

PENGARUH LAJU ALIR INJEKSI GAS EMISI PADA FOTOBIOREAKTOR TERHADAP PENYERAPAN CO₂ OLEH CHLORELLA SP

Arif Dwi Santoso, Rahmania A.Darmawan dan Joko Prayitno Susanto

Peneliti di Pusat Teknologi Lingkungan
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Abstract

Carbon dioxide (CO₂) gases that dominated by anthropogenic activities cause various negative impacts on the environment and surroundings due to increasing its concentrations in the atmosphere. There are some techniques to mitigate against the increase of CO₂ which one is the utilization of phytoplankton cultured in a photo bioreactor (FBR) as a natural absorber. In this study, the influence of input gas CO₂ flowrate on Chlorella sp at multiple tubular air lift photobioractor (FBR) was measured in milk factory field. The CO₂ flowrate continuously was controlled by 2 l/min and 1.5 l/m during experiment. Result showed that Chlorella sp. have a good adapted ability of CO₂ 10-15% vol industrial emission. The experiment result stated that reactor capability at FBR-1 was lower than FBR-2. The reactor capability at FBR-1 and FBR 2 were 0,78 ± 0,25 and 0,92 ± 0,36 g/l. media/day.

Key words : photobioreactor, Chlorella sp., CO₂ flowrate, reactor capability

1. PENDAHULUAN

Gas Karbondioksida (CO₂) merupakan salah satu gas rumah kaca yang dominan diduga sebagai penyebab munculnya fenomena permasalahan pemanasan global¹⁾. Fenomena ini telah memunculkan berbagai upaya mitigasi dampak pemanasan global, yang salah satunya adalah upaya menangkap dan menyerap gas CO₂ dari udara. Teknologi ini lebih dikenal sebagai teknologi *Carbon Capture Storage* (CCS). Teknologi CCS pada awalnya dikembangkan secara fisik untuk menangkap dan menyimpan CO₂ melalui penginjeksian secara langsung gas CO₂ ke sumur-sumur geologi. Namun saat ini juga mulai dikembangkan teknologi CCS secara biologis dengan memanfaatkan mikroalga. Kemampuan mikroalga dalam

berfotosintesis, seperti juga tumbuhan darat lainnya, dapat dimanfaatkan untuk menyerap gas CO₂.

Fitoplankton yang merupakan salah satu bagian dari mikroalga, diketahui bahwa dalam proses fotosintesisnya dapat menyerap gas CO₂ sebanding dengan jumlah materi organik (CH₂O₆) yang dihasilkan, sehingga melalui pemanfaatan proses fotosintesis ini dapat dimanfaatkan sebagai mesin utama penyerapan gas CO₂²⁾.

Dalam penelitian sebelumnya, penulis telah melakukan uji coba pemanfaatan kultur fitoplankton air tawar untuk penyerap gas CO₂ menggunakan Fotobioreaