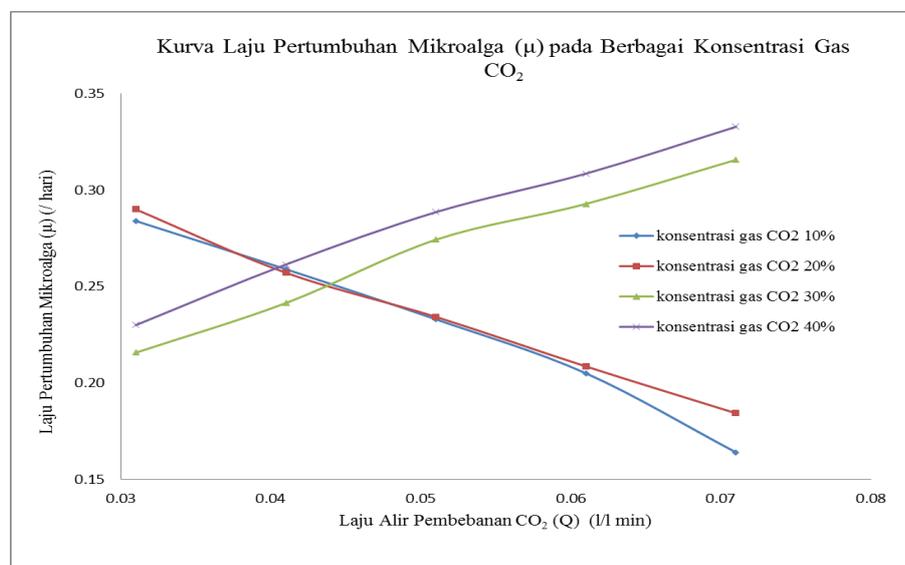


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Efek Laju Pembebanan Gas CO₂ terhadap Laju Pertumbuhan Mikroalga

Pada penelitian ini, laju pembebanan gas CO₂ dibuat bervariasi untuk mengetahui efek laju pembebanan gas CO₂ terhadap laju pertumbuhan mikroalga seperti terlihat dalam gambar 4.1



Gambar 4.1 Kurva laju pertumbuhan mikroalga pada berbagai konsentrasi gas CO₂

Pada gambar 4.1 terlihat semakin besar laju alir pembebanan gas CO₂ maka laju pertumbuhan mikroalga pada konsentrasi gas CO₂ 10% volume dan 20% volume mengalami penurunan sedangkan pada konsentrasi gas CO₂ 30% volume dan 40% volume mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan karena pada konsentrasi gas CO₂ 10% volume dan 20% volume menggunakan alat penelitian pertama (gambar 3.1) dengan desain terbuka sehingga gas CO₂ di dalam medium kultur mempunyai waktu tinggal yang singkat. Maka dari itu diperlukan *redesign* alat agar gas CO₂ mempunyai waktu tinggal dalam medium kultur lebih lama sehingga laju pertumbuhan mikroalga menjadi optimal. Alat yang telah didesain ulang (gambar 3.2) digunakan pada konsentrasi gas CO₂ 30% volume dan 40% volume.

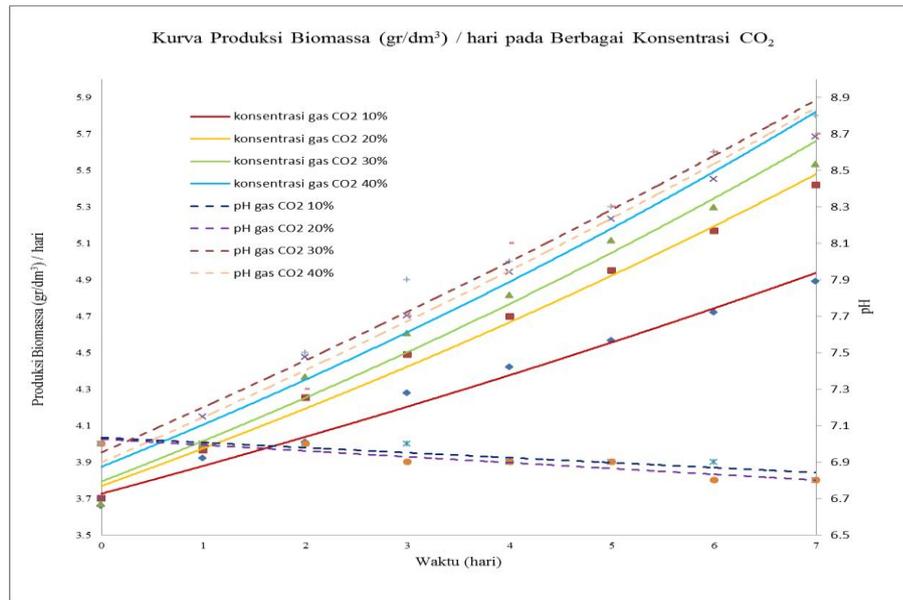
Menurut Wilde dan Benemann (1993), semakin tinggi laju alir gas CO₂ maka semakin tinggi laju pertumbuhan mikroalga dan produktivitas biomasanya. Pada penelitian yang dilakukan Wilde dan Benemann, reaktor yang digunakan berjenis *bubble column* dengan desain tertutup dan laju pembebanan gas CO₂ bervariasi yaitu 0,1 - 0,5 l/l min, sedangkan konsentrasi gas CO₂ yang digunakan adalah 40% volume. Hasilnya, laju pertumbuhan terbesar terdapat pada laju pembebanan gas CO₂ 0,5 l/l min sebesar 1,86 / hari. Hasil tersebut sesuai dengan percobaan pada konsentrasi gas CO₂ 30% volume dan 40% volume yang mempunyai laju pertumbuhan terbesar pada laju pembebanan CO₂ 0,07 l/l min yaitu 0,33 / hari.



