

PENGURANGAN KADAR CO₂ MENGGUNAKAN SPIRULINA PLATENSIS DALAM TUBULAR BIOREACTOR

Zainal Syam Arifin

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Halu Oleo, Kendari, 93231
e-mail: zhettha@gmail.com

ABSTRACT

Increasing the population impact on increasing energy demand. On the other hand, the energy generation industry has been blamed as one of the contributors of carbon dioxide about 25% of total CO₂ emissions worldwide. Meanwhile, the production of biogas, which aims to address the increasing need of energy, produces carbon dioxide in the range of 25–50% by volume. To overcome this, a cheap method, optimum and efficient as well as environmentally friendly in reducing CO₂ levels by using Spirulina platensis is needed. This research aims to created a mathematical models and found the optimum flow rate to reduced levels of CO₂ by using Spirulina platensis. This study used a glass tubular bioreactor (D = 2.6 cm) at a temperature of 30°C and irradiated with a fluorescent lamp Philips TL 36 Watt, color temperature: 6,200K cool daylight, light output: 2,600 lm, 72 lm/W. Tubular reactor was placed in a box lined with silver foil walls on three sides. With mathematical models of tubular reactor, the reaction rate constants could be predicted. Based on calculations of data and graphs, optimum volumetric velocity could also be predicted. Variation of flowrate to observed the reduction rate of CO₂ was 0.25 mL/sec, 0.35 mL/sec, 0.5 mL/sec, 0.75 mL/sec, 1 mL/sec. Carbon source was 99.99% CO₂. Observations of Spirulina growth was made on the flow rate of 0.25 mL/sec at the initial levels of dry weight 2.1208 g/L. The results of this study indicated that the low flowrate was a more effective way to reduced carbon dioxide levels using Spirulina platensis ($k_{CO_2} = 2.82 \times 10^4 \text{ sec}^{-1}$). The highest conversion was obtained at a volumetric flow rate of 0.25 mL/sec and optimum speeds in the range of 0.3 to 0.4 mL/sec. The rate of incoming CO₂ flux should be less than 0.047 mL/cm².detik. Specific Growth Rate (μ) of Spirulina platensis in this study was $2.56 \times 10^{-2} \text{ minute}^{-1}$.

Keywords: *Spirulina platensis, a vertical tubular bioreactor, CO₂ reduction*

ABSTRAK

Meningkatnya jumlah penduduk berdampak pada peningkatan kebutuhan energi. Di lain pihak, industri pembangkit energi dituding sebagai salah satu penyumbang karbon dioksida sekitar 25% dari total emisi CO₂ di seluruh dunia. Disisi lain, produksi biogas yang bertujuan untuk mengatasi peningkatan kebutuhan energi justru menghasilkan karbon dioksida pada kisaran 25 – 50% volume. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan metode yang murah, optimum dan efisien serta ramah lingkungan dalam mengurangi kadar CO₂ dengan menggunakan spirulina platensis. Penelitian ini bertujuan membuat model matematik dan menemukan kecepatan aliran yang optimum untuk menurunkan kadar CO₂ dengan menggunakan Spirulina Platensis. Penelitian ini menggunakan reaktor tubular terbuat dari kaca (D = 2,6 cm) pada suhu 30°C dan disinari dengan lampu TL Philips fluoresen 36 Watt, temperatur warna: 6.200K cool daylight, light output: 2.600 lm, 72 lm/W. Reaktor tubular ditempatkan dalam kotak yang dilapisi dinding dengan kertas perak pada ketiga sisinya. Dengan model matematik reaktor tubular, dapat diprediksi konstanta kecepatan

reaksinya. Berdasarkan grafik hasil perhitungan data, kecepatan volumetrik optimumnya juga dapat diprediksi. Variasi flowrate yaitu 0,25 mL/detik, 0,35 mL/detik, 0,5 mL/detik, 0,75 mL/detik, 1 mL/detik. Sumber karbon adalah CO₂ 99,99%. Pengamatan pertumbuhan Spirulina dilakukan pada flow rate 0,25 mL/detik dengan kadar berat kering mula – mula 2,1208 g/L. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aliran lambat (flowrate rendah) merupakan cara yang lebih efektif dalam mengurangi karbon dioksida menggunakan spirulina platensis ($k_{CO_2} = 2,82 \times 10^{-4}$ detik⁻¹). Nilai konversi tertinggi diperoleh pada kecepatan aliran volumetrik 0,25 mL/detik dan kecepatan optimumnya pada kisaran 0,3 – 0,4 mL/detik. Laju flux CO₂ masuk sebaiknya kurang dari 0,047 mL/cm².detik. Nilai *Specific Growth Rate* (μ) Spirulina Platensis dalam penelitian ini yaitu $2,56 \times 10^{-2}$ menit⁻¹.

