasi lebih mudah dihindari dengan menggunakan fotobioreaktor.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Materi Penelitian

Materi dalam penelitian ini adalah *Chlorella vulgaris*, *Chaetoceros gracilis* dan kandungan gas karbondioksida (CO₂). Parameter utama yang diukur yaitu penyerapan gas karbondioksida (CO₂) dari biogas oleh mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis*. Parameter kualitas air yang diukur antara lain suhu, salinitas, pH, karbondioksida terlarut, oksigen terlarut, nitrat dan orthofosfat.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini beserta fungsinya dapat dilihat pada Lampiran 1 dan Lampiran 2.

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan di dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Menurut Darmono dan Hasan (2002), metode eksperimen merupakan kajian empiris dan menggunakan analisis dengan bantuan statistik untuk menguji hipotesis. Metode eksperimen dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan efektivitas penyerapan karbondioksida oleh *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis*.

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial, terdapat 2 kombinasi perlakuan yaitu jenis mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* sebagai faktor A kemudian kelimpahan mikroalga sebagai faktor B. Faktor A (jenis mikroalga) terdiri dari 2 taraf (A₁ = *Chlorella vulgaris* dan A₂ = *Chaetoceros gracilis*)

sedangkan faktor B (kelimpahan mikroalga) terdiri dari 3 taraf ($B_1 = 1 \times 10^6$ sel/ml; $B_2 = 2 \times 10^6$ sel/ml dan $B_3 = 3 \times 10^6$ sel/ml) sehingga kombinasi taraf faktor $2 \times 3 = 6$ kombinasi perlakuan dengan 3 ulangan, sehingga didapatkan rancangan pada Tabel 3. Untuk menentukan kelimpahan digunakan metode pengenceran dan menentukan taraf tengah dari faktor B berdasarkan penelitian Prihantini *et al.*, (2005), bahwa mikroalga dapat menyerap karbondioksida dengan baik pada kelimpahan 2×10^6 sel/ml.

Tabel 3. Kombinasi Perlakuan Jenis dan Kelimpahan Mikroalga RAL Faktorial

Jenis Alga	Kelimpahan Mikroalga	1×10^6 sel/ml (B_1)	2×10^6 sel/ml (B_2)	3×10^6 sel/ml (B_3)
	<i>Chlorella vulgaris</i> (A_1)		A_1B_1	A_1B_2
<i>Chaetoceros gracilis</i> (A_2)		A_2B_1	A_2B_2	A_2B_3

Keterangan :

$A_1B_1 = Chlorella vulgaris$ 1×10^6 sel/ml

$A_1B_2 = Chlorella vulgaris$ 2×10^6 sel/ml

$A_1B_3 = Chlorella vulgaris$ 3×10^6 sel/ml

$A_2B_1 = Chaetoceros gracilis$ 1×10^6 sel/ml

$A_2B_3 = Chaetoceros gracilis$ 2×10^6 sel/ml

$A_2B_2 = Chaetoceros gracilis$ 3×10^6 sel/ml

Metode analisis yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah model umum dari Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial yaitu:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \sum k(ij)$$

Dengan $I = 1, 2, \dots, a$
 $J = 1, 2, \dots, b$
 $K = 1, 2, \dots, n$

Keterangan:

- Y_{ijk} = variabel respon (Penyerapan Karbondioksida) karena jenis mikroalga yang berbeda dan kelimpahan mikroalga yang berbeda.
 μ = rata-rata yang sebenarnya (berharga konstan)
 A_i = efek taraf ke i pada kolom jenis mikroalga
 B_j = efek taraf ke j pada kolom kelimpahan
 AB_{ij} = efek interaksi antara jenis mikroalga yang berbeda terhadap kelimpahan mikroalga yang berbeda
 $\epsilon k(ij)$ = efek unit eksperimen ke k dalam kombinasi perlakuan (ij) (*random error*).

3.4 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan dua tahap yaitu, yang pertama dilakukan kultur mikroalga (*Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis*) dan yang kedua yaitu pengikatan karbondioksida (CO_2) oleh *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* selama 8 hari. Penelitian dilakukan selama 8 hari karena mengikuti pola pertumbuhan mikroalga.

3.4.1 Kultur *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis*

a. Sterilisasi Alat dan Media

Alat dan media yang akan digunakan disterilisasi terlebih dahulu sebelum melakukan kultur mikroalga untuk membunuh mikroorganisme yang dapat mengancam keberlangsungan hidup mikroalga. Sebelum melakukan kultur mikroalga, pada penelitian ini kegiatan sterilisasi terbagi menjadi dua yaitu sterilisasi alat dan sterilisasi bahan. Langkah-langkah yang dilakukan pada sterilisasi alat menurut Suarantika *et al.*, (2013), terbagi menjadi tiga antara lain :

a. Sterilisasi kering pada oven

- Membungkus dengan kertas bekas alat-alat yang akan disterilisasi.
- Memasukkan alat-alat yang akan disterilisasi ke dalam oven.

b. Sterilisasi basah pada autoclaf elektrik

- Mengisi wadah autoklaf dengan alat-alat yang akan disterilkan.
- Menutup rapat autoklaf.
- Menyalakan autoklaf, diatur *timer* dengan waktu minimal 2 jam pada suhu 121°C.

c. Sterilisasi basah pada autoclaf manual

- Mengisi autoklaf dengan air hingga dasar yang berlubang.
- Meletakkan autoklaf diatas tungku kompor gas kemudian menyalakannya.
- Menutup rapat alat-alat yang akan disterilkan dengan kertas.
- Memasukkan alat-alat yang akan disterilkan kedalam autoklaf, kemudian menutup autoklaf dengan mengeraskan sekrupnya.
- Membiarkan keran pengatur tempat keluar uap air tetap keluar uap air tetap terbuka hingga semua udara terdesak keluar kemudian menutup keran hingga tekanan uap didalam autoklaf naik sampai 2 atm dan suhu 121°C selama 15-30 menit.
- Setelah sterilisasi selesai, menunggu autoklaf hingga dingin sebelum membukanya dan membuka keran air secara perlahan-lahan.

Sterilisasi bahan dilakukan pada media kultur yaitu air laut. Menurut Isnansetyo *et al.*, (2005) dalam Nugraha (2012), cara untuk sterilisasi air laut yaitu :

1. Air laut disaring menggunakan kertas saring.
2. Air laut diberi klorin sebesar 60 ppm
3. Diberi aerasi selama 24 jam
4. Diberi Natrium thiosulfat sebesar 20 ppm untuk menetralkan klorin

b. Kultur Mikroalga (*Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis*)

Menurut Wibowo (2008), kultur murni merupakan rangkaian dari kegiatan pengadaan pakan alami atau kultur plankton. Bibit kultur murni diperoleh dari hasil isolasi atau dari hasil kultur dalam media agar. Plankton hasil biakan atau kultur dalam media agar, dipindahkan dalam tabung reaksi volume 10-15 ml, kemudian dikultur secara bertingkat kedalam erlenmeyer 100 ml, 500ml, 1000ml, 2000ml dan volume 5-20 liter. Pada penelitian ini bibit kultur mikroalga diperoleh dari Laboratorium Pakan Alami Balai Budidaya Air Payau Situbondo, Jawa Timur. Langkah-langkah kultur murni adalah sebagai berikut :

- Kultur diawali dengan mempersiapkan air laut yang sudah steril dengan kadar garam 28‰.
- Air dimasukkan kedalam botol-botol atau toples kultur
- Ditambah pupuk cair, vitamin, silikat sebanyak 1ml/liter
- Media diaerasi dan dibiarkan sebentar, sampai pupuk tercampur merata.
- Bibit dimasukkan sebanyak $\frac{1}{3}$ bagian atau $\frac{1}{4}$ bagian.
- Untuk mencegah kontaminasi dari udara, botol kultur ditutup dengan kapas atau sterofoam atau alumunium foil.
- Agar plankton tumbuh dengan baik, penempatan wadah kultur harus cukup mendapat cahaya.

- Setelah 4-5 hari masa pemeliharaan, plankton dapat dipanen dan dikultur pada wadah yang lebih besar.

3.4.2 Pengikatan Karbondioksida oleh *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis*

Pengikatan karbondioksida oleh mikroalga dilakukan dengan cara mengalirkan biogas yang mengandung karbondioksida menuju reaktor yang telah berisi *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* melalui pipa masukan, kemudian biogas yang telah melalui larutan tersebut diaerasi beberapa jam (type batch). Sebelumnya dilakukan sterilisasi reaktor dengan maksud mengantisipasi terjadinya kontaminasi dengan mikroalga lain. Biogas yang mengandung karbondioksida, sebelum dialirkan menuju reaktor diambil sampel untuk dianalisa kadarnya sebelum perlakuan. Proses yang digunakan dengan cara, reaktor yang sudah diisi dengan mikroalga serta pupuk dan vitamin dialiri karbondioksida dari bawah reaktor menggunakan *air pump*. Gas yang diambil berasal dari penampung karbondioksida yang terhubung dengan *air pump*. Kemudian gas yang sudah melewati mikroalga akan keluar melalui kran out put yang terdapat pada bagian atas reaktor untuk dianalisa. Kandungan karbondioksida (CO₂) sebelum dan sesudah dialirkan ke dalam kultur mikroalga dapat diketahui dengan melakukan pengujian di Laboratorium Motor Bakar, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Alat yang digunakan adalah plastik sebagai wadah gas karbondioksida output dari reaktor yang akan dibawa ke laboratorium dan dianalisa dengan menggunakan "gas analyzer".

a. Persiapan Penelitian

- Menyiapkan reaktor untuk *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* dengan membersihkan menggunakan alcohol 70%

- Menyiapkan *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* dan memasukkan pupuk dan vitamin ke dalam media. Bibit *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* yang diambil dari stok dihitung kelimpahan tebarnya dengan rumus menurut Boyd (1982) :

$$N_1 \times V_1 = N_2 \times V_2$$

Keterangan : N_1 : Kelimpahan awal

V_1 : Volume stok awal

N_2 : Kelimpahan kultur yang dihendaki

V_2 : Volume kultur yang dihendaki

- Merangkai alat fotobioreaktor dan memastikan tidak ada kebocoran pada alat.

b. Pelaksanaan Penelitian

- Memasukkan *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* ke dalam reaktor.
- Menyalakan *air pump*.
- Membuka kran keluaran dari tabung gas dan mengambil gas karbondioksida untuk dianalisa kandungan CO_2 dan O_2 serta mengambil *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* untuk diuji kelimpahannya pada jam ke-0.
- Mengulangi perlakuan diatas untuk hari ke-2, ke-4, ke-6 dan ke-8.
- Menganalisis kandungan CO_2 sebelum masuk dan sesudah keluar sistem pemurnian.
- Mencatat data pengujian yang diperoleh.

3.4.3 Perhitungan Kelimpahan Mikroalga

Kelimpahan mikroalga dapat dihitung dengan menggunakan alat haemocytometer. Pengamatan kelimpahan mikroalga pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Keamanan Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan dan

Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya Malang. Menurut Musa *et al.*, (2013), cara penggunaan alat Haemocytometer yaitu dengan mengambil sampel dengan pipet tetes steril, diteteskan sekitar 0,1-0,5 ml pada haemocytometer, kemudian diamati mealui mikroskop. Pehitungan kelimpahannya menggunakan rumus :

$$\text{Jumlah} \frac{\text{sel}}{\text{ml}} = \frac{\text{Jumlah sel dalam 4 kotak}}{\text{jumlah blok (= 4)}} \times 10.000$$

3.4.4 Analisis Parameter Kualitas air

a. Suhu

Adapun prosedur pengukuran suhu dengan menggunakan alat thermometer Hg pada perairan menurut Bloom (1998) adalah :

- Menyiapkan thermometer Hg, lalu masukkan ke dalam perairan dengan posisi membelakangi matahari dan thermometer tidak menyentuh tangan.
- Menunggu selama ± 2 menit.
- Membaca skala di perairan.
- Mencatat hasilnya dalam $^{\circ}\text{C}$

b. Salinitas

Prosedur pengukuran salinitas menurut Kordi dan Tancung (2007), adalah :

- Membuka penutup refraktometer dan menetesinya dengan aquades serta menstandarkannya agar garis biru berhimpit dengan angka nol.
- Membersihkan kaca obyek refraktometer dan menetesi air sampel secukupnya.
- Melihat nilai salinitasnya yang tertera pada skala refraktometer.
- Mencatat hasilnya.

c. pH

Prosedur pengukuran pH menurut Rizky *et al*, (2009), yaitu:

- Menyiapkan kertas pH universal
- Memasukkan sebagian kertas universal ke dalam air yang di uji.

Dibiarkan beberapa saat dan dibandingkan dengan warna pH pada kotak pH universal.

- Mencatat nilai pH yang diperoleh.

d. Oksigen Terlarut (DO)

Menurut buku petunjuk pemakaian DO meter, prosedur pengukuran suhu adalah:

- (1) Membilas probe dengan dengan deionised atau air suling sebelum digunakan untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada ujung probe. Jika tidak ada, rendamlah pada air kran selama 30 menit.
- (2) Menyalakan DO meter. Nilai DO terletak pada bagian atas layar.
- (3) Mencilupkan probenya pada sampel dan biarkan beberapa saat sampai stabil. Catatan: ketika mencelupkan probe pada sampel, yakinkan bahwa ujung probenya tercelup semua. Yakinkan jangan sampai ada gelembung karena dapat menyebabkan kesalahan dalam pembacaan.
- (4) Membaca nilai suhu ketika DO meter sudah stabil. Akan muncul kata "READY", dan sampel sudah bisa dibaca nilainya.
- (5) Menekan tombol "HOLD" untuk mengunci nilai Suhu yang terbaca. Tekan "HOLD" lagi untuk melepaskan kuncinya.

e. Karbondioksida Terlarut

Prosedur pengukuran karbondioksida terlarut menurut Bloom (1998) sebagai berikut :

- Memasukkan air sampel sebanyak 25 ml ke dalam erlenmeyer.
- Menambahkan 2 - 3 tetes indikator PP.
- Bila air berubah warna menjadi merah muda, berarti perairan tersebut tidak mengandung CO₂ bebas.
- Bila air tidak berubah warna, maka harus dititrasi menggunakan Na₂CO₃ 0,0454 N sampai berubah warna menjadi merah muda (pink) untuk pertama kali.
- Mencatat volume (ml) titran yang telah dipakai.
- Menghitung kadar CO₂ bebas dengan rumus :

$$\text{CO}_2 \text{ bebas (mg/L)} = \frac{\text{ML (titran)} \times \text{N (titran)} \times 22 \times 1000}{\text{mL air sampel}}$$

f. Nitrat

Prosedur pengukuran kandungan nitrat menurut Subarijanti (2005) adalah :

- Menyaring 25 ml air sampel dan tuangkan ke dalam cawan porselin.
- Memanaskan cawan berisi sampel sampai kering dengan hati-hati dan didinginkan setelah berbentuk kerak.
- Menambahkan 1 ml asam fenol disulfonik, aduk dengan spatula.
- Mengencerkan 10 ml aquadest.
- Menambahkan dengan meneteskan NH₄OH (1:1) sampai terbentuk warna.

- Mengencerkan dengan aquadest sampai 25 ml. Kemudian masukkan ke dalam cuvet.
- Membandingkan dengan larutan standar pembanding yang telah dibuat, baik secara visual atau dengan spektrofotometer (panjang gelombang 410 μm).

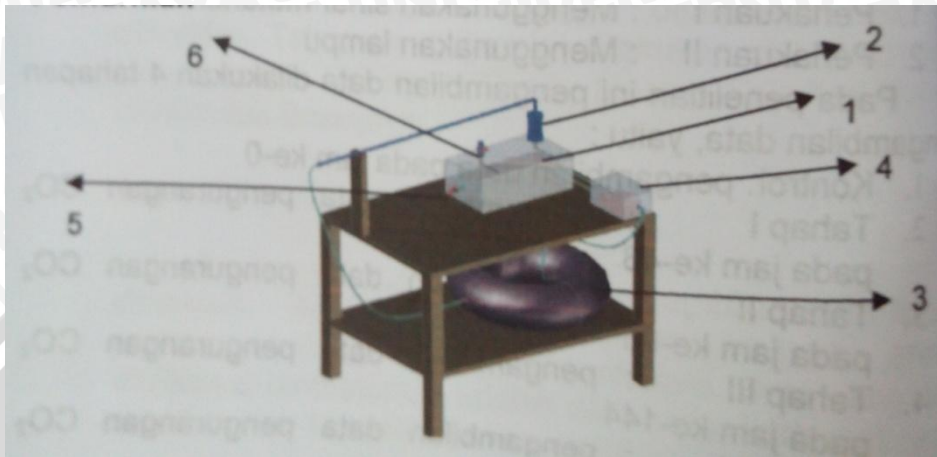
g. Orthofosfat

Prosedur pengukuran orthofosfat menurut Subarijanti (2005) sebagai berikut :

- Memasukkan 25 ml air sampel ke dalam beaker glass dengan menggunakan gelas ukur.
- Menambahkan 1 ml ammonium molybdat-asam sulfat ke dalam masing-masing larutan standar yang telah dibuat dan dihomogenkan.
- Menambahkan 2 tetes larutan SnCl_2 dan kocok. Warna biru akan timbul (10-12 menit) sesuai dengan kadar fosfornya.
- Menuangkan 25 ml air sampel ke dalam erlenmeyer berukuran 50 ml.
- Menambahkan 1 ml amonium molybdat dan kocok.
- Menambahkan 2 tetes SnCl_2 dan kocok.
- Membandingkan warna biru air sampel dengan larutan standar, baik secara visual atau dengan spektrofotometer (panjang gelombang 690 μm).

3.5 Rancangan Fotobioreaktor

Fotobioreaktor yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 5. Rancangan Fotobioreaktor

Keterangan :

1. Reaktor kaca sebagai tempat mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis*.
2. *Silica tube* yang berfungsi untuk menyerap uap air yang dihasilkan.
3. *Gas Holder* yang berfungsi untuk menampung biogas.
4. *Air pump* yang digunakan untuk mengalirkan biogas ke reaktor.
5. Keluaran biogas untuk pengambilan sampel.
6. Input mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis*.

3.6 Efektivitas Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂) oleh Mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis*

Efektivitas penyerapan gas karbondioksida merupakan tingkat keberhasilan mikroalga dalam menyerap gas karbondioksida dari biogas pada jenis mikroalga yang berbeda yakni *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* dengan kelimpahan yang berbeda. Efektivitas penyerapan dapat diukur menggunakan rumus :

$$\frac{\text{Perlakuan Awal} - \text{Perlakuan Akhir}}{\text{Perlakuan Awal}} \times 100 \%$$

3.7 Analisis Data

Data yang diperoleh dari penelitian, dianalisis secara statistik dengan menggunakan analisis keragaman (ANOVA) sesuai dengan rancangan yang digunakan yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial. Analisis keragaman (ANOVA) digunakan untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap respon yang diukur dengan uji F taraf 5% dan 1%. Jika terdapat hasil yang berbeda nyata maka dilakukan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5% dan 1% untuk mengetahui penyerapan terbesar, yaitu penyerapan *Chlorella vulgaris* sp dan *Chaetoceros gracilis* terhadap karbondioksida (CO₂).

Menurut Setiawan (2009) dalam Rosita *et al.*, (2013), Jika pada hasil analisis sidik ragam diperoleh nilai F hitung > F tabel 0,5 maka perlu dilakukan uji lanjut menggunakan uji Beda Nyata Terkecil (BNT). Menurut Hanafiah (2011), Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) digunakan untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan sehingga didapatkan urutan perlakuan terbaik dengan menggunakan rumus:

$$SED = \sqrt{\frac{2x KT acak}{r}}$$

BNT 5% = t tabel 5 % (db acak) x SED

BNT 1% = t tabel 1% (db acak) x SED

Kemudian dibuat tabel BNT yang merupakan tabel selisih harga rata-rata terbesar → terkecil atau sebaliknya, tergantung parameter yang diamati.

Selanjutnya dibandingkan dengan nilai BNT 5% dan 1% dengan ketentuan:

- Bila selisih < BNT 5% → n.s (*non significant*), berarti tidak berbeda nyata
- Bila BNT 5% < selisih < BNT 1% → * → berarti berbeda nyata
- Bila selisih BNT > 1% → ** → berarti berbeda sangat nyata

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pertumbuhan Mikroalga dan Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyerapan gas karbondioksida (CO₂) dan pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* memiliki hubungan korelasi negatif, dimana penurunan konsentrasi gas karbondioksida (CO₂) diikuti peningkatan kelimpahan mikroalga yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Hasil Rata-rata Kelimpahan Mikroalga dan Konsentrasi Gas Karbondioksida (CO₂)

Parameter	Perlakuan	Lama Hari				
		0	2	4	6	8
Kelimpahan (x10 ⁶ sel/ml)	A ₁ B ₁	1,19	1,72	4,93	3,97	1,46
	A ₁ B ₂	2,09	2,73	6,95	5,06	1,98
	A ₁ B ₃	3,32	4,79	7,95	5,64	2,44
	A ₂ B ₁	1,38	2,16	3,38	8,06	3,00
	A ₂ B ₂	2,24	3,81	5,29	10,94	4,57
	A ₂ B ₃	3,42	4,56	6,4	13,14	3,57
Gas CO ₂ (%)	A ₁ B ₁	16,16	14,67	10,11	6,01	2,38
	A ₁ B ₂	16,16	13,33	10,17	5,8	2,61
	A ₁ B ₃	16,16	14,61	8,02	4,46	1,71
	A ₂ B ₁	16,16	13,34	8,73	4,52	1,15
	A ₂ B ₂	16,16	12,97	8,62	3,81	1,25
	A ₂ B ₃	16,16	13,19	7,95	3,86	0,89

Keterangan :

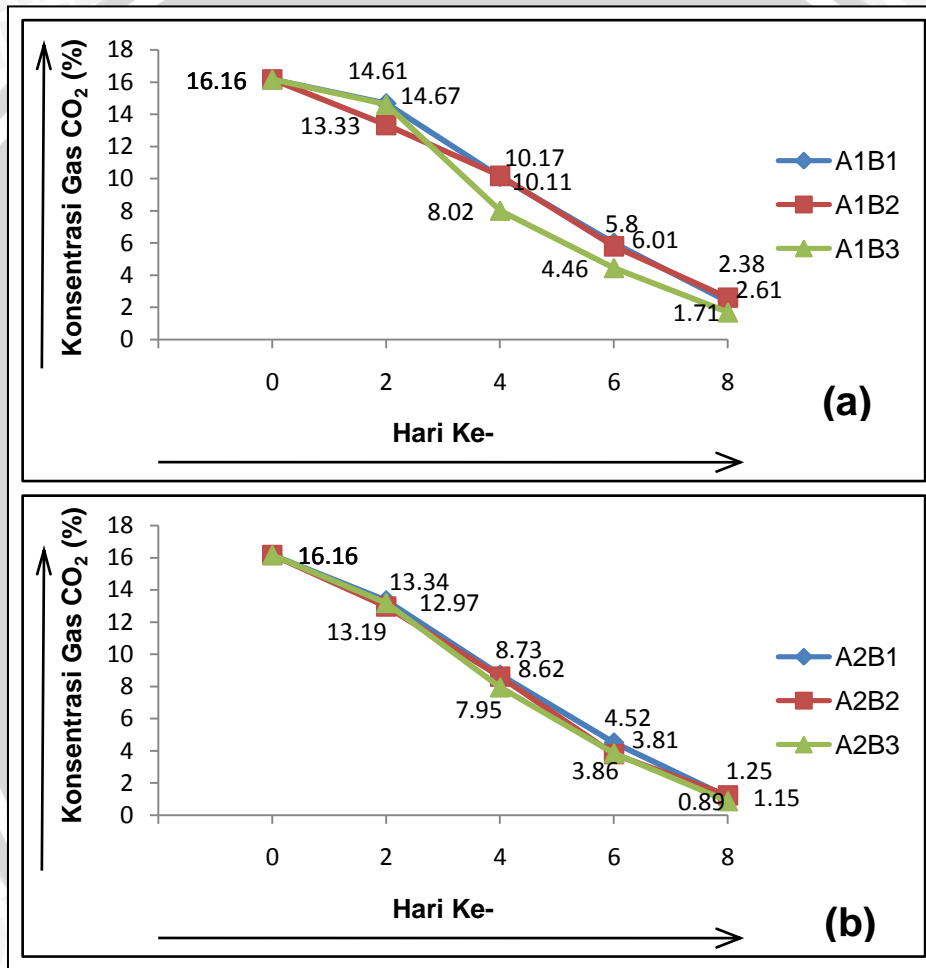
A₁B₁ = *Chlorella vulgaris* 1 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₁ = *Chaetoceros gracilis* 1 x 10⁶ sel/ml

A₁B₂ = *Chlorella vulgaris* 2 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₂ = *Chaetoceros gracilis* 2 x 10⁶ sel/ml

A₁B₃ = *Chlorella vulgaris* 3 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₃ = *Chaetoceros gracilis* 3 x 10⁶ sel/ml

4.2 Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂)

Konsentrasi Gas Karbondioksida (CO₂) yang telah diberi perlakuan pada Tabel 4. menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi gas karbondioksida (CO₂) yang terbesar pada kelimpahan 3 x 10⁶ sel/ml dengan konsentrasi berkurang menjadi 1,7 % dengan perlakuan *Chlorella vulgaris* dan 0,89 % dengan perlakuan *Chaetoceros gracilis*. Hasil penyerapan gas Karbondioksida (CO₂) dapat digambarkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Konsentrasi Gas Karbondioksida (CO₂) yang diserap oleh (a) *Chlorella vulgaris* dan (b) *Chaetoceros gracilis*.

Keterangan :

A₁B₁ = *Chlorella vulgaris* 1 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₁ = *Chaetoceros gracilis* 1 x 10⁶ sel/ml
A₁B₂ = *Chlorella vulgaris* 2 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₂ = *Chaetoceros gracilis* 2 x 10⁶ sel/ml
A₁B₃ = *Chlorella vulgaris* 3 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₃ = *Chaetoceros gracilis* 3 x 10⁶ sel/ml

Konsentrasi gas karbondioksida (CO_2) pada Gambar 6. menunjukkan bahwa pada perlakuan mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* mengalami penurunan dari hari ke 0 hingga hari ke 8. Konsentrasi awal gas karbondioksida (CO_2) pada perlakuan A_1B_1 (*Chlorella vulgaris* 1×10^6), A_1B_2 (*Chlorella vulgaris* 2×10^6) dan A_1B_3 (*Chlorella vulgaris* 3×10^6) pada hari ke 0 sebesar 16,16 % dan hari ke 4 berkurang menjadi 10,11 %; 10,17%; 8,02% hingga hari terakhir konsentrasi gas karbondioksida (CO_2) terus mengalami penurunan menjadi 2,38 %; 2,61 % dan 1,71 %. Konsentrasi awal gas karbondioksida (CO_2) pada perlakuan A_2B_1 (*Chaetoceros gracilis* 1×10^6), A_2B_2 (*Chaetoceros gracilis* 2×10^6) dan A_2B_3 (*Chaetoceros gracilis* 3×10^6) pada hari ke 0 juga sebesar 16,16 % dan hari ke 4 berkurang menjadi 8,73 %; 8,62%; 7,95% hingga hari terakhir konsentrasi gas karbondioksida (CO_2) terus mengalami penurunan menjadi 1,15 %; 1,25 % dan 0,89 %. Hasil yang didapatkan yang terus mengalami penurunan tersebut menunjukkan bahwa memanfaatkan mikroalga untuk penyerapan gas karbondioksida dari biogas kotoran sapi yang dialirkan kedalam fotobioreaktor adalah salah satu cara yang efektif dalam mengurangi konsentrasi karbondioksida. Hal ini didukung oleh Nurhayati *et al.*, (2013), mikroalga merupakan tanaman paling efisien dalam menangkap dan memanfaatkan energi matahari dan CO_2 . Mikroalga termasuk mikroorganisme fotosintetik yang memiliki kemampuan menggunakan sinar matahari dan karbondioksida untuk reproduksi sel-sel tubuhnya dan menghasilkan biomassa serta menghasilkan sekitar 50% oksigen yang ada di atmosfer (Abdurrachman *et al.*, 2013).

Berdasarkan hasil analisis ragam yang dapat dilihat pada Lampiran 5, dilakukan uji RAL faktorial untuk mengetahui adakah interaksi antara faktor yang diberikan sebagai perlakuan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Tabel Sidik Ragam Konsentrasi Gas Karbondioksida (CO₂)

S.K	DB	JK	KT	Fhit	Ftab	
					5%	1%
Perlakuan	5					
Faktor A	1	6,165	6,165	0,169*	4,26	7,82
Faktor B	2	1,973	0,986	0,027*	3,4	5,61
Faktor AB	2	0,397	0,198	0,005*	3,4	5,61
Galat	24	876,896	36,537			
Total	29					

* = berbeda nyata

** = berbeda sangat nyata

Hasil perhitungan berdasarkan Tabel 5. dengan menggunakan uji RAL faktorial diperoleh nilai F hitung pada faktor A = 0,169. Nilai F hitung tersebut lebih kecil dari F tabel 5% dan 1% jadi dapat diasumsikan bahwa tidak terdapat perbedaan yang nyata antara perlakuan jenis mikroalga yang berbeda yaitu *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* terhadap konsentrasi gas karbondioksida (CO₂). Nilai F hitung yang diperoleh pada faktor B = 0,027. Nilai F hitung tersebut juga lebih kecil dibandingkan dengan nilai F tabel jadi dapat diasumsikan bahwa tidak terdapat perbedaan yang nyata antara perlakuan kelimpahan yang berbeda terhadap konsentrasi gas karbondioksida (CO₂). Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua faktor yaitu A dan B tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap penyerapan karbondioksida (CO₂).

Hasil dari tabel sidik ragam diatas menunjukkan bahwa tidak berbeda nyata, dimungkinkan karena intensitas cahaya yang dibutuhkan antara mikroalga divisi Chlorophyta dan Chrysophyta untuk fotosintesis yang optimum memiliki rentang yang hampir sama yaitu pada Chlorophyta 350-700 lux dan pada Chrysophyta 350-1000 lux. Chlorophyta dan Chrysophyta juga menghasilkan hasil fotosintesis dalam rentang yang sama yaitu 5-10% (Komunikasi Pribadi Subarijanti¹⁾, 2015).

Adapun untuk mengetahui keeratan hubungan antara kelimpahan mikroalga dengan kandungan gas karbondioksida (CO₂), maka dilakukan Uji

¹⁾Dosen Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan FPIK UB

Korelasi. Uji Korelasi bertujuan untuk menemukan adanya atau tidaknya hubungan dan arah dari hubungan tersebut. Hasil uji korelasi antara kelimpahan mikroalga dengan kandungan gas karbondioksida dapat dilihat pada Tabel 6. dan Tabel 7.

Tabel 6. Hasil Uji Korelasi Kelimpahan *Chlorella vulgaris* dengan Kandungan Gas Karbondioksida (CO₂).

Correlations			
		chlorella	karbondioksida
chlorella	Pearson Correlation	1	-.125
	Sig. (2-tailed)		.656
	N	15	15
karbondioksida	Pearson Correlation	-.125	1
	Sig. (2-tailed)	.656	
	N	15	15

Tabel 7. Hasil Uji Korelasi Kelimpahan *Chaetoceros gracilis* dengan Kandungan Gas Karbondioksida (CO₂).

Correlations			
		Chaetoceros	Karbondioksida
Chaetoceros	Pearson Correlation	1	-.518*
	Sig. (2-tailed)		.048
	N	15	15
Karbondioksida	Pearson Correlation	-.518*	1
	Sig. (2-tailed)	.048	
	N	15	15

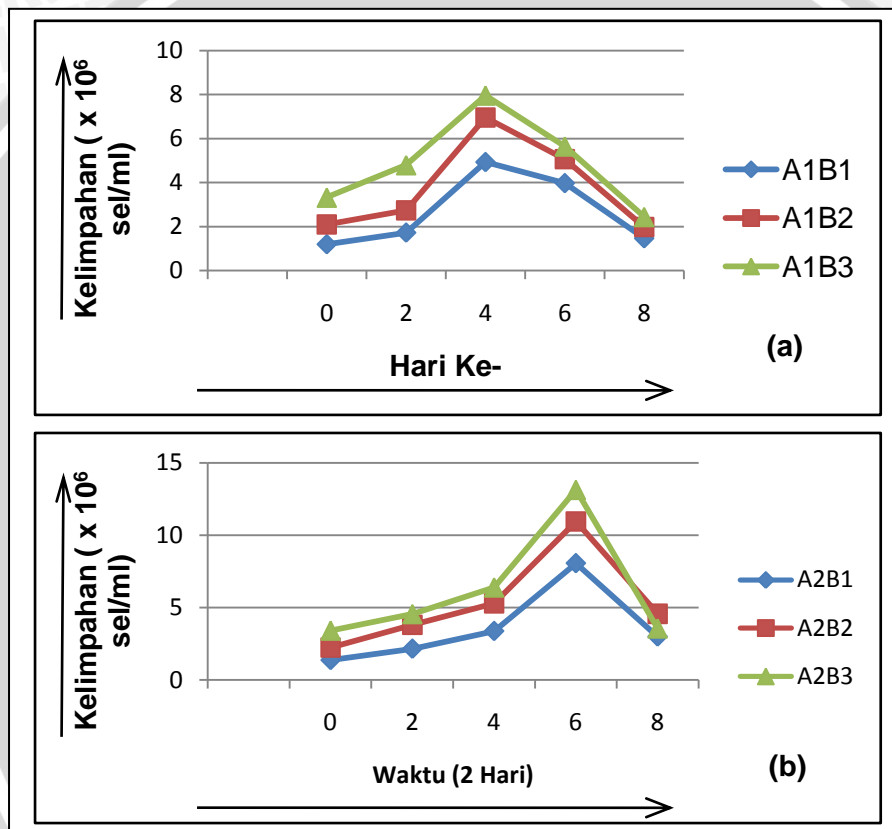
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Hasil Uji Korelasi pada Tabel 6. menunjukkan bahwa nilai signifikansi antara kelimpahan *Chlorella vulgaris* dan kandungan gas karbondioksida 0,656 lebih besar dari α ($\alpha = 0,05$) yang artinya tidak terdapat korelasi antara kedua hal tersebut. Hasil Uji Korelasi pada Tabel 7. menunjukkan bahwa nilai signifikansi antara kelimpahan *Chaetoceros gracilis* dan kandungan gas karbondioksida 0,048 lebih kecil dari α ($\alpha = 0,05$) yang artinya terdapat korelasi antara kedua hal tersebut.

4.3 Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis*

Hasil pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* dapat terlihat dari peningkatan kelimpahannya yang diukur melalui pengamatan mikroskop dengan bantuan *Haemocytometer*. Nilai kelimpahan mikroalga ini dapat dijadikan indikator pertumbuhan yang terjadi selama satu siklus hidup mikroalga. Hasil pertumbuhan kedua jenis mikroalga dapat dilihat pada Tabel 4.

Data hasil pertumbuhan dapat digambarkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Pertumbuhan Mikroalga selama 8 Hari pada (a) *Chlorella vulgaris* dan (b) *Chaetoceros gracilis*.

Keterangan :

A₁B₁ = *Chlorella vulgaris* 1 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₁ = *Chaetoceros gracilis* 1 x 10⁶ sel/ml
 A₁B₂ = *Chlorella vulgaris* 2 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₂ = *Chaetoceros gracilis* 2 x 10⁶ sel/ml
 A₁B₃ = *Chlorella vulgaris* 3 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₃ = *Chaetoceros gracilis* 3 x 10⁶ sel/ml

Pertumbuhan mikroalga secara umum terdapat lima fase pertumbuhan yang terdiri dari fase lag (adaptasi atau istirahat), fase eksponensial, fase penurunan kecepatan pertumbuhan (deklinasi), fase stationer dan fase kematian (Nugraha, 2012). Pada penelitian ini hasil pertumbuhan mikroalga yang terdiri

dari 4 fase yaitu fase lag (adaptasi), fase eksponensial, fase stationer dan fase kematian. Pertumbuhan mikroalga pada Gambar 7. menunjukkan bahwa kedua jenis mikroalga mengalami fase adaptasi pada hari ke 0 hingga hari ke 2. Pada perlakuan mikroalga *Chlorella vulgaris* kelimpahan yang meningkat dari hari pemasukan inokulan yaitu dengan kelimpahan 1×10^6 sel/ml menjadi $1,19 \times 10^6$ sel/ml; 2×10^6 sel/ml menjadi $2,09 \times 10^6$ sel/ml; 3×10^6 sel/ml menjadi $3,32 \times 10^6$ sel/ml. Pada perlakuan mikroalga *Chaetoceros gracilis* kelimpahan yang meningkat dari hari pemasukan inokulan yaitu dengan kelimpahan 1×10^6 sel/ml menjadi $1,38 \times 10^6$ sel/ml; 2×10^6 sel/ml menjadi $2,24 \times 10^6$ sel/ml; 3×10^6 sel/ml menjadi $3,42 \times 10^6$ sel/ml. Pada fase Lag atau adaptasi ini sel-sel mikroalga masih dalam proses adaptasi terhadap media tumbuh sehingga metabolisme untuk tumbuh menjadi lambat.

Fase selanjutnya adalah fase eksponensial yang terjadi pada hari ke 2 hingga hari ke 4 pertumbuhan populasi mencapai maksimal pada perlakuan mikroalga *Chlorella vulgaris* dan terjadi pada hari ke 2 hingga hari ke 6 pada perlakuan mikroalga *Chaetoceros gracilis*. Kelimpahan yang meningkat pada perlakuan mikroalga *Chlorella vulgaris* yaitu dari kelimpahan $1,72 \times 10^6$ sel/ml menjadi $4,93 \times 10^6$ sel/ml; $2,73 \times 10^6$ sel/ml menjadi $6,95 \times 10^6$ sel/ml dan $4,79 \times 10^6$ sel/ml menjadi $7,95 \times 10^6$ sel/ml. Pada perlakuan mikroalga *Chaetoceros gracilis* kelimpahan meningkat dari $2,16 \times 10^6$ sel/ml menjadi $8,06 \times 10^6$ sel/ml; $3,81 \times 10^6$ sel/ml menjadi $10,94 \times 10^6$ sel/ml dan $4,56 \times 10^6$ sel/ml menjadi $13,14 \times 10^6$ sel/ml. Menurut Ayustama dan Sari (2012), fase eksponensial ditandai dengan penambahan jumlah sel yang sangat cepat melalui pembelahan sel mikroalga. Pada fase ini struktur sel masih normal, secara nutrisi terjadi keseimbangan antara nutrisi dalam media dan kandungan nutrisi didalam sel sehingga kualitas sel alga benar-benar terjaga untuk kepentingan kultivasi budidaya lebih lanjut.

Fase penurunan laju pertumbuhan pada penelitian ini hanya terjadi pada perlakuan mikroalga *Chlorella vulgaris* pada hari ke 6 dengan kelimpahan yang mulai berkurang dari $4,93 \times 10^6$ sel/ml menjadi 3,97; $6,95 \times 10^6$ sel/ml menjadi $5,06 \times 10^6$ sel/ml dan $7,95 \times 10^6$ sel/ml menjadi $5,64 \times 10^6$ sel/ml. Menurut Panggabean (2011), fase stasioner awal ialah dimana pertumbuhan sudah mulai berkurang karena kekurangan nutrisi dalam media.

Fase kematian terjadi pada kedua perlakuan mikroalga pada hari ke 8. Pada perlakuan mikroalga *Chlorella vulgaris* kelimpahan menurun dari $3,97 \times 10^6$ sel/ml menjadi $1,46 \times 10^6$ sel/ml; $5,06 \times 10^6$ sel/ml menjadi $1,98 \times 10^6$ sel/ml dan dari $5,64 \times 10^6$ sel/ml menjadi $2,44 \times 10^6$ sel/ml. Pada perlakuan mikroalga *Chaetoceros gracilis* kelimpahan menurun dari $8,06 \times 10^6$ sel/ml menjadi 3×10^6 sel/ml; $10,94 \times 10^6$ sel/ml menjadi $4,57 \times 10^6$ sel/ml dan dari $13,14 \times 10^6$ sel/ml menjadi $3,57 \times 10^6$ sel/ml. Menurut Fogg (1975) dalam Rahman (2011), kematian sel pada fase ini disebabkan oleh nutrisi dalam medium telah habis sedangkan sel yang masih hidup tidak mampu untuk tumbuh dan hanya dapat bertahan hidup.

4.4 Efektivitas Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂) oleh Mikroalga

Efektivitas penyerapan gas karbondioksida (CO₂) merupakan tingkat keberhasilan mikroalga dalam menyerap gas karbondioksida (CO₂) pada jenis mikroalga dan kelimpahan yang berbeda yaitu *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis*, analisis efektivitas ini bertujuan untuk melihat seberapa efektif mikroalga tersebut dengan kelimpahan 1×10^6 sel/ml, 2×10^6 sel/ml dan 3×10^6 sel/ml mampu menyerap karbondioksida (CO₂). Hasil penurunan gas karbondioksida menggunakan mikroalga dapat dilihat pada Tabel 8. dibawah ini dan untuk perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 3.

Tabel 8. Data Hasil Rata-rata Pengukuran Gas Karbondioksida (%)

Perlakuan	Lama Hari	Gas CO ₂ yang tersisa (%)	Gas CO ₂ yang hilang (%)	Persentase Gas CO ₂ yang hilang (%)
A₁B₁	0	16,16	-	-
	2	14,67	1,49	9,22
	4	10,11	6,05	37,44
	6	6,01	10,15	62,81
	8	2,38	13,78	85,27
A₁B₂	0	16,16	-	-
	2	13,33	2,83	17,51
	4	10,17	5,99	37,07
	6	5,8	10,36	64,11
	8	2,61	13,55	83,85
A₁B₃	0	16,16	-	-
	2	14,61	1,55	9,59
	4	8,02	8,14	50,37
	6	4,46	11,17	72,40
	8	1,71	14,45	89,42
A₂B₁	0	16,16	-	-
	2	13,34	2,82	17,45
	4	8,73	7,43	45,97
	6	4,52	11,64	72,03
	8	1,15	15,01	92,88
A₂B₂	0	16,16	-	-
	2	12,97	3,19	19,74
	4	8,62	7,54	46,66
	6	3,81	12,35	76,42
	8	1,25	14,91	92,26
A₂B₃	0	16,16	-	-
	2	13,19	2,97	18,38
	4	7,95	8,21	50,80
	6	3,86	12,3	76,11
	8	0,89	15,27	94,49

Keterangan :

A₁B₁ = *Chlorella vulgaris* 1 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₁ = *Chaetoceros gracilis* 1 x 10⁶ sel/ml

A₁B₂ = *Chlorella vulgaris* 2 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₂ = *Chaetoceros gracilis* 2 x 10⁶ sel/ml

A₁B₃ = *Chlorella vulgaris* 3 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₃ = *Chaetoceros gracilis* 3 x 10⁶ sel/ml

Hasil penurunan konsentrasi gas karbondioksida berdasarkan Tabel 8. dapat dilihat bahwa pada mikroalga *Chlorella vulgaris* mengalami penurunan konsentrasi gas karbondioksida terbesar pada perlakuan A₁B₃ pada hari ke 8 dengan persentase 89,42%. Penurunan konsentrasi pada perlakuan mikroalga *Chaetoceros gracilis* terbesar pada perlakuan A₂B₃ pada hari ke 8 dengan persentase 94,49%.

Berdasarkan hasil dari keseluruhan perlakuan menunjukkan tingkat efektivitas terbaik dari kedua jenis mikroalga dan kelimpahan yang berbeda terhadap penyerapan gas karbondioksida oleh mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* adalah pada perlakuan A₂B₃ yaitu dengan nilai persentase penyerapan sebesar 94,49%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa mikroalga *Chaetoceros gracilis* mampu menyerap gas karbondioksida (CO₂) terbesar dalam waktu delapan hari dengan konsentrasi gas karbondioksida sebesar 94,49% gas yang hilang dari volume awal.

Chaetoceros gracilis dapat menyerap karbondioksida lebih tinggi jika dibandingkan dengan *Chlorella vulgaris* dimungkinkan karena perbedaan kandungan pigmen klorofil yang dimiliki. Menurut Arrohmah (2007), pigmen klorofil menyerap lebih banyak cahaya pada warna biru (400-450 nanometer) dan merah (650-700 nanometer) dibandingkan hijau (500-600 nanometer). Tumbuhan dapat memperoleh seluruh kebutuhan energi mereka dari spektrum merah dan biru dan pada wilayah hijau (500-600 nm) sangat sedikit cahaya yang diserap. Pigmen klorofil yang dimiliki oleh *Chaetoceros gracilis* adalah warna kuning kecoklatan yang berada pada panjang gelombang 600-700 nanometer, sedangkan *Chlorella vulgaris* yang berwarna hijau berada pada panjang gelombang 500-600 nanometer. Disimpulkan bahwa *Chaetoceros gracilis* memperoleh energi yang lebih besar karena cahaya yang diserap lebih banyak. Cahaya dapat bekerja dalam kloroplas hanya jika ia diserap dan pigmen tertentu akan menyerap cahaya dengan panjang gelombang tertentu yang kemudian mengubah energi matahari tersebut menjadi energi kimiawi melalui proses fotosintesis. *Chaetoceros gracilis* memiliki 4 jenis pigmen fotosintesis yaitu klorofil a, klorofil c, karoten dan fucoxanthin. *Chlorella vulgaris* memiliki 3 jenis pigmen yaitu klorofil a, klorofil b dan karoten.

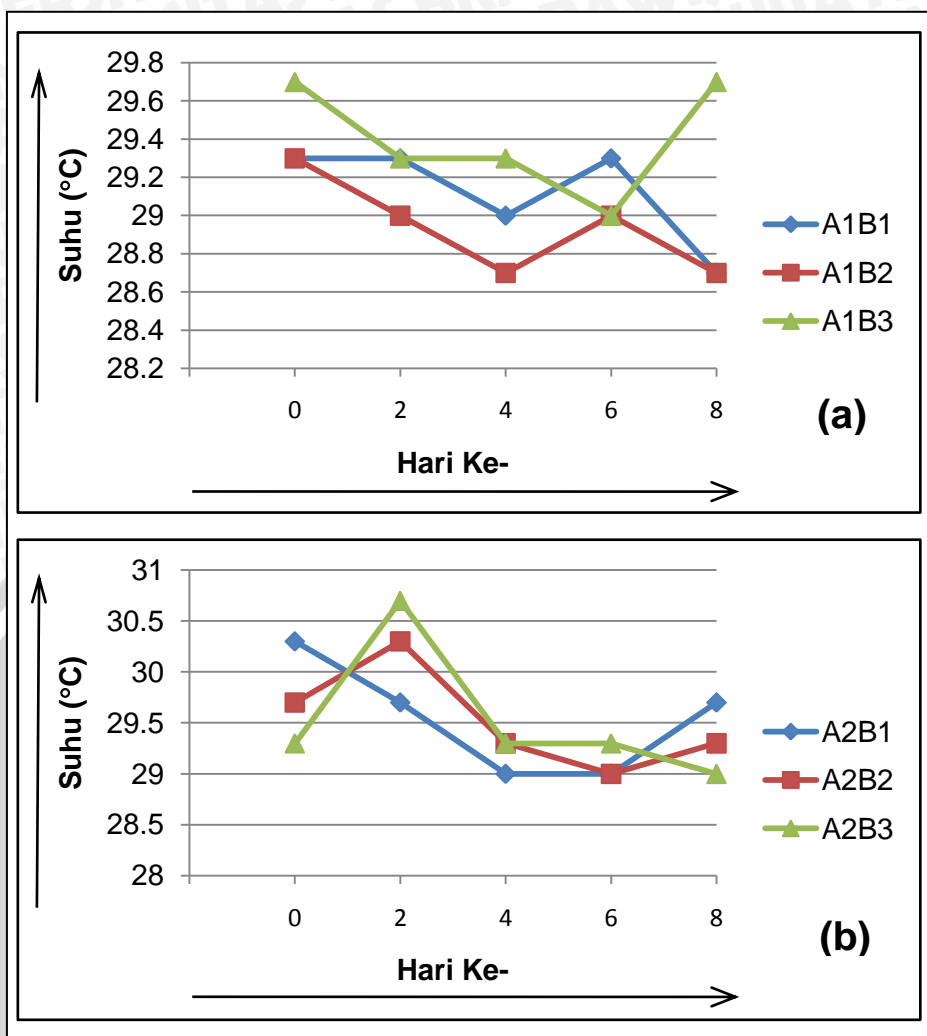
4.5 Analisis Kualitas Air

Hasil pengamatan kualitas air secara keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran 4.

4.5.1 Suhu

Menurut Handoko dan Fajariyanti (2013), salah satu faktor yang berpengaruh terhadap proses fotosintesis selain cahaya, karbondioksida dan kandungan klorofil adalah suhu. Laju fotosintesis pada tumbuhan meningkat dari suhu minimum 5°C sampai suhu 35°C, diatas kisaran suhu ini laju fotosintesis menurun. Pernyataan diatas didukung juga oleh Riyono (2007), bahwa secara umum laju fotosintesis fitoplankton meningkat dengan meningkatnya suhu perairan, tetapi akan menurun secara drastis setelah mencapai titik suhu tertentu.

Kisaran nilai suhu yang didapatkan pada perlakuan mikroalga *Chlorella vulgaris* yaitu 28,7-29°C. Hasil yang didapatkan tersebut masih sesuai untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris* yang untuk pertumbuhannya suhu yang optimal yang diperlukan yaitu 25-30°C (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995 dalam Meritasari *et al.*, 2010). Kisaran nilai suhu untuk perlakuan mikroalga *Chaetoceros gracilis* didapatkan suhu yang lebih tinggi yaitu 29-30,7°C. Pada beberapa mikroalga, temperatur kultur diatas 32°C dapat menyebabkan letal, akan tetapi genus *Chaetoceros sp* masih dapat bertahan hidup pada suhu 40°C (Suantika *et al.*, 2008). *Chaetoceros gracilis* toleran terhadap suhu air yang tinggi. Pada suhu air 60°C fitoplankton ini masih dapat bertahan hidup, akan tetapi tidak berkembang. Alga ini akan hidup optimal pada suhu 37°C dan masih dapat tumbuh pada suhu 50°C (Akbar, 2008). Hasil pengamatan suhu dapat digambarkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Perubahan Suhu selama 8 hari (a) *Chlorella vulgaris* dan (b) *Chaetoceros gracilis*.

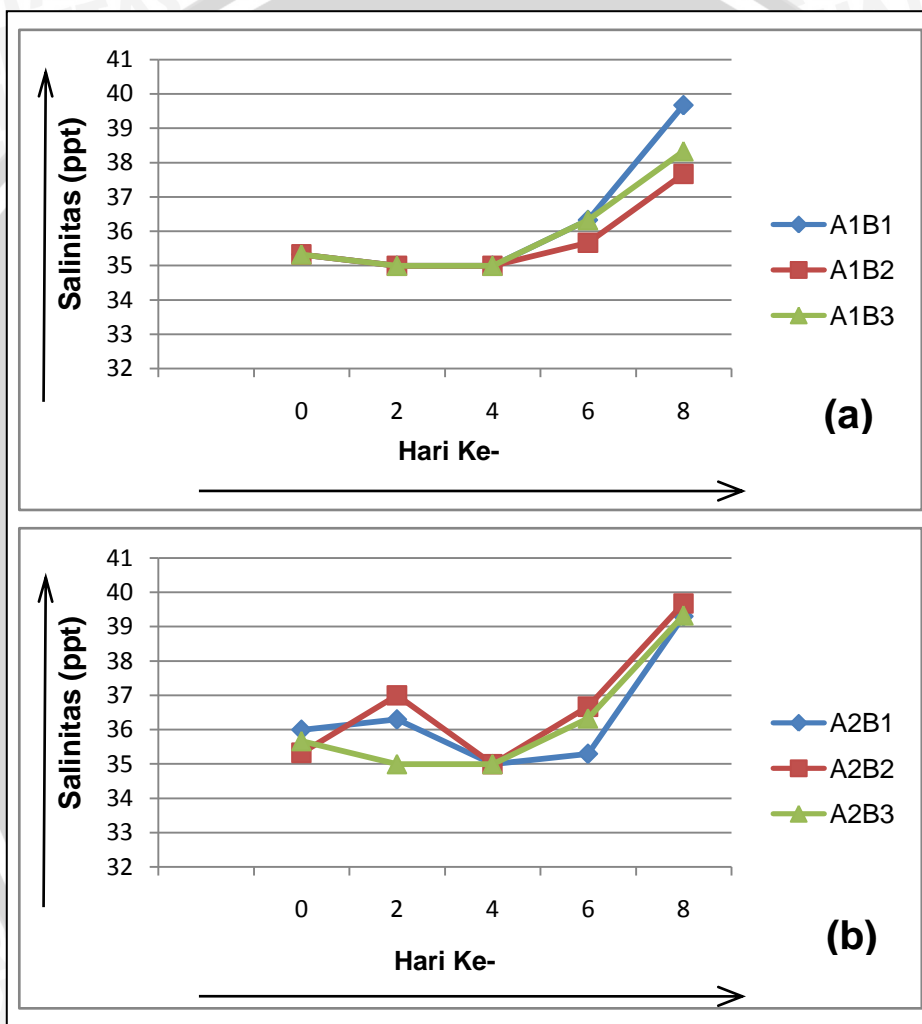
Keterangan :

A₁B₁ = *Chlorella vulgaris* 1 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₁ = *Chaetoceros gracilis* 1 x 10⁶ sel/ml
 A₁B₂ = *Chlorella vulgaris* 2 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₂ = *Chaetoceros gracilis* 2 x 10⁶ sel/ml
 A₁B₃ = *Chlorella vulgaris* 3 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₃ = *Chaetoceros gracilis* 3 x 10⁶ sel/ml

Suhu yang didapatkan selama penelitian pada Gambar 8. menunjukkan bahwa terjadi perubahan naik turunnya suhu pada masing-masing perlakuan dan tidak terjadi perubahan yang terlalu signifikan. Nilai suhu pada saat penelitian berkisar antara 28,7°-30,7°C.

4.5.2 Salinitas

Salinitas merupakan nilai yang menunjukkan jumlah garam-garam terlarut dalam suatu volum air yang biasanya dinyatakan dengan satuan promil (‰). Kandungan utama dari air laut dibentuk oleh ion Na^+ dan Cl^- , ditambah berbagai jenis unsur lain yang jumlahnya relatif sedikit (Daulay, 2014). Hasil pengamatan salinitas dapat digambarkan dengan Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Perubahan Salinitas selama 8 Hari (a) *Chlorella vulgaris* dan (b) *Chaetoceros gracilis*.

Keterangan :

A_1B_1 = *Chlorella vulgaris* 1×10^6 sel/ml ; A_2B_1 = *Chaetoceros gracilis* 1×10^6 sel/ml
 A_1B_2 = *Chlorella vulgaris* 2×10^6 sel/ml ; A_2B_2 = *Chaetoceros gracilis* 2×10^6 sel/ml
 A_1B_3 = *Chlorella vulgaris* 3×10^6 sel/ml ; A_2B_3 = *Chaetoceros gracilis* 3×10^6 sel/ml

Kisaran nilai salinitas yang didapatkan pada kedua perlakuan mikroalga baik *Chlorella vulgaris* maupun *Chaetoceros gracilis* yaitu 35-40 ppt. Hasil yang didapatkan tersebut masih tergolong baik dan sesuai untuk pertumbuhan mikroalga. Hal ini didukung oleh Bold and Wynne (1985) dalam Prabowo (2009) bahwa *Chlorella* air tawar dapat hidup dengan konsentrasi salinitas hingga 5 ppt, sementara *Chlorella* air laut dapat mentolerir salinitas antara 33-40 ppt. Toleransi *Chaetoceros* terhadap kisaran salinitas sangat lebar, yaitu dari 6-50 ppt, sedangkan kisaran salinitas 17-25 ppt merupakan salinitas optimal untuk pertumbuhannya (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995 dalam Akbar, 2008).

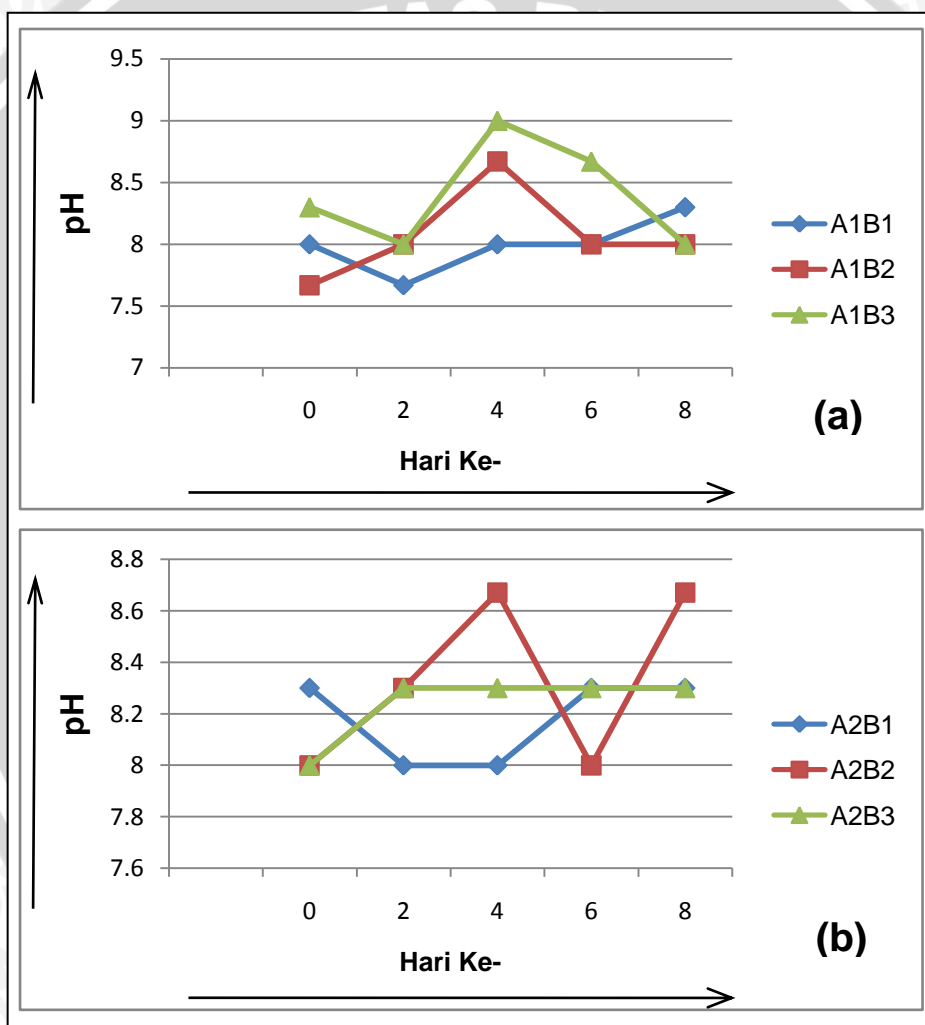
Perubahan salinitas yang terlihat pada Gambar 9. menunjukkan bahwa salinitas mengalami kenaikan yang signifikan pada hari terakhir. Kenaikan salinitas rata-rata paling signifikan ditunjukkan pada rentang hari ke 6-8 dari sekitar 36 ppt menjadi 39 ppt. Menurut Rostini (2005) dalam Prabowo (2009), kenaikan salinitas dapat terjadi disebabkan oleh adanya metabolisme sel ataupun pengendapan garam dan nutrisi dalam medium. Konsentrasi garam dapat meningkat akibat penguapan air laut oleh panas matahari. Hal ini ditunjukkan dengan ditemukannya endapan garam putih yang terdapat pada dinding fotobioreaktor ketika dibongkar.

4.5.3 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman atau pH menggambarkan variasi ion hidrogen. Keragaman nilai hidrogen dalam media kultivasi dapat mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan mikroalga (Nugraha, 2012). Nilai pH adalah nilai dari hasil pengukuran ion hidrogen (H) di dalam air. Air dengan kandungan ion H⁺ tinggi akan bersifat asam, dan sebaliknya akan bersifat basa (Alkali).

Kisaran nilai pH yang didapatkan pada kedua perlakuan yaitu 7,67-9. Menurut Creswell (2010), pH optimum untuk biota air laut adalah 7,5-8,2. Nilai

pH optimum untuk kultur *Chlorella* adalah 7-9 (Effendi, 2003). Menurut Yusuf (2008), pada pH 6-9, kehidupan biota dalam suatu perairan dapat berlangsung secara normal, baik kehidupan hewan maupun tumbuhan air, karena dalam kondisi tersebut proses-proses kimia dan mikrobiologis yang menghasilkan senyawa yang berbahaya bagi kehidupan biota serta kelestarian lingkungan, tidak terjadi. Hasil pengamatan nilai pH selama penelitian dapat digambarkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Perubahan pH selama 8 Hari (a) *Chlorella vulgaris* dan (b) *Chaetoceros gracilis*.

Keterangan :

A₁B₁ = *Chlorella vulgaris* 1 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₁ = *Chaetoceros gracilis* 1 x 10⁶ sel/ml
 A₁B₂ = *Chlorella vulgaris* 2 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₂ = *Chaetoceros gracilis* 2 x 10⁶ sel/ml
 A₁B₃ = *Chlorella vulgaris* 3 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₃ = *Chaetoceros gracilis* 3 x 10⁶ sel/ml

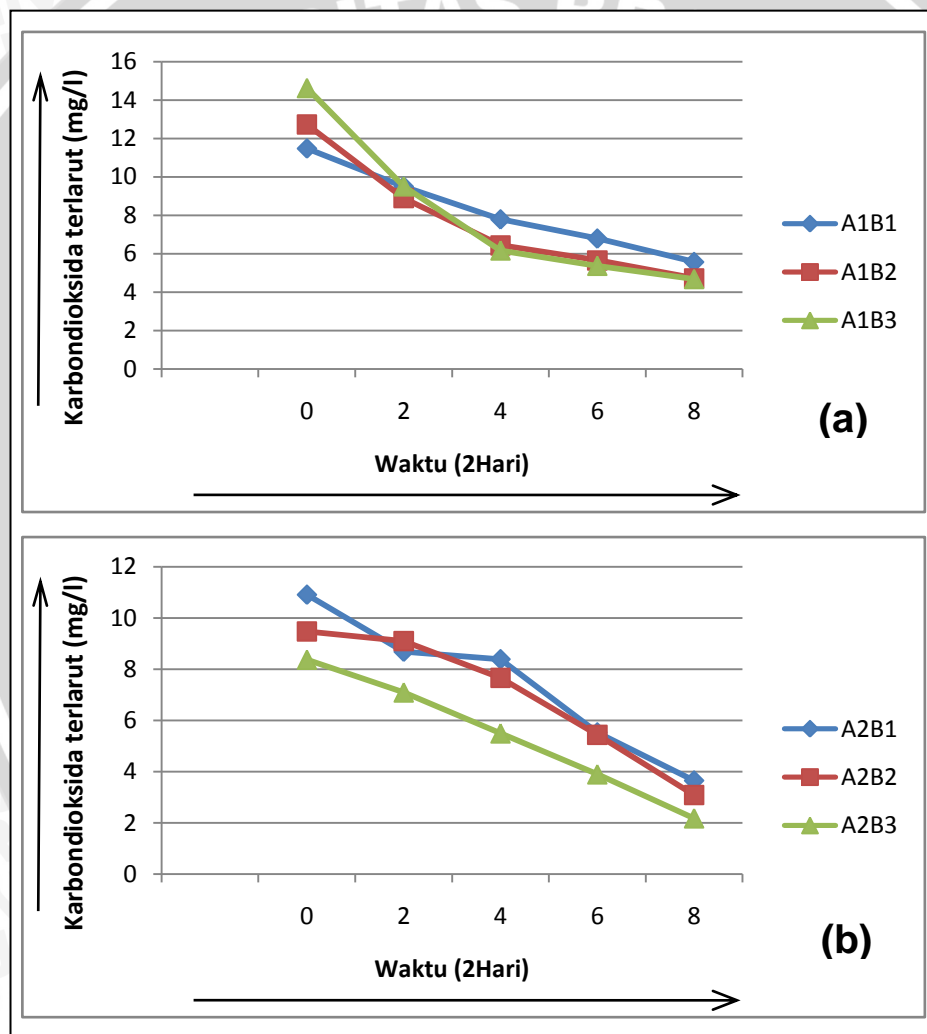
Nilai pH pada Gambar 10. menunjukkan bahwa nilai pH juga tidak mengalami perubahan yang signifikan pada masing-masing perlakuan. Hasil pengamatan pH yang didapatkan menunjukkan bahwa nilai pH masih berada dalam kisaran yang baik untuk kehidupan mikroalga. Stabilitas pH dipengaruhi oleh aktivitas respirasi dan fotosintesis. Respirasi akan menurunkan pH, dan sebaliknya fotosintesis menaikkan nilai pH. Nilai pH yang tinggi terjadi diperairan dengan kandungan fitoplankton tinggi, dimana proses fotosintesis membutuhkan banyak CO₂. pH akan mencapai 9 hingga 10, bahkan lebih tinggi jika bikarbonat diserap dari air (Idris, 2012).

4.5.4 Karbondioksida (CO₂)

Tumbuhan akuatik, misalnya algae lebih menyukai karbondioksida sebagai sumber karbon dibandingkan dengan bikarbonat dan karbonat. Bikarbonat sebenarnya dapat berperan sebagai sumber karbon. Namun, didalam kloroplas bikarbonat harus dikonversi terlebih dahulu menjadi karbondioksida dengan bantuan enzim karbonik anhidrase (Effendi, 2003). Karbon sangat penting keberadaannya bagi *Chaetoceros* sp. sebagai pembentuk asam amino (nutrisi) yang berperan di dalam metabolisme. Menurut Dewi dan Gultom (2009), karbon merupakan salah satu makronutrien yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroalga dan salah satu sumber karbon di perairan adalah CO₂ yang secara langsung digunakan untuk fotosintesis.

Kisaran konsentrasi karbondioksida (CO₂) selama penelitian yaitu pada perlakuan mikroalga *Chlorella vulgaris* didapatkan nilai karbondioksida dari 4,68-14,63 mg/l dan pada perlakuan mikroalga *Chaetoceros gracilis* didapatkan nilai sebesar 2,17-10,91 mg/l. Nilai konsentrasi karbondioksida yang didapatkan tergolong tinggi, hal ini mungkin dikarenakan karbondioksida memiliki sifat kelarutan yang tinggi. Didukung oleh pernyataan Kordi (2009), bahwa

karbondioksida jauh lebih mudah larut dalam air dibandingkan dengan oksigen sehingga sering “mengusir” dan menempati tempat oksigen dalam air. Konsentrasi karbondioksida terlarut sebesar 10 mg/l masih dapat ditolerir oleh organisme akuatik, asal disertai konsentrasi oksigen yang cukup. Sebagian besar organisme akuatik masih dapat bertahan hidup hingga konsentrasi karbondioksida bebas mencapai sebesar 60 mg/liter (Boyd, 1988 dalam Effendi, 2003). Hasil pengukuran karbondioksida dapat digambarkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Konsentrasi Karbondioksida Terlarut selama 8 Hari (a) *Chlorella vulgaris* dan (b) *Chaetoceros gracilis*

Keterangan :

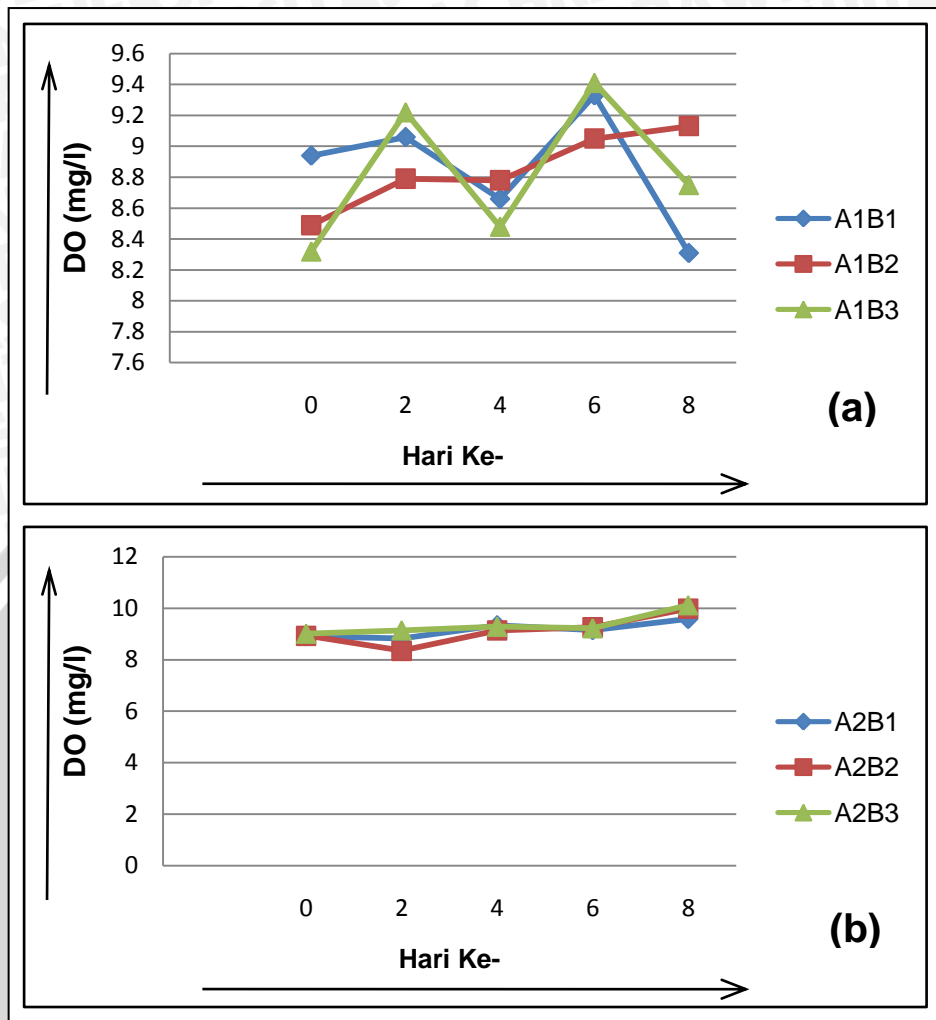
- A₁B₁ = *Chlorella vulgaris* 1 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₁ = *Chaetoceros gracilis* 1 x 10⁶ sel/ml
- A₁B₂ = *Chlorella vulgaris* 2 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₂ = *Chaetoceros gracilis* 2 x 10⁶ sel/ml
- A₁B₃ = *Chlorella vulgaris* 3 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₃ = *Chaetoceros gracilis* 3 x 10⁶ sel/ml

Konsentrasi karbondioksida terlarut pada Gambar 11. menunjukkan perubahan yang terjadi selama penelitian, yaitu penurunan konsentrasi yang terjadi dari hari ke 0 hingga ke 8. Konsentrasi karbondioksida yang mengalami penurunan semakin lama semakin rendah pada penelitian ini berbanding terbalik dengan kelimpahan mikroalga yang didapatkan, semakin tinggi kelimpahan semakin rendah konsentrasi karbondioksida yang didapatkan. Hal tersebut dikarenakan karbondioksida dimanfaatkan oleh mikroalga pada saat fotosintesis untuk menghasilkan karbohidrat dan oksigen yang dapat dimanfaatkan oleh organisme lainnya.

4.5.5 Dissolved Oxygen (DO)

Menurut Kordi dan Andi (2007), oksigen adalah suatu jenis gas terlarut dalam air dengan jumlah yang sangat banyak. Oksigen merupakan salah satu faktor pembatas, sehingga apabila ketersediaannya didalam air tidak mencukupi kebutuhan biota budidaya maka segala aktivitas biota akan terhambat. Biota air membutuhkan oksigen guna pembakaran bahan bakarnya (makanan) untuk menghasilkan aktivitas.

Menurut Prasetyo *et al.*, (2008), salah satu faktor pembatas pertumbuhan mikroalga selain temperatur, pH dan kecerahan adalah konsentrasi oksigen terlarut. Konsentrasi O_2 terlarut adalah parameter penting dalam menentukan kualitas perairan. Konsentrasi O_2 dipengaruhi oleh keseimbangan antara produksi dan konsumsi O_2 dalam ekosistem. O_2 diproduksi oleh komunitas autotrof melalui proses fotosintesis dan dikonsumsi oleh semua organisme melalui pernapasan (Idris, 2012). Hasil pengamatan konsentrasi oksigen terlarut dapat digambarkan melalui Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Konsentrasi DO selama 8 Hari (a) *Chlorella vulgaris* dan (b) *Chaetoceros gracilis*

Keterangan :

A₁B₁ = *Chlorella vulgaris* 1 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₁ = *Chaetoceros gracilis* 1 x 10⁶ sel/ml
 A₁B₂ = *Chlorella vulgaris* 2 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₂ = *Chaetoceros gracilis* 2 x 10⁶ sel/ml
 A₁B₃ = *Chlorella vulgaris* 3 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₃ = *Chaetoceros gracilis* 3 x 10⁶ sel/ml

Konsentrasi oksigen terlarut pada Gambar 12. menunjukkan bahwa setiap harinya mengalami perubahan yang tidak terlalu signifikan. Nilai kisaran DO yang didapatkan pada penelitian ini yaitu 8,31-9,41 mg/l pada perlakuan mikroalga *Chlorella vulgaris* dan 8,91-10,12 mg/l pada perlakuan mikroalga *Chaetoceros gracilis*. Hasil konsentrasi oksigen terlarut pada penelitian ini termasuk tinggi, dimungkinkan karena proses fotosintesis yang terjadi secara maksimal sehingga menghasilkan oksigen yang tinggi sesuai dengan pernyataan

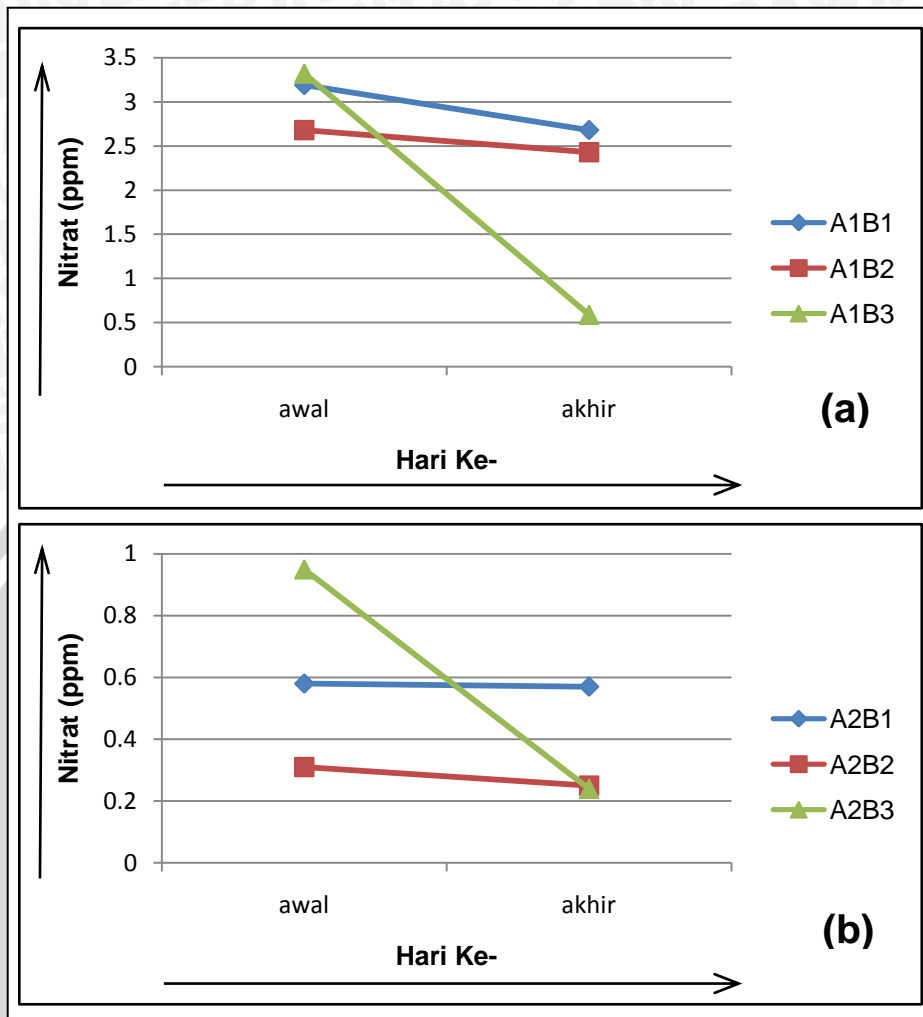
Kordi (2009), bahwa proses fotosintesis dapat menghasilkan oksigen sedemikian besar sehingga konsentrasi oksigen dalam air bisa mencapai lewat jenuh.

Konsentrasi oksigen terlarut yang tinggi tersebut, masih bisa di tolerir oleh *Chlorella vulgaris*, seperti pernyataan dari Fox (1987) dalam Dewi dan Gultom (2009) bahwa biakan alga di laboratorium perlu penyediaan oksigen terlarut yang cukup. Konsentrasi oksigen terlarut 3-5 ppm kurang produktif. 5-7 ppm produktifitasnya tinggi dan diatas 7 ppm sangat tinggi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Firmansyah *et al.*, (2013) didapatkan hasil pertumbuhan *Chaetoceros* yang baik dengan konsentrasi oksigen terlarut sebesar 5-8 ppm.

4.5.6 Nitrat (NO_3^-)

Nitrat (NO_3^-) adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrisi utama bagi pertumbuhan tanaman dan algae. Nitrat nitrogen sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan (Effendi, 2003). Pengukuran nitrat pada penelitian ini dilakukan hanya di awal dan akhir penelitian dikarenakan perubahan nitrat yang signifikan terjadi dalam jangka waktu lebih dari 5 hari.

Kisaran nilai nitrat pada perlakuan mikroalga *Chlorella vulgaris* yaitu 0,59-3,32 mg/l. Kisaran nilai nitrat pada perlakuan mikroalga *Chaetoceros gracilis* yaitu 0,24-0,95 mg/l. Rata-rata kisaran nilai nitrat yang didapatkan pada kedua perlakuan terlihat bahwa nilai nitrat pada perlakuan mikroalga *Chlorella vulgaris* lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan perlakuan mikroalga *Chaetoceros gracils*. Hasil pengukuran nitrat dapat digambarkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik Perubahan Konsentrasi Nitrat pada Hari ke 0 dan 8 pada (a) *Chlorella vulgaris* dan (b) *Chaetoceros gracilis*.

Keterangan :

A₁B₁ = *Chlorella vulgaris* 1 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₁ = *Chaetoceros gracilis* 1 x 10⁶ sel/ml
 A₁B₂ = *Chlorella vulgaris* 2 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₂ = *Chaetoceros gracilis* 2 x 10⁶ sel/ml
 A₁B₃ = *Chlorella vulgaris* 3 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₃ = *Chaetoceros gracilis* 3 x 10⁶ sel/ml

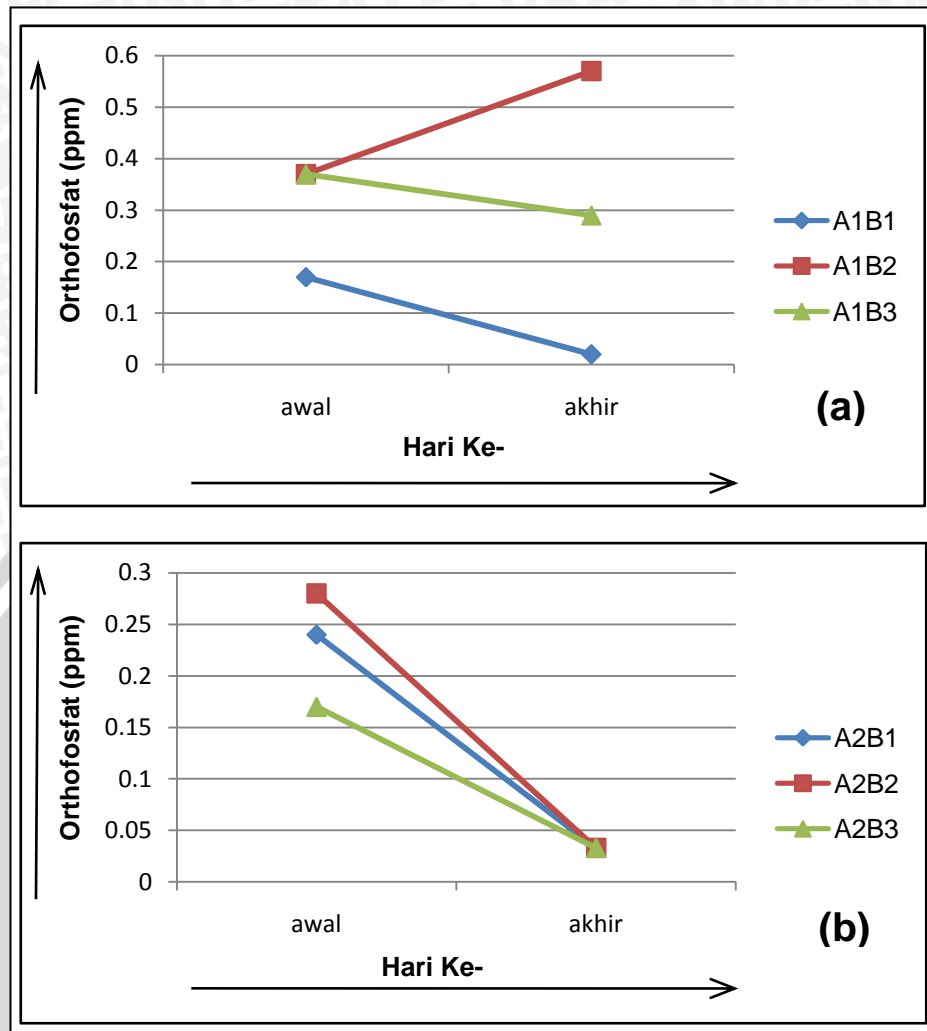
Konsentrasi nitrat yang didapatkan pada Gambar 13. menunjukkan bahwa selama pengamatan pada semua perlakuan baik mikroalga *Chlorella vulgaris* maupun *Chaetoceros gracilis* mengalami penurunan saat hari terakhir penelitian. Hasil pengamatan nilai nitrat yang didapatkan menunjukkan bahwa konsentrasi nitrat pada kedua perlakuan masih tergolong baik. Hal ini didukung oleh pernyataan Lapu (1994) dalam Amini dan Syamdidi (2006), bahwa *Chlorella* dapat tumbuh dengan baik pada konsentrasi nitrat antara 0,9-3,5 ppm. Pada

konsentrasi dibawah 0,1 ppm atau diatas 45 ppm, nitrat merupakan faktor pembatas kesuburan dan menurut Mackentum (1969) dalam Idris (2012), konsentrasi nitrat yang optimal untuk pertumbuhan fitoplankton pada perairan laut berkisar antara 3,9 mg/l hingga 15,5 mg/l.

4.5.7 Orthofosfat

Ortofosfat merupakan bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan secara langsung oleh tumbuhan akuatik, sedangkan polifosfat harus mengalami hidrolisis membentuk ortofosfat terlebih dahulu sebelum dapat dimanfaatkan sebagai sumber fosfat (Effendi, 2003). Konsentrasi phospat yang optimum bagi pertumbuhan plankton adalah 0,09-1,80 mg/L dan merupakan faktor pembatas apabila nilainya dibawah 0,02 mg/L (Mackentum, 1975 dalam Barnes, 1991). Hasil pengamatan konsentrasi orthofosfat dapat digambarkan melalui Gambar 14.

Kisaran nilai orthofosfat yang diperoleh yaitu 0,02-0,57 mg/l pada perlakuan mikroalga *Chlorella vulgaris* dan 0,033-0,28 mg/l pada perlakuan mikroalga *Chaetoceros gracilis*. Hasil penelitian yang didapatkan untuk nilai orthofosfat pada kedua perlakuan masih tergolong baik. Hal tersebut didukung oleh pernyataan Bruno *et al.*, (1979) dalam Sumardianto (1995), bahwa konsentrasi yang optimal bagi pertumbuhan fitoplankton adalah 0,27-5,51 mg/l, dimana apabila konsentrasinya kurang dari 0,02 mg/l maka fosfat akan menjadi faktor pembatas.



Gambar 14. Grafik Perubahan Orthofosfat pada Hari ke 0 dan 8 pada (a) *Chlorella vulgaris* dan (b) *Chaetoceros gracilis*

Keterangan :

A₁B₁ = *Chlorella vulgaris* 1 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₁ = *Chaetoceros gracilis* 1 x 10⁶ sel/ml
 A₁B₂ = *Chlorella vulgaris* 2 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₂ = *Chaetoceros gracilis* 2 x 10⁶ sel/ml
 A₁B₃ = *Chlorella vulgaris* 3 x 10⁶ sel/ml ; A₂B₃ = *Chaetoceros gracilis* 3 x 10⁶ sel/ml

Konsentrasi orthofosfat pada Gambar 14. menunjukkan bahwa pada semua perlakuan mengalami penurunan dihari terakhir, kecuali pada perlakuan A₁B₂ (*Chlorella vulgaris* 2x10⁶ sel/ml) justru mengalami kenaikan. Peningkatan ortofosfat dapat terjadi akibat selama pertumbuhannya mikroalga melepaskan fosfat organik dan ester organik yang cepat didaur ulang (Sauntika, 2009).

Menurut Muharram (2006), kadar ortofosfat rendah (0,00 – 0,02 mg/l) plankton yang mendominasi yaitu Diatom, kadar ortofosfat sedang (0,02 – 0,05

mg/l) plankton yang mendominasi yaitu Chlorophyta, sedangkan kadar ortofosfat tinggi ($>0,1$ mg/l) plankton yang mendominasi yaitu Cyanophyta.

4.6 Pembahasan Umum

Mikroalga merupakan organisme uniseluler yang memanfaatkan energi cahaya dan karbondioksida untuk fotosintesis, dengan efisiensi fotosintesis yang lebih tinggi (Al-Iwayzy, 2014). *Chlorella sp* adalah alga bersel satu yang hidup di air tawar maupun air laut. Alga tersebut mampu berfotosintesis. Sumber karbon yang umum di manfaatkan adalah CO_2 dan karbon anorganik lainnya seperti ion HCO_3^- (Fauzi dan Panji, 2002). Menurut penelitian yang dilakukan Idris (2012), *Chaetoceros sp.* merupakan termasuk salah satu mikroalga yang dapat dimanfaatkan untuk mengurangi karbondioksida. Spesies *Chaetoceros gracilis* ini juga banyak dijumpai pada perairan laut karena memiliki kelimpahan yang besar baik di habitat muara maupun di sepanjang pantai.

Hasil penyerapan gas karbondioksida pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4. Konsentrasi gas karbondioksida (CO_2) pada Tabel 4. menunjukkan bahwa pada perlakuan mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* terus mengalami penurunan dari hari ke 0 hingga hari ke 8. Konsentrasi awal gas karbondioksida (CO_2) pada perlakuan A_1B_1 (*Chlorella vulgaris* 1×10^6), A_1B_2 (*Chlorella vulgaris* 2×10^6) dan A_1B_3 (*Chlorella vulgaris* 3×10^6) pada hari ke 0 sebesar 16,16 % mengalami penurunan pada hari terakhir konsentrasi gas karbondioksida (CO_2) menjadi 2,38 %; 2,61 % dan 1,71 % dengan efektivitas penyerapan sebesar $A_2B_1 = 85,27\%$, $A_2B_2 = 83,85\%$, dan $A_2B_3 = 89,42\%$. Konsentrasi awal gas karbondioksida (CO_2) pada perlakuan A_2B_1 (*Chaetoceros gracilis* 1×10^6), A_2B_2 (*Chaetoceros gracilis* 2×10^6) dan A_2B_3 (*Chaetoceros gracilis* 3×10^6) pada hari ke 0 juga sebesar 16,16 % pada hari terakhir konsentrasi gas karbondioksida (CO_2) mengalami penurunan menjadi 1,15 %; 1,25 % dan 0,89 %

dengan efektivitas penyerapan sebesar $A_2B_1 = 92,88\%$; $A_2B_2 = 92,26\%$ dan $A_2B_3 = 94,49\%$.

Hasil pengamatan kualitas air pada saat pengamatan dapat dilihat pada Lampiran 4. Kisaran suhu yang didapatkan pada saat pengamatan yaitu antara $28,7^{\circ}\text{C}$ - $30,7^{\circ}\text{C}$. Kisaran nilai salinitas yaitu antara 35-40 ppt. Nilai pH pada saat pengamatan berkisar antara 7,67-9. Nilai DO pada saat pengamatan berkisar antara 8,31-9,41 mg/l. Nilai karbondioksida pada saat pengamatan berkisar antara 2,17-14,63 mg/l. Nilai nitrat pada saat pengamatan berkisar antara 0,24-3,32 mg/l. Nilai Ortofosfat yang didapatkan berkisar antara 0,02-0,54 mg/l. Hasil pengamatan kualitas air pada semua parameter masih dalam kisaran yang bagus atau dapat ditolerir oleh kedua jenis mikroalga.

Penyerapan gas karbondioksida (CO_2) dilihat dari perhitungan efektivitas didapatkan bahwa yang paling efektif adalah pada perlakuan A_2B_3 (*Chaetoceros gracilis*) dengan nilai efektivitas 94,49%, dan dari uji korelasi menunjukkan bahwa perlakuan *Chaetoceros gracilis* berkorelasi dengan kandungan gas karbondioksida sehingga untuk pemanfaatan mikroalga dalam penyerapan karbondioksida sebaiknya menggunakan mikroalga *Chaetoceros gracilis* berdasarkan kedua hal tersebut.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial menunjukkan bahwa nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$ sehingga H_0 diterima yaitu bahwa antara *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis* dengan kelimpahan yang berbeda tidak memiliki perbedaan dalam penyerapan gas karbondioksida (CO_2).

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini pemanfaatan mikroalga untuk penyerapan gas karbondioksida (CO_2) sebaiknya menggunakan *Chaetoceros gracilis* karena berdasarkan hasil uji keeratan hubungan menunjukkan bahwa mikroalga *Chaetoceros gracilis* memiliki keeratan hubungan dengan kandungan gas karbondoksida.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrachman O, Mutiara M, Buchori L. 2013. Pengikatan Karbon dioksida dengan Mikroalga (*Chlorella vulgaris*, *Chlamydomonas sp*, *Spirulina sp*) dalam Upaya untuk Meningkatkan Kemurnian Biogas. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. **2** (4): 212-216.
- Affiandi, B. 2009. Pengaruh CO₂ (Karbon dioksida) Murni terhadap Pertumbuhan Mikroorganisme pada Produk Minuman Fanta di PT. Coca-cola Bottling Indonesia Unit Medan. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. USU : Sumatera Utara.
- Al-lwayzy, S. H., Yusaf, T., Juboori, R. A. 2014. Biofuels from the Fresh Water Microalgae *Chlorella vulgaris* (FWM-CV) for Diesel Engines. *Journal Energies*. **7** : 1829-1851.
- Amini, S. dan Syamdid. 2006. Konsentrasi Unsur Hara pada Media dan Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dengan Pupuk Anorganik Teknis dan Analisis. *Jurnal Perikanan*. **VIII** (2):201-206.
- Akbar, T. M. 2008. Pengaruh Cahaya terhadap Senyawa Antibakteri dari *Chaetoceros gracilis*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB : Bogor.
- Aristiawan, R. 1999. Kajian Kebutuhan Intensitas Cahaya oleh Bakteri Fotosintetik Anoksigenik pada Kultivasi menggunakan Media Kompleks. Fakultas Teknologi Pertanian. IPB : Bogor.
- Arrohmah. 2007. Studi Karakteristik Klorofil Pada Daun sebagai Material Photodetector. Organic. Fakultas matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sebelas Maret : Surakarta.
- Ayustama, A. dan E. A. W. Sari. 2012. Proses Produksi Mikroalga dalam Photobioreaktor Mini Pond secara Batch untuk Bahan Bakar Biodisel. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro : Semarang.
- Balino, B. M., Fasham, M. J. R., Bowles, M. C. 2000. Biogeokimia Laut dan Perubahan Global. Joint Global Ocean Flux Study. Swedia.
- Barnes. Ruppert E & RD. 1991. Invertebra Zoology. Sanders College publishing, Orlando, Florida.
- Bloom. 1998. Chemical and Physical Water Quality Analisis. Nuffic. Unibraw/Luw/Fish. Malang.
- Boyd, C. E. 1982. Water Quality Management for Pond Fish Culture. Elsevier Scientific Publishing Company : Amsterdam.
- Castro, P. dan M. E. Huber. 2007. Marine Biology. New York: MacGraw-Hill Higher Education.

- Chalid, S. Y., Amini, S., Lestari, S. D. 2007. Kultivasi *Chlorella sp* pada Media Tumbuh yang Diperkaya dengan Pupuk Anorganik dan Soil Extract. Fakultas Sains dan Teknologi. UIN : Jakarta.
- Creswell, L. B. 2010. Phytoplankton Culture for Aquaculture Feed. SRAC : University Florida Sea Grant.
- Daniyati R, Yudoyono G, Rubiyanto A. 2012. Desain Closed Photobioreaktor *Chlorella vulgaris* sebagai mitigasi Emisi CO₂. *Jurnal Sains dan Seni*. 1 : B-1 – B-5.
- Darmono dan Hasan A. M. 2002. Menyelesaikan Skripsi dalam Satu Semester. PT Grasindo. Jakarta.
- Daulay, R. M. 2014. Pengaruh Pemberian Pupuk Kascing (Bekas Cacing) terhadap Kelimpahan *Nannochloropsis sp* sebagai Pakan Alami. Fakultas Pertanian. USU : Sumatera Utara.
- Dewi, Y. S. dan Gultom, Y. H. 2009. Pemanfaatan Algae *Chlorella sp.* dan Eceng Gondok untuk menurunkan Tembaga (Cu) pada Industri Pelapisan Logam. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro : Semarang.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air. Kanisius : Yogyakarta.
- Fadilla, Z. 2010. Pengaruh Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Pertumbuhan Mikroalga *Scenedesmus sp.* Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Syarif Hidayatullah : Jakarta.
- Fauzi. dan Panji, A. 2002. Pengaruh Penambahan Senyawa Bikarbonat dan Senyawa Nitrogen terhadap Kandungan Biomassa dan Lipid Alga Mikro *Chlorella sp.* laboratorium Metodologi Perancangan dan Pengendalian Proses.
- Gennaro, N. 2014. Italian Live Food. www.tropicalfish.it/livefood/html/fitoinfo.htm. Diakses pada tanggal 15 Juni 2014
- Hamidi, N., Wardana., Widhiyanuriyawa, D. 2011. Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas melalui Proses Zeolit Alam. *Jurnal Rekayasa mesin*. 2 (3) : 227-231.
- Hanif, A. 2010. Studi Pemanfaatan Biogas Sebagai Pembangkit Listrik 10 Kw Kelompok Tani Mekarsari Desa Dander Bojonegoro menuju Desa Mandiri Energi. Fakultas Teknologi Industri. ITS : Surabaya.
- Hanafiah, K A. 2011. Rancangan Percobaan. PT. Rajagrafindo Persada : Jakarta
- Handoko, P. dan Fajariyanti, Y. 2013. Pengaruh Spektrum Cahaya Tampak Terhadap Laju Fotosintesis Tanaman Air *Hydrilla Verticillata*. FKIP. Universitas Nusantara PGRI : Kediri.
- Haryati, T. 2006. Biogas : Limbah Peternakan yang menjadi Sumber Energi Alternatif. *Wartazoa*. 16 (3).

- Held, P. Raymond, K. Determination of Alga Cell Lipids using Nile Red using Microplates to Monitor Neutral Lipids in *Chlorella vulgaris*. Biotek Instrument Inc:USA.
- Herlinah. 2010. Karakteristik Genetik Berbagai Spesies *Chaetoceros* serta Analisis Pemanfaatannya pada Pembenihan Udang Windu. Dewan Riset Nasional :Jakarta.
- Idris, M. K. 2012. Efektivitas Penyerapan Karbodioksida (CO₂) oleh Fitoplankton (*Chaetoceros sp*) pada Fotobioreaktor. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB : Bogor.
- Jusadi, D. dan Mokoginta, I. 2003. Budidaya Pakan Alami Air Tawar. Direktorat Menengah Kejuruan. Jakarta.
- Kohar, G.A. 2010. Tingkat Penyerapan karbon dan kandungan minyak dalam Biomassa *Chlorella sp* pada Fotobioreaktor. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB : Bogor.
- Komarawidjaja, W. 2010. Optimalisasi Pemanfaatan Limbah Organik sebagai Substitusi Media Kultur Mikroalga dalam Upaya Mereduksi CO₂. Pusat Teknologi Lingkungan. Jakarta.
- Kordi. K., M. Ghufran, H. dan Andi, B. T. 2007. Pengelolaan Kualitas Air dalam Budidaya Perairan. Rineka Cipta. Jakarta.
- Kordi, M. G. H. K. 2009. Budi Daya Perairan (Buku Kedua). PT. itra Aditya Bakti : Bandung.
- Mara, I. M. 2012. Analisis Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂) engan Larutan NaOH terhadap Kualitas Biogas Kotoran Sapi. *Dinamika Teknik Mesin*. 2 (1).
- Meritasari, D., Jannah, R., Irshalina, D., Innayah, S. 2010. Eksplorasi Bahan Aktif Mikroalga Laut *Nannochloropsis oculata* sebagai Antibakteri (Penghambat) *Vibrio alginolyticus*. Unair : Surabaya.
- Muharram, N. 2006. Struktur Komunitas Perifiton dan Fitoplankton di Bagian Hulu Sungai Ciliwung Jawa Timur. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Musa, B., Indah, R., Seniwati, D. 2013. Pengaruh Penambahan Ion Cu²⁺ terhadap Laju Pertumbuhan Fitoplankton *Chlorella vulgaris*. FMIPA. Universitas Hasanudin : Makasar.
- Nugraha, A. H. 2012. Pemanfaatan Gas Karbondioksida (CO₂) pada Kultivasi Outdoor Mikroalga *Nannochloropsis sp*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB : Bogor.
- Nurhayati, T., Hermanto, M. B., Lutfi, M. 2013. Penggunaan Fotobioreaktor Sistem Batch Tersirkulasi terhadap Tingkat Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella vulgaris*, *Chlorella sp*. dan *Nannochloropsis oculata*. *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem*. 1 (3):249-257.

- Panggabean, L, M, G. 2011. Fiksasi Karbondioksida pada Mikroalga *Chlorella sp.*, strain Ancol dan *Nannochloropsis oculata*. *Jurnal Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. **37**(2):309-321.
- Prabowo, D. A. 2009. Optimasi Pengembangan Media untuk Pertumbuhan *Chlorella sp.* pada Skala Laboratorium. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB : Bogor.
- Prasetyo, B. Kusumaningrum, E. N. 2008. Mikroalga dan Kondisi Fisik Kimiawi Situ Babakan, Jagakarsa Jakarta Selatan. FMIPA. Universitas Terbuka : Jakarta.
- Prihantini, N. B., Putri, B., Yuniati, R. 2005. Pertumbuhan *Chlorella spp.* Dalam Medium Ekstrak Tauge (MET) dengan Variasi pH awal. *Makara sains*. **9** (1):1-6.
- Pujiono, A.E. 2013. Pertumbuhan *Tetraselmis chuii* pada Medium Air Laut dengan Intensitas Cahaya, Lama Penyinaran dan Jumlah Inokulan yang Berbeda pada Skala Laboratorium. Fakultas MIPA. UNEJ : Jember.
- Purwaningsih, S. 2007. Kemampuan Serapan Karbondioksida pada Tanaman Hutan Kota di Kebun Raya Bogor. Fakultas Kehutanan. IPB:Bogor.
- Rahayu, S., Purwaningsih, D., Pujiyanto. 2009. Pemanfaatan Kotoran Ternak Sapi sebagai Sumber energi Alternatif Ramah Lingkungan beserta Aspek Sosio Kulturalnya. FISE. UNY:Yogyakarta.
- Rahman, D. A. 2011. Aktivitas Anthiperglikemik dari Biomassa dan Polisakarida Ekstraseluler *Porphyridium cruentum* sebagai Inhibitor α -Glukosidase. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB : Bogor.
- Rahmi, D. A. Sumardi. Setiawan, I. 2010. Monitoring Kandungan Karbondioksida (CO₂) dalam Sebuah Model Ruang Berbasis Mikrokontroler Atme GA8535. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro : Semarang.
- Rianawaty, I. 2009. Fotosintesis. idianawati@yahoo.co.id.
- Rizky, Fajri, Karmini dan Ningtiasih. 2009. *Praktikum Perencanaan Pengoprasian dan Pemeliharaan (P3) IPAL*. Departemen Perindustrian Akademi Kimia Analisis. Bogor.
- Riyono, S. H. 2007. Beberapa Sifat Umum dari Klorofil Fitoplankton. *Jurnal Oseana*. **XXXII** (1) : 23-31.
- Rosita, E. Melani, W. R. Zulfikar, A. 2013. Efektivitas Fitoremediasi Kangkung Air (*Ipomoea aquatic* FORSK) terhadap Penyerapan Orthopospat pada Detergen Ditinjau dari Detensi Waktu da Konsentrasi Orthopospat. Faculty of Marine Science and Fisheries.
- Santoso, R. I. B. 2012. Model Perencanaan Ruang Terbuka Hijau Berbasis Target Konsentrasi Karbondioksida dan Kondisi Meteorology

(Studi Kasus Kota Surabaya). Ilmu Pertanian. Universitas Brawijaya : Malang.