Gambar 4.2 Foto alat penelitian yang telah didesain ulang

4.2 Efek Konsentrasi Gas CO₂ terhadap Produksi Biomassa

Pada penelitian ini, konsentrasi gas CO₂ dibuat bervariasi untuk mengetahui efek konsentrasi gas CO₂ terhadap produksi biomassa seperti terlihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Kurva produksi biomassa berbagai konsentrasi CO₂ (Q=0,07 l/l min)

Gambar di atas menunjukkan bahwa sampai konsentrasi gas CO₂ 40% volume dengan laju alir 0,07 l/l min menghasilkan biomassa 5,685 (g/dm³)/hari, sedangkan untuk konsentrasi awal gas CO₂ 10% volume hanya menghasilkan biomassa 4,892 (g/dm³)/hari, hal ini disebabkan karena CO₂ yang diserap oleh mikroalga digunakan untuk proses fotosintesis dimana hasil dari proses fotosintesis tersebut adalah karbohidrat yang merupakan sumber utama dari biomassa seperti pada persamaan (2), (3) dan (6). Produksi biomassa masih terus mengalami kenaikan seiring bertambahnya konsentrasi gas CO₂, hal ini membuktikan bahwa CO₂ pada medium kultur belum jenuh dan aktivitas CA (*Carbonic Anhydrase*) dalam mengkonversi CO₂ menjadi senyawa bikarbonat belum menurun sehingga konsentrasi gas CO₂ dalam penelitian ini masih dapat ditingkatkan sampai diperoleh harga biomassa yang konstan.

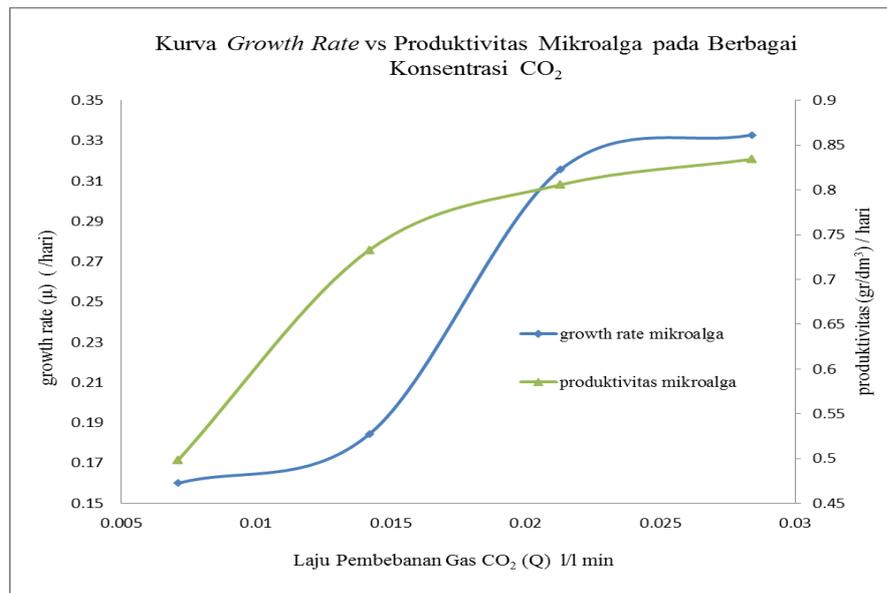
Karbondioksida (CO₂) merupakan faktor yang penting yang mempengaruhi pertumbuhan dan metabolisme mikroalga (Hoshida, et al., 2005). Mikroalga dapat menyerap CO₂ pada kisaran pH dan konsentrasi gas CO₂ yang berbeda. Efisiensi dari penyerapan CO₂ oleh mikroalga tergantung dari pH kultivasi dan dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi gas CO₂. Semakin tinggi konsentrasi gas CO₂ maka semakin besar pula pembentukan biomassa yang

terjadi. Gas CO₂ diserap oleh mikroalga dan digunakan untuk proses biofiksasi menghasilkan biomassa (Olaizola, et al., 2004).