Kata Kunci: Spirulina platensis, reaktor tubular vertikal, pengurangan kadar CO₂

PENDAHULUAN

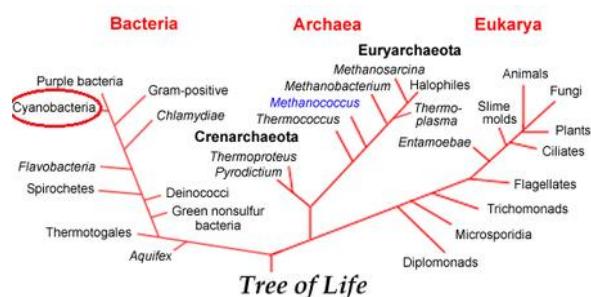
Meningkatnya jumlah penduduk berdampak pada peningkatan kebutuhan energi. Di lain pihak, industri pembangkit energi dituding sebagai salah satu penyumbang karbon dioksida sekitar 25% dari total emisi CO₂ di seluruh dunia. Disisi lain, produksi biogas yang bertujuan untuk mengatasi peningkatan kebutuhan energi justru menghasilkan karbon dioksida pada kisaran 25 – 50% volume. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan metode yang murah, optimum dan efisien serta ramah lingkungan dalam mengurangi kadar CO₂ dengan menggunakan spirulina platensis.

Penelitian ini bertujuan membuat model matematik dan menemukan kecepatan aliran yang optimum untuk menurunkan kadar CO₂ dengan menggunakan Spirulina Platensis. Penelitian ini menggunakan reaktor tubular vertikal pada suhu 30°C dan disinari dengan lampu TL Philips fluoresen 36 Watt, temperatur warna: 6.200K cool daylight, light output: 2.600 lm, 72 lm/W. Reaktor tubular ditempatkan dalam kotak yang dilapisi dinding dengan kertas perak pada ketiga sisinya. Dengan model matematik reaktor tubular, dapat diprediksi konstanta kecepatan reaksinya. Berdasarkan grafik hasil perhitungan data, kecepatan volumetrik optimumnya juga dapat diprediksi. Variasi flowrate yaitu 0,25 mL/detik, 0,35 mL/detik, 0,5 mL/detik, 0,75 mL/detik, 1 mL/detik.

Kadar berat kering spirulina adalah 2,1204 gram/L. Sumber karbon adalah CO₂ 99,99%.

Beberapa penelitian pada mikroalga Spirulina Platensis telah banyak dilakukan diantaranya adalah pengaruh konsumsi CO₂, pengaruh cahaya, temperatur, dan pH terhadap pertumbuhan Spirulina oleh vonshak.

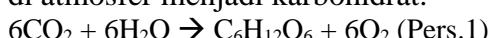
Arthrosphaera platensis adalah anggota phylum Cyanobacteria, yaitu kelompok bakteri yang sanggup memperoleh energi melalui fotosintesis dan memiliki warna hijau kebiruan (Fedor, 2011).



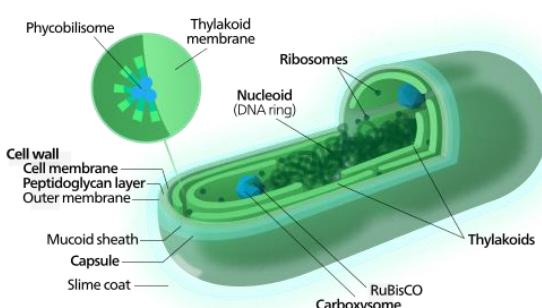
Gambar 1. Tree of Life Spirulina Platensis (Fedor, 2011)

Fotosintesis adalah suatu proses metabolisme di mana semua organisme photoautotrophic, yaitu bakteri fotosintetik, cyanobacteria dan tanaman tingkat tinggi, dapat mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dalam bentuk karbohidrat. Selama fotosintesis oksigenik pada cyanobacteria dan

tumbuhan tingkat tinggi, energi cahaya digunakan untuk mengangkut elektron dari air ke NADP⁺ dengan evolusi yang serupa dengan oksigen. ATP dan NADPH yang dihasilkan selama proses berbasis cahaya tersebut kemudian digunakan untuk konversi enzimatik CO₂ di atmosfer menjadi karbohidrat.



Lokasi dari reaksi fotosintesis cahaya adalah pada membran tilakoid (Mohanty, Srivastava, & Krishna, 2002).



Gambar 2. Sebuah sel Cyanobacteria (Kelvinsong, 2013)

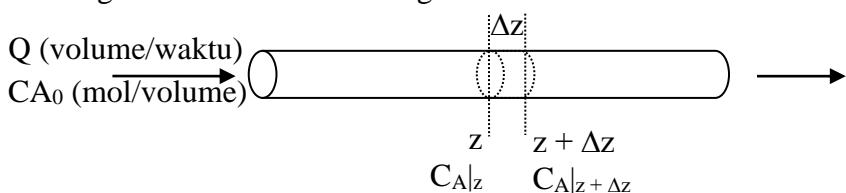
Spirulina mengkonsumsi CO₂ (fiksasi karbondioksida) dalam proses fotosintesis terdiri dari dua tahap yang disebut reaksi terang, yang membutuhkan

cahaya dan melibatkan pemecahan air serta pelepasan oksigen, dan reaksi gelap atau siklus Calvin, yang mengubah karbon dioksida menjadi gula (Taiz & Zeiger, 2002)

Spirulina Maxima dan *Spirulina Platensis* adalah cyanobacteria berbentuk plankton yang membentuk populasi besar di perairan daerah tropis dan subtropis yang dicirikan oleh tingginya kadar karbonat dan bikarbonat serta pH yang tinggi (sampai 11). Jika *Spirulina platensis* tampaknya menjadi spesies yang lebih luas terutama ditemukan di Afrika, juga di Asia dan Amerika Selatan, namun *Spirulina maxima* secara esensial tampaknya terbatas sampai ke Amerika Tengah. Spesies yang terakhir ini merupakan komponen utama dari fitoplankton danau Texcoco, yang dapat dianggap sebagai habitat asli spesies ini. Demikian pula, danau garam alkali dari zona setengah gurun Sudan-Sahel, dengan pusat gempa di danau Chad, dan yang berasal dari lembah Rift, didominasi oleh bunga air *S. platensis*, dapat dianggap sebagai titik awal spesies ini (Tomaselli, 2002).

Permodelan matematik

Aliran gas karbon dioksida mengikuti model reaktor tubular.



$$Q.C_A|_z - Q.C_A|_{z+\Delta z} + 0 - (-r_A).V = 0 \text{ (steady state)}$$

$$\text{dimana, } V = \pi.r^2.\Delta Z = \frac{1}{4}.\pi.D^2.\Delta Z, \text{ sehingga } \frac{C_A|_{z+\Delta z} - C_A|_z}{\Delta Z} = -(-r_A)\frac{1}{4}.\pi.\frac{D^2}{Q}$$

$$\text{Untuk } \lim_{\Delta Z \rightarrow 0} \frac{C_A|_{z+\Delta z} - C_A|_z}{\Delta Z}, \text{ diperoleh}$$

$$\frac{dC_A}{dC_Z} = -(-r_A) \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{Q} \quad (\text{Pers. 2})$$

Ada 2 kemungkinan order reaksi:

1. Order reaksi = 1 (n=1) maka
 $-r_A = k_A \cdot C_A$
2. Order reaksi $\neq 1$ (n \neq 1) maka
 $-r_A = k_A \cdot C_A^n$

- (i). Untuk Reaksi Order 1, maka
 $-r_A = k_A \cdot C_A$:

$$\frac{dC_A}{dZ} = -(k_A \cdot C_A) \frac{\pi \cdot D^2}{4Q}$$

$$\int_{C_A=C_{A_0}}^{C_A=C_A} \frac{dC_A}{C_A} = -\frac{k_A \pi D^2}{4Q} \int_{Z=0}^{Z=Z} dZ$$

$$\ln C_A = \ln C_{A_0} - \frac{k_A \pi D^2 Z}{4} \cdot \frac{1}{Q} \quad (\text{pers. 3})$$

- (ii). Untuk Reaksi Order n \neq 1, maka

$$-r_A = k_A \cdot C_A^n$$

$$\frac{dC_A}{dZ} = -(k_A \cdot C_A^n) \frac{\pi \cdot D^2}{4Q}$$

$$\int_{C_A=C_{A_0}}^{C_A=C_A} \frac{dC_A}{C_A^n} = -\frac{k_A \pi D^2}{4Q} \int_{Z=0}^{Z=Z} dZ$$

$$\frac{1}{1-n} C_A^{1-n} = \frac{1}{1-n} C_{A_0}^{1-n} - \frac{k_A \pi D^2 Z}{4} \cdot \frac{1}{Q} \quad (\text{pers. 4})$$

C_A = kadar karbon dioksida keluar pada posisi Z, (mol/L)

C_{A_0} = kadar karbon dioksida masuk pada posisi Z = 0, (mol/L)

Q = flow rate, (mL/detik)

D = diameter reaktor, dan

Z = panjang reaktor, dapat dinyatakan sebagai volume reaktor tubular

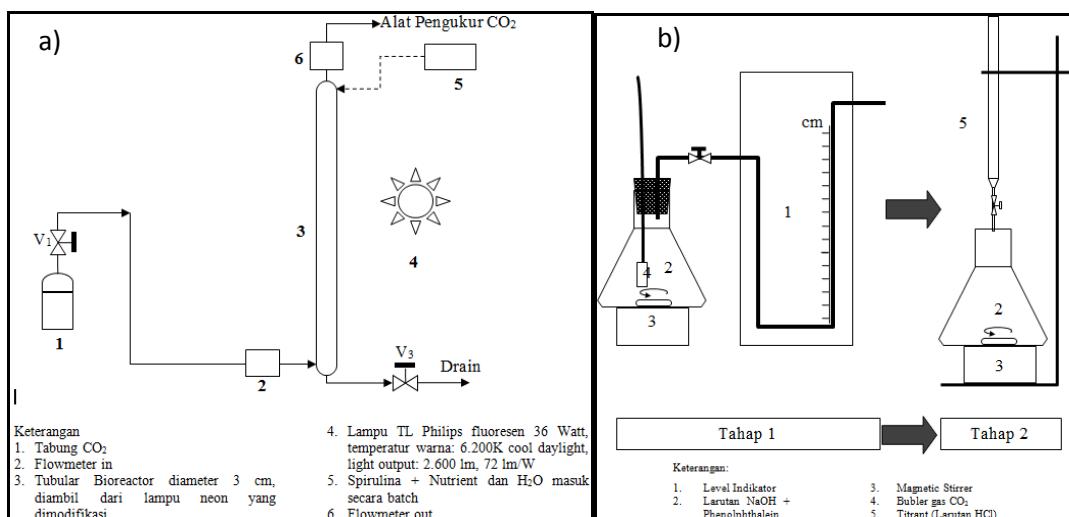
$$V_r = \frac{\pi D^2 Z}{4} \quad (\text{mL}).$$

Pertumbuhan Spirulina mengikuti model reaktor batch dengan Pers. 4 $n=1$ dan Nilai Specific Growth Rate (μ) Spirulina dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut dibawah ini.

$$\ln C_{S_p} = \ln C_{S_{p_0}} + \mu t \quad (\text{pers. 5})$$

C_{S_p} = kadar spirulina pada setiap waktu t, (g/L)

$C_{S_{p_0}}$ = kadar spirulina mula-mula pada waktu t = 0, (g/L)



Gambar 3. Rangkaian Peralatan Tubular bioreactor dan Pengukuran CO₂

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan-bahan: Spirulina Platensis, gas karbon dioksida 99,99%, air laut steril, pupuk walne, serta Larutan NaOH 0,01 N dan HCl 0,01 N.