Sappewali. 2009. Penentuan Intensitas Cahaya Optimum pada Pertumbuhan dan Kadar Lipid Mikroalga *Tetraselmis chuii*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. ITS:Surabaya.

Suantika, G., Adityawati, P., Astuti, D. I., Sofyan, Y. 2009. Pengaruh Kepadatan Awal Inokulum terhadap Kualitas Kultur *Chaetoceros gracilis* (Schut) pada Sistem Batch. ITB:Bandung.

Suarantika, C., Diana, E. I., Mega, P., Oktaviani, H., Rika., T. 2013. Sterilisasi dan Pengenalan Peralatan Mikrobiologi. Fakultas Farmasi dan Sains. Universitas Muhammadiyah.

Subarijanti, H. U. 2005. Diktat Kuliah Limnologi. LUW/ UNIBRAW/ FISH/. Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya. Malang.

Sumardianto. 1995. Struktur Komunitas Fitoplankton di Perairan Teluk Pelabuhan Ratu, Jawa Barat. Fakultas Perikanan. IPB:Bogor.

Suyitno. 2005. Fotosintesis. Fakultas MIPA. UNY:Yogyakarta.

Triswanto, Y. 2011. Kultivasi Diatom Penghasil Biofuel Jenis *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* sp., dan *Chaetoceros gracilis* pada Sistem Indoor dan Outdoor. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB : Bogor.

Utomo, B. 2007. Fotosintesis pada Tumbuhan. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara:Medan.

Wahyuni, S. 2011. Biogas Energi Terbarukan Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan. Kongres Ilmu Pengetahuan Nasional. Jakarta.

Wibowo, K.T. 2008. Cara Mengkultur Benthic Diatom dari Skala Lab sampai Skala Masal Untuk Suplai Pakan Larva Abalone. <http://kumpulblogger.com/mac.php>. Diakses pada tanggal 31 Mei 2014.

Wijoseno, T. 2011. Uji Pengaruh Variasi Media Kultur terhadap Tingkat Pertumbuhan dan Kandungan Protein Lipid, Klorofil dan Karotenoid pada Mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia:Depok.

Yusuf, G. 2008. Bioremediasi Limbah Rumah Tangga dengan Sistem Simulasi Tanaman Air. Fakultas MIPA Universitas Islam Makassar. *Jurnal Bumi Lestari*. **8**.(2) : 136-144.

Zumaritha, F. 2011. Pemanfaatan Karbondioksida (CO₂) untuk Kultivasi Mikroalga *Nannochloropsis* sp sebagai Bahan Baku Biofuel. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB:Bogor.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Alat Penelitian dan Fungsi

No.	Alat	Fungsi
1.	Kran	Sebagai alat pengatur masukan karbon dioksida dan mikroalga
2.	Wadah Kaca (Reaktor)	Sebagai wadah atau reaktor mikroalga
3.	Termometer	Untuk mengukur suhu air
4.	Gelas ukur	Sebagai alat ukur volume air dan mikroalga
5.	<i>Air Pump</i>	Sebagai pemutar Karbon dioksida (aerator) ke dalam reaktor
6.	<i>Haemocytometer</i>	Untuk menghitung kepadatan mikroalga
7.	Gas Analyzer merk Stargas 898	Untuk menguji CO ₂ dan O ₂
8.	Gas Holder	Untuk menampung karbondioksida
9.	Autoclave	Untuk mensterilkan alat dan bahan
10.	Refraktometer	Untuk mengukur salinitas
11.	Mikroskop	Untuk melihat jenis dan menghitung biomassa mikroalga
12.	DO meter	Untuk mengukur kandungan oksigen terlarut
13.	Pipet tetes	Untuk mengambil larutan dalam skala kecil
14.	Pipet volume	Untuk mengambil larutan sesuai volume yang diinginkan
15.	Bola hisap	Untuk membantu mengambil larutan
16.	Cuvet	Sebagai wadah sampel untuk pengukuran nitrat dan orthofosfat
17.	Hot Plate	Untuk memanaskan air sampel sampai menjadi kerak
18.	Spatula	Untuk menghomogenkan larutan

19.	Erlenmeyer 50 ml	Sebagai wadah sampel
20.	Beaker glass 50 dan 100 ml	Sebagai wadah sampel
21.	Batu aerasi	Untuk mengatur sirkulasi udara dalam air
22.	Spektrofotometer	Untuk mengukur panjang gelombang
23.	Cawan Porselen	Sebagai wadah larutan saat dipanaskan
24.	Botol Film	Sebagai wadah sampel plankton
25.	Gelas ukur	Untuk mengukur volume larutan
26.	Buret	Sebagai wadah larutan titrasi
27.	Statif	Untuk penyanggah buret
28.	Corong	Untuk membantu memasukkan larutan ke wadah yang lebih kecil



Lampiran 2. Bahan Penelitian dan Fungsinya

No.	Bahan	Fungsi
1.	Pipa PVC $\frac{1}{2}$ inch	Sebagai saluran keluar dan masuk karbon dioksida
2.	Inokulan Mikroalga (<i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Chaetoceros gracilis</i>)	Sebagai bibit kultur mikroalga dan untuk menyerap CO ₂
3.	Biogas	Sebagai sumber gas karbon dioksida
4.	Sambungan Pipa	Digunakan sebagai penghubung pipa
5.	Cahaya Matahari	Sebagai sumber cahaya yang digunakan untuk fotosintesis
6.	Air Laut	Sebagai media hidup mikroalga
7.	Akuades	Untuk membersihkan alat
8.	Klorin	Untuk mensterilkan air laut
9.	Natrium Tiosulfat	Untuk menghilangkan Klorin
10.	Pupuk	Untuk meningkatkan kadar nutrisi
11.	Alkohol 70%	Untuk sterilisasi
12.	Asam Fenol disulfonik	Untuk melarutkan kerak
13.	Larutan NH ₄ OH	Sebagai indikator suasana basa
14.	Larutan SnCl ₂	Sebagai indikator suasana basa
15.	Amonium molybdate	Untuk mengikat fosfat
16.	Indikator pp	Sebagai indikator warna merah muda pada suasana asam
17.	Na ₂ CO ₃	Sebagai bahan titran apabila air sampel mengandung CO ₂

Lampiran 3. Data Perhitungan Efektivitas Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂)

a. A₁B₁

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 2} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 14,67)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,0922 \times 100\%$$

$$= 9,22 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 4} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 10,11)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,3744 \times 100\%$$

$$= 37,44 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 6} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 6,01)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,6281 \times 100\%$$

$$= 62,81 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 8} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 2,38)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,8527 \times 100\%$$

$$= 85,27 \%$$

b. A₁B₂

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 2} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 13,33)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,1751 \times 100\%$$

$$= 17,51 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 4} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 10,17)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,3707 \times 100\%$$

$$= 37,07 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 6} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 5,8)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,6411 \times 100\%$$

$$= 64,11 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 8} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 2,61)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,8385 \times 100\%$$

$$= 83,85 \%$$

c. A₁B₃

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 2} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 14,61)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,0959 \times 100\%$$

$$= 9,59 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 4} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 8,02)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,5037 \times 100\%$$

$$= 50,37 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 6} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 4,46)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,7240 \times 100\%$$

$$= 72,40 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 8} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 1,71)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,8942 \times 100\%$$

$$= 89,42 \%$$

d. A₂B₁

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 2} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 13,34)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,1745 \times 100\%$$

$$= 17,45 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 4} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 8,73)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,4597 \times 100\%$$

$$= 45,97 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 6} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 4,52)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,7203 \times 100\%$$

$$= 72,03 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 8} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 1,15)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,9288 \times 100\%$$

$$= 92,88 \%$$

e. A₂B₂

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 2} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 12,97)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,1974 \times 100\%$$

$$= 19,74 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 4} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 8,62)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,4666 \times 100\%$$

$$= 46,66 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 6} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 3,81)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,7642 \times 100\%$$

$$= 76,42 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 8} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 1,25)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,9226 \times 100\%$$

$$= 92,26 \%$$

f. **A₂B₃**

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 2} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 13,19)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,1838 \times 100\%$$

$$= 18,38 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 4} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 7,95)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,5080 \times 100\%$$

$$= 50,80 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 6} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 3,86)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,7611 \times 100\%$$

$$= 76,11 \%$$

$$\text{- Efektivitas Hari Ke 8} = \frac{CO_2 \text{ awal} - CO_2 \text{ ak hir}}{CO_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{(16,16 - 0,89)}{16,16} \times 100\%$$

$$= 0,9449 \times 100\%$$

$$= 94,49 \%$$

Lampiran 4. Data Hasil Pengamatan Kualitas Air

Perlakuan	Lama Hari	Parameter yang diukur						
		Suhu (°C)	pH	Salinitas (ppt)	DO (mg/l)	CO ₂ terlarut (mg/L)	Nitrat (mg/l)	Fosfat (mg/l)
Baku Mutu		25-30 (Merita sari, 2010)	6-9 (Yusuf, 2008)	6-50 (Akbar, 2008)	5-8 (Firma nsyah, 2013)	10-60 (Effendi, 2003)	3,9-15,5 (Idris, 2012)	0,27-5,51 (Sumar dianto, 1995)
1x10⁶	0	29,3	8	35	8,94	11,89	3,19	0,17
	2	29,3	8	35	9,06	9,59	-	-
	4	29	8	35	8,66	7,79	-	-
	6	29,3	8	36	9,33	6,79	-	-
	8	28,7	8	40	8,31	5,57	2,68	0,02
Chlorella vulgaris 2x10⁶	0	29,3	8	35	8,49	12,72	2,68	0,37
	2	29	8	35	8,79	8,89	-	-
	4	28,7	8	35	8,78	6,43	-	-
	6	29	8	36	9,05	5,65	-	-
	8	28,7	8	37	9,13	4,72	2,43	0,57
3x10⁶	0	29,7	8	35	8,32	14,63	3,32	0,37
	2	29,3	8	35	9,22	9,51	-	-
	4	29,3	9	35	8,48	6,17	-	-
	6	29	9	36	9,41	5,37	-	-
	8	29,7	8	38	8,75	4,68	0,59	0,29
1x10⁶	0	30,3	8	36	8,91	10,91	0,58	0,24
	2	29,7	8	36	8,83	8,68	-	-
	4	29	8	35	9,33	8,39	-	-
	6	29	8	35	9,15	5,53	-	-
	8	29,7	8	39	9,58	3,65	0,57	0,03
Chaetoceros gracilis 2x10⁶	0	29,7	8	35	8,93	9,47	0,31	0,28
	2	30,3	8	37	8,35	9,1	-	-
	4	29,3	8	35	9,14	7,66	-	-
	6	29	9	35	9,26	5,43	-	-
	8	29,3	8	39	9,98	3,08	0,25	0,033
3x10⁶	0	29,3	8	36	9,01	8,37	0,95	0,17
	2	30,7	8	35	9,14	7,09	-	-
	4	29,3	8	35	9,28	5,49	-	-
	6	29,3	8	36	9,22	3,89	-	-
	8	29	8	39	10,12	2,17	0,24	0,033

Lampiran 5. Data Hasil Penyerapan Karbondioksida (CO₂)

Hari ke	<i>Chlorella vulgaris</i>			<i>Chaetoceros gracilis</i>			Total
	1x10 ⁶	2x10 ⁶	3x10 ⁶	1x10 ⁶	2x10 ⁶	3x10 ⁶	
0	16,16	16,16	16,16	16,16	16,16	16,16	96,96
2	14,67	13,33	14,61	13,34	12,97	13,19	82,11
4	10,11	10,17	8,02	8,73	8,62	7,95	53,6
6	6,01	5,8	4,46	4,52	3,81	3,86	28,46
8	2,38	2,61	1,71	1,15	1,25	0,89	9,99
Total	49,33	48,07	44,96	43,9	42,81	42,05	271,12

Jenis	Kelimpahan			Jumlah	Rerata
	1x10 ⁶	2x10 ⁶	3x10 ⁶		
Chlorella	49,33	48,07	44,96	142,36	9,490667
Chaetoceros	43,9	42,81	42,05	128,76	8,584
Jumlah	93,23	90,88	87,01	271,12	
Rerata	9,323	9,088	8,701		

Perhitungan :

$$\text{Faktor Koreksi (FK)} = \frac{(\text{Total Jendral})^2}{\text{Banyakpengamatan} \cdot (r \cdot a \cdot b)} = \frac{(271,12)^2}{(5 \cdot 3 \cdot 2)} = \frac{73506,05}{30} = 2450,202$$

$$\text{JKP} = \frac{\sum(\text{Total Perlakuan})^2}{r} - \text{FK} = \frac{12293,68}{5} - 2450,202 = 8,535$$

$$\text{JKA} = \frac{\sum(\text{Total taraf A})^2}{r \cdot b} - \text{FK} = \frac{36845,51}{5 \cdot 3} - 2450,202 = 6,165$$

$$\text{JKB} = \frac{\sum(\text{Total taraf B})^2}{r \cdot a} - \text{FK} = \frac{24521,75}{5 \cdot 2} - 2450,202 = 1,973$$

$$\text{JKAB} = \text{JKP} - \text{JKA} - \text{JKB} = 8,535 - 6,165 - 1,973 = 0,397$$

$$\text{JKG} = \text{JKT} - \text{JKP} = 885,431 - 8,535 = 876,896$$

$$\text{JKT} = \text{Jumlah Kuadrat Nilai Pengamatan} - \text{FK} = 3335,63 - 2450,202 = 885,431$$

Tabel Sidik Ragam

S.K	d.b	J.K	K.T.	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
Perlakuan	5	8.534987	1.706997			
Jenis	1	6.165333	6.165333	0.168741	4.26	7.82
Kelimpahan	2	1.972927	0.986464	0.026999	3.4	5.61
jenisxKelimp	2	0.396727	0.198364	0.005429	3.4	5.61
Galat	24	876.896	36.53733			
Total	29	885.431				

* = berbeda nyata

**=berbeda sangat nyata

Jenis mikroalga yang berbeda dan kelimpahan yang berbeda tidak memberikan pengaruh nyata terhadap penyerapan karbondioksida (CO₂).



Lampiran 6. Gambar Fotobioreaktor sebagai Reaktor dalam Penyerapan Karbondioksida oleh Mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chaetoceros gracilis*