Hal ini pernah dibuktikan pada penelitian yang dilakukan oleh Morais dan Costa (2007) mengenai CO₂ pada konsentrasi yang berbeda mulai dari 0,04%; 6%; 12% dan 18% yang ditambahkan untuk budidaya mikroalga eukariotik seperti *Chlorella kessleri*, *Vulgaris c.* dan *Obliquus scenedesmus*, dan yang prokariotik seperti *Spirulina sp.*, yang tumbuh dalam termostat dan di sebuah *photobioreactor*. Ketiga organisme tersebut mengalami pertumbuhan terbaik dan mulai konstan pada pemberian 18% CO₂.

4.3 Efek Laju Pembebanan Gas CO₂ terhadap *Growth Rate* dan Produktivitas Mikroalga

Pada penelitian ini, *growth rate* akan dibandingkan dengan produktivitas mikroalga seperti terlihat dalam gambar 4.4



Gambar 4.4 Kurva perbandingan *growth rate* dengan produktivitas mikroalga

Dari kurva terlihat bahwa pada konsentrasi gas CO₂ 10% volume dan 20% volume baik *growth rate* maupun produktivitas mengalami kenaikan, sedangkan pada konsentrasi gas CO₂ 30% volume dan 40% volume baik *growth rate* maupun produktivitas mulai konstan. Hal ini membuktikan bahwa senyawa bikarbonat

(HCO_3^-) pada konsentrasi gas CO_2 10% volume dan 20% volume masih bisa dimanfaatkan oleh kultur untuk dirubah ke dalam biomassa dengan bantuan CA (*Carbonic Anhydrase*), sedangkan pada konsentrasi gas CO_2 30% volume dan 40% volume, aktivitas CA sudah menurun sehingga efektivitas CA dalam memanfaatkan senyawa karbonat mulai berkurang.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Winarno dkk (2007), produktivitas mikroalga jenis *Chlamydomonas* mencapai $0,494 \text{ (g/dm}^3\text{)}/\text{hari}$ tanpa adanya penambahan nutrient. Sedangkan dari penelitian ini diperoleh produktivitas sebesar $0,834 \text{ (g/dm}^3\text{)}/\text{hari}$ dengan penambahan nutrient. Hal ini membuktikan bahwa untuk meningkatkan produktivitas mikroalga diperlukan ketersediaan nutrient.

Laju pertumbuhan (*growth rate*) berbanding lurus dengan produktivitas karena dengan laju pertumbuhan yang optimal akan menghasilkan produktivitas yang optimal pula. Mikroalga yang mempunyai pertumbuhan baik akan lebih aktif mengkonversi CO_2 menjadi biomassa sehingga produktivitas biomassa menjadi tinggi (Setiawan dkk, 2008).

4.4 Pengaruh Penambahan Nutrient pada Medium Kultur terhadap Pertumbuhan Mikroalga

Nutrisi yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga terdiri dari makro dan mikro nutrient. Untuk makro nutrient terdiri dari C, H, N, P, K, S, Mg dan Ca, sedangkan untuk mikro nutrient antara lain Fe, Cu, Mn, Zn, Co, Mo, Bo, Vn dan Si. Faktor pembatas untuk mikroalga adalah N dan P (Dallaire, et al., 2007).

Tabel 4.1 Pengaruh penambahan nutrient pada pertumbuhan mikroalga

Parameter	Tanpa nutrient (percobaan 1)	Dengan nutrient (percobaan 4)
Waktu kultivasi	10 hari	7 hari
Harga μ/hari ($Q=0,071 \text{ l/l min}$)	0,16	0,33
Produksi Biomassa	$4,892 \text{ (g/dm}^3\text{)}/\text{hari}$	$5,685 \text{ (g/dm}^3\text{)}/\text{hari}$

Pada tabel 4.1 terlihat bahwa pada percobaan 1 (tanpa penambahan nutrient), waktu yang dibutuhkan untuk kultivasi mikroalga lebih lama yaitu 10 hari dibandingkan percobaan 4 (dengan penambahan nutrient) yang hanya