Alat Penelitian

Skema alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

Prosedur Penelitian

1. Pembibitan Spirulina Platensis

Sebanyak 200 mL bibit Spirulina Platensis ditambahkan 800 mL air laut steril sehingga volumenya menjadi 1000 mL. Sebanyak 1 mL pupuk Walne dimasukkan ke dalam kolom pembibitan tersebut. Selanjutnya di aerasi dalam ruangan indoor berumur 4 hari dan diberi cahaya lampu daylight.

2. Variasi flow rate

a). Terlebih dahulu ke dalam reaktor dimasukkan larutan media spirulina (hanya berisi media air dan nutrien spirulina, tanpa kehadiran Spirulina) dengan volume 500 mL. Kemudian lampu daylight dinyalakan agar diperoleh kondisi lingkungan (suhu) yang sama ketika dilakukan dengan kehadiran Spirulina. Kran CO₂ dibuka secara perlahan (menggunakan regulator) sampai flowrate tertentu (Q1). Kemudian gas CO₂ yang keluar ditampung dalam

alat pengukur CO₂ (Gambar 3.1b). Percobaan diulangi untuk flowrate yang lain (Q2, Q3, dst). Suhu dalam reaktor konstan 30°C.

b). Cara yang sama dengan langkah (a) di atas namun spirulina telah dimasukan dalam reaktor.

3. Flow rate tetap

Dipilih salah satu flowrate yang sudah pernah dilakukan sebelumnya yaitu 0,25 mL/detik. Sama seperti proses 2b di atas namun pada setiap selang waktu 5 menit selama 1 jam diambil sampel melalui drain dan diukur kadar berat keringnya.

4. Cara Pengukuran Karbon Dioksida dengan Menggunakan Titrasi

Jumlah mol CO₂ yang dikonsumsi Spirulina setiap detik ($t=5$) adalah

$$= \left(\frac{(N_{HCl} \cdot V_{HCl})_{outlet} - (N_{HCl} \cdot V_{HCl})_{inlet}}{t} \right) mol/detik$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Kecepatan Volumetrik Karbon Dioksida terhadap Laju Konversi

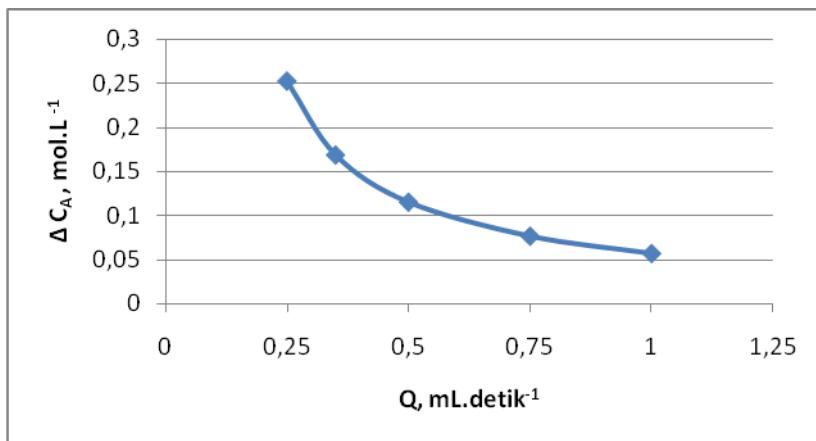
Gas CO₂ dialirkan secara kontinyu dalam tubular bioreaktor. Kadar CO₂ masuk dan kadar CO₂ keluar diukur dengan cara titrasi, dan hasilnya disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kadar CO₂ yang keluar reaktor pada berbagai flowrate

Q	$C_{CO_{20}}$	C_{CO_2}
0,25 mL/detik	1,9847 mol/L	1,7327 mol/L
0,35 mL/detik	1,9847 mol/L	1,8161 mol/L
0,50 mL/detik	1,9847 mol/L	1,8694 mol/L
0,75 mL/detik	1,9847 mol/L	1,9078 mol/L
1,00 mL/detik	1,9847 mol/L	1,9274 mol/L

Tabel 2. Konsumsi CO₂ pada berbagai flowrate

Q (mL/detik)	Laju CO ₂ (mL/cm ² .detik)	ΔC_A (mol/L)
0,25	0,0117	0,2520
0,35	0,0165	0,1686
0,50	0,0235	0,1153
0,75	0,0353	0,0769
1,00	0,0471	0,0573