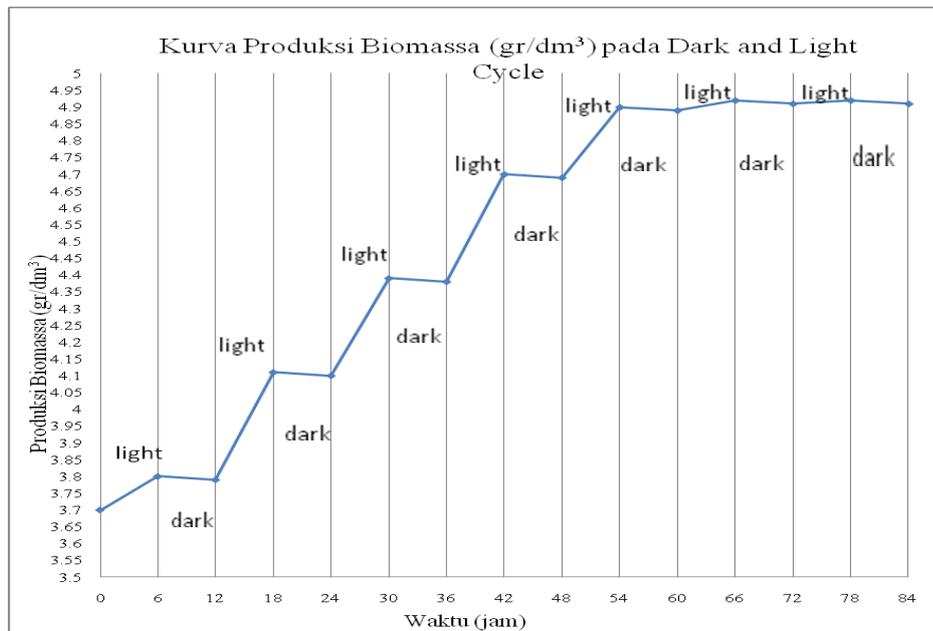
membutuhkan waktu 7 hari. Sedangkan laju pertumbuhan pada percobaan 4 lebih besar dibandingkan dengan percobaan 1 begitu pula dengan produksi biomasanya.

Hal ini disebabkan karena dengan penambahan nutrient, mikroalga memperoleh tambahan makanan untuk pertumbuhannya sehingga dapat mempersingkat waktu kultivasi mikroalga. Perbandingan pemberian nutrient (C : N : P) sangat mempengaruhi pertumbuhan mikroalga. Pada percobaan 1, mikroalga tidak memperoleh nitrat yang cukup sedangkan pada percobaan 4, nitrat dibuat berlebih sehingga pertumbuhan mikroalga menjadi lebih cepat.

Penelitian yang dilakukan oleh Richmond (2004) menunjukkan hasil yang sama yaitu pada pemberian nitrat yang berlebih pada medium kultur mikroalga menyebabkan pertumbuhan mikroalga 2 kali lebih cepat yaitu 6 hari dibandingkan dengan medium tanpa nutrient yang membutuhkan waktu 13 hari.

4.5 Pengaruh Pencahayaan (*Light and Dark Cycle*) terhadap Pembentukan Biomassa

Pada penelitian ini, cahaya sangat berpengaruh pada pembentukan biomassa seperti terlihat dalam gambar 4.5



Gambar 4.5 Kurva produksi biomassa pada *dark and light cycle*

Pada grafik di atas terlihat perbedaan laju pembentukan biomassa antara kondisi terang dan gelap. Pada kondisi gelap, mikroalga tidak melakukan proses sintesa biomassa melainkan mempertahankan hidupnya dengan cara melakukan respirasi sel sehingga medium kultur menjadi jenuh oleh senyawa karbonat yang tidak dimanfaatkan mikroalga. Hal ini menyebabkan pengurangan proses transfer gas CO₂ ke dalam medium kultur (Wijanarko dkk, 2007). Namun pada akhirnya antara kondisi terang maupun gelap menghasilkan produksi biomassa yang konstan karena CTR (*Carbon Transfer Rate*) pada umumnya memiliki nilai yang tinggi pada awal masa pertumbuhan dimana konsentrasi gas CO₂ di dalam medium kultur masih di bawah ambang kejenuhan, sehingga gas CO₂ lebih mudah larut dalam medium kultur. Selain itu, kenaikan jumlah sel yang sangat besar mempertinggi penyerapan gas yang terlarut dalam bentuk HCO₃⁻ oleh mikroalga. CTR kemudian akan cenderung menurun seiring dengan waktu karena terjadinya ketidaksetimbangan antara peningkatan jumlah sel dengan besarnya biofiksasi CO₂ yang mengakibatkan produksi biomassa menjadi konstan kemudian menurun.

4.6 Kemampuan Biofiksasi CO₂ oleh Mikroalga

Pada penelitian ini, kemampuan mikroalga *Chlamydomonas sp* dalam menyerap gas CO₂ terlihat dalam tabel 4.2

Tabel 4.2 CO₂ yang terserap oleh mikroalga pada laju alir gas CO₂ 0,07 l/min

Konsentrasi gas CO ₂ (% volume)	CO ₂ terlarut awal (%)	CO ₂ terlarut akhir (%)	CO ₂ yang terserap (%)
10	8,82	3,03	5,79
20	17,73	5,88	11,85
30	29,76	9,15	20,61
40	38,44	12,09	26,35

Pada tabel 4.3 di atas terlihat kemampuan penyerapan gas CO₂ oleh mikroalga mencapai 26,35 % sebanding dengan penambahan konsentrasi gas CO₂. Hal ini membuktikan bahwa CO₂ digunakan oleh mikroalga untuk menambah jumlah sel dalam medium kultur dimana sel-sel mikroalga tersebut mulai memproduksi biomassa. Produksi biomassa masih terus bertambah berbanding

lurus dengan penambahan konsentrasi CO₂. Hal ini menjelaskan bahwa aktivitas CA belum menurun sehingga konsentrasi CO₂ masih bisa ditingkatkan.

Menurut Benemann (1997), penggunaan karbondioksida pada kultivasi mikroalga memiliki beberapa keuntungan, seperti mikroalga tumbuh di air, lebih mudah diamati pertumbuhannya daripada tumbuhan tingkat tinggi, mikroalga dapat tumbuh sangat cepat dan mikroalga tidak membutuhkan tempat atau lahan yang sangat luas untuk tumbuh. Untuk organisme seperti mikroalga, karbondioksida merupakan faktor yang penting yang mempengaruhi pertumbuhan dan metabolisme mikroalga (Hoshida, et al., 2005).

Hasil ini tidak lepas dari faktor CCM atau CO₂ *Concentrating Mechanism* yang membahas mengenai CA (*Carbonic Anhydrase*) yang terdapat pada *intracellular* maupun *extracellular*, dimana CA dimanfaatkan untuk membantu proses fotosintetik senyawa karbonat menjadi biomassa. CO₂ yang terdapat pada medium kultur akan menjadi jenuh sehingga akan berubah menjadi senyawa karbonat apabila bereaksi dengan air. Senyawa karbonat inilah yang akan dirubah ke biomassa dengan bantuan CA.

Semakin tinggi kerapatan sel pada medium kultur menyebabkan kondisi medium kultur meningkat tingkat kebasannya (pH semakin tinggi) dan hal itu menyebabkan peningkatan CO₂ terlarut dalam medium kultur (Wijanarko dkk, 2007).

Tabel 4.3 Nilai pH pada berbagai konsentrasi CO₂ selama masa kultivasi

Hari ke-	pH pada percobaan ke-			
	I (CO ₂ 10% volume)	II (CO ₂ 20% volume)	III (CO ₂ 30% volume)	IV (CO ₂ 40% volume)
1	7	7	7	7
2	7	7	7,5	7,3
3	7	6,9	7,9	7,7
4	6,9	6,9	8	8,1
5	6,9	6,9	8,3	8,3
6	6,9	6,8	8,6	8,6
7	6,8	6,8	8,8	8,7

Pada tabel 4.3 terlihat bahwa pada percobaan 1 dan 2 pH semakin turun (asam) karena medium kultur tidak tumbuh yang disebabkan oleh kandungan

nitrat pada medium kultur kurang, sedangkan pada percobaan 3 dan 4 pH semakin naik (basa) karena kandungan nitrat tercukupi (dibuat berlebih). Seperti yang terlihat pada gambar 2.6 bahwa saat CO₂ mencapai 100% dan mulai jenuh maka CO₂ akan bereaksi dengan air dan berubah menjadi HCO₃⁻. Semakin tinggi HCO₃⁻ maka semakin tinggi konversi ke biomassa dengan bantuan CA (*Carbonic Anhydrase*). Terlihat pula bahwa kondisi pH yang optimal untuk pembentukan HCO₃⁻ adalah 8-9 (basa). Senyawa bikarbonat tersebut lama kelamaan akan mengalami penurunan dan berubah menjadi ion karbonat (Bedell, 1984).