Gambar 3. Konsumsi CO₂ oleh 2,1204 g/L Spirulina pada berbagai flowrate

Dari Gambar 3, laju konversi CO₂ tertinggi diperoleh pada laju aliran volumetrik CO₂ terendah yaitu pada 0,25 mL/detik. Hal ini disebabkan, kecepatan flux CO₂ (Q/A) semakin rendah pada kecepatan volumetrik yang lebih rendah, sehingga waktu tinggal CO₂ dalam reaktor pun akan menjadi lebih lama. Pada kecepatan volumetrik 1 mL/detik, laju konversi sudah mulai menampakkan laju yang konstan yaitu sekitar 0,05 mol/detik.

Ini berarti, dalam kolom reaktor vertikal tanpa bahan isian, disarankan laju flux CO₂ masuk sebaiknya tidak boleh melebihi angka 0,047 m³.cm⁻².detik.

Berdasarkan perhitungan penyelesaian persamaan 3 dan 4, order reaksi adalah n=1 dan diperoleh nilai

kinetika reaksi (k_A) pengurangan karbon dioksida adalah $k_{CO_2} = 2,82 \times 10^{-4}$ detik⁻¹. Nilai ini sangat kecil sehingga tidak cocok diterapkan untuk mengurangi CO₂ dengan flowrate besar.

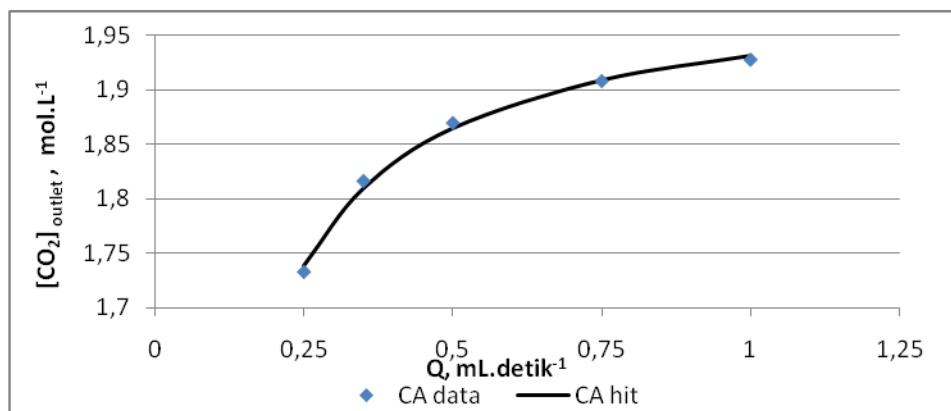
Berdasarkan Gambar 5, flowrate optimumnya diperoleh pada kisaran 0,3–0,4 mL/detik.

Pertumbuhan Spirulina pada flow rate tetap

Untuk mengamati pertumbuhan spirulina, proses dilakukan pada flowrate CO₂ tetap yaitu 0,25 mL/detik dan setiap selang waktu 5 menit dilakukan pengukuran berat kering spirulina, hasilnya disajikan dalam Tabel 5. Kadar berat kering spirulina mula – mula adalah 2,1208 g/L.

Tabel 3. Kadar CO₂ outlet dengan kadar spirulina awal 2,1204 gram/L pada berbagai flowrate

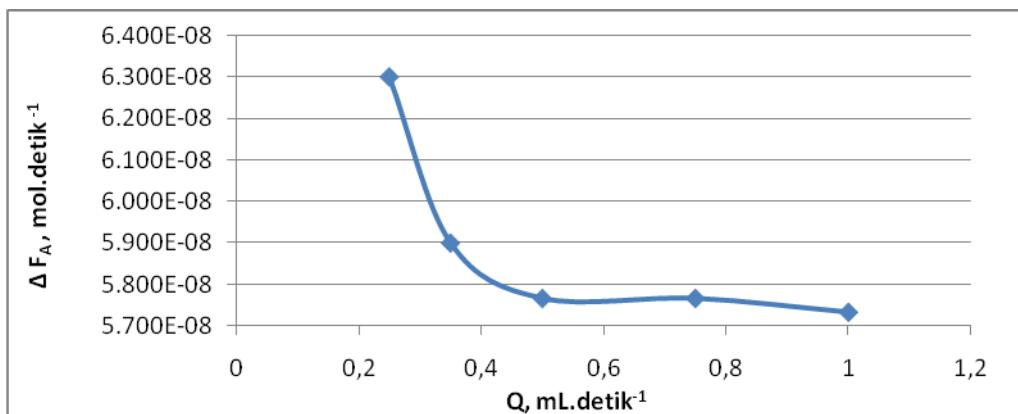
Q (mL/detik)	0,25	0,35	0,50	0,75	1,00
C_{CO_2} (mol/L)	1,7327	1,8161	1,8694	1,9078	1,9274



Gambar 4. Variasi kadar Karbon dioksida yang keluar reaktor pada berbagai Flow rate dengan kadar spirulina awal 2,1204 gram/L

Tabel 4. Konversi CO₂ dengan kadar spirulina awal 2,1204 gram/L pada berbagai flowrate

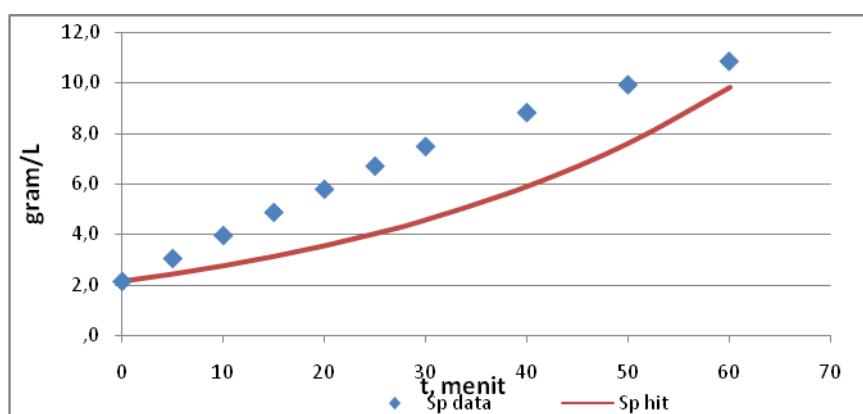
Q (mL/detik)	0,25	0,35	0,50	0,75	1,00
ΔF_A (mol/detik)	$6,30 \times 10^{-5}$	$5,90 \times 10^{-5}$	$5,76 \times 10^{-5}$	$5,76 \times 10^{-5}$	$5,73 \times 10^{-5}$



Gambar 5. Konversi CO₂ dengan kadar spirulina awal 2,1204 gram/L pada berbagai flowrate

Tabel 5. Kadar Spirulina pada setiap selang waktu pada flowrate 0,25 mL/detik

t (menit)	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60
C _{Sp} (g/L)	2,1208	3,0328	3,9471	4,8632	5,7810	6,6995	7,4793	8,8263	9,9268	10,8579



Gambar 6. Berat Spirulina pada setiap waktu dengan kadar mula-mula 2,1208 g/L dan flowrate tetap 0,25 mL/detik

Dengan metode linier penyelesaian persamaan 5, dapat dihitung nilai specific growth rate (μ) pertumbuhan spirulina yaitu $\mu=2,56\times10^{-2}\text{menit}^{-1}$. Pada flow rate, $Q = 0,25 \text{ mL/detik}$, dari Tabel 4 diperoleh, $\Delta F_A = 6,30\times10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{detik}}$

Jumlah O₂ yang dihasilkan setara dengan ΔF_A (persamaan 1), sehingga

$$F_{O_2} = \Delta F_A = 6,30\times10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{detik}}.$$

Diasumsikan, laju konversi tidak berkurang sampai waktu tertentu. Pada initial condition, jumlah oksigen yang diproduksi adalah,

$$C_{O_2} = \frac{6,30\times10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{detik}}}{0,25 \frac{\text{mL}}{\text{detik}}} = 8064 \text{ mg/L}$$

Menurut Torzillo, jika jumlah oksigen lebih dari 30 mg/L akan berpengaruh secara negatif terhadap pertumbuhan dan sintesis protein Spirulina. Kadar O₂ yang dihasilkan yaitu 8064 mg/L, berarti melebihi 30 mg/L. Berdasarkan Gambar 6, semakin lama waktu yang dibutuhkan, semakin berkurang kecepatan peningkatan kadar Spirulina. Spirulina Platensis sanggup bertahan hidup sampai 14 hari, masa 60 menit seharusnya masih merupakan masa dalam fase pertumbuhan. Namun grafik di atas tampaknya menunjukkan penurunan sintesis enzimatik. Hal ini disebabkan disamping berkurangnya kadar Nitrogen sebagai salah satu unsur terpenting dalam pembentukan protein (tidak mendapatkan suplai nitrogen dari atmosfir dan tidak mendapatkan tambahan nutrisi) juga disebabkan meningkatnya kadar oksigen dalam reaktor. Meskipun penurunan ini hanya berlangsung secara perlahan sebagaimana yang ditunjukkan pada grafik tersebut di atas, namun secara teoritis, tren kurva pertumbuhan seharusnya mengikuti kurva perhitungan (sp_{hit}).

Laju pertumbuhan Spirulina lebih tinggi dibandingkan penelitian vonshak, hal ini disebabkan penelitian vonshak menggunakan CO₂ atmosfir, sedangkan dalam penelitian ini, Spirulina menggunakan sumber karbon dari CO₂ yang kadarnya lebih tinggi (100%).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan:

1. Aliran lambat (flowrate rendah) merupakan cara yang efektif dalam mengurangi kadar CO₂ dengan memanfaatkan spirulina platensis dalam tubular reaktor vertikal berdiameter 3 cm.
2. Pengurangan kadar CO₂ dengan nilai konversi tertinggi diperoleh pada kecepatan alir volumetrik 0,25 mL/detik dan kecepatan optimumnya pada kisaran 0,3 – 0,4 mL/detik.
3. Orde reaksi dalam penelitian ini adalah $n=1$. Berdasarkan nilai konstanta kinetika reaksi yang sangat kecil yaitu $k_{CO_2} = 2,82\times10^{-4} \text{ detik}^{-1}$, spirulina tidak cocok diterapkan untuk mengurangi karbon dioksida pada laju aliran yang besar. Spirulina cocok diterapkan untuk mengurangi jumlah CO₂ pada proses pembuatan biogas yang laju produksinya lebih kecil.
4. Dalam kolom bioreaktor vertikal dengan tanpa bahan isian, laju flux CO₂ masuk sebaiknya kurang dari 0,047 mL.cm⁻².detik. Semakin rendah laju flux CO₂ masuk (<<0,047 mL.cm⁻².detik), semakin tinggi konversi CO₂ yang diperoleh.
5. Specific Growth Rate (μ) Spirulina Platensis dalam penelitian ini adalah $\mu=2,56\times10^{-2}\text{menit}^{-1}$. Nilai ini masih dipengaruhi oleh kadar oksigen yang berlebihan dalam reaktor.

DAFTAR PUSTAKA

1. Fedor, K. (2011, 10 30). *Arthrosira platensis*. *Bio203*. University of Wisconsin-La Crosse.
2. Kelvinsong. (2013, 01 23). *File:Cyanobacterium-inline.svg*. Dipetik 04 10, 2014, dari Wikimedia Commons: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cyanobacterium-inline.svg>
3. Mohanty, P., Srivastava, M., & Krishna, K. B. (2002). The Photosynthetic Apparatus of Spirulina: Electron Transport and Energy Transfer. In A. Vonshak (Ed.), *Spirulina platensis (Arthrosira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology*. Taylor & Francis.
4. Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology* (3rd ed.). Sunderland: Sinauer Associates.
5. Tomaselli, L. (2002). Morphology, Ultrastructure and Taxonomy of *Arthrosira (Spirulina) maxima* and *Arthrosira (Spirulina) platensis*. Dalam A. Vonshak (Penyunt.), *Spirulina platensis (Arthrosira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology*. Taylor & Francis e-Library.
6. Torzillo, G., Giovanetti, L., Bocci, F., & Materassi, R. (1984). Effect of oxygen concentration on the protein content of *Spirulina* biomass. *Biotechnol. Bioeng*, 26, 1134.
7. Vonshak, A. (2002). *Spirulina: Growth, Physiology and Biochemistry*. In A. Vonshak (Ed.), *Spirulina platensis (Arthrosira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology*. Taylor & Francis e-Library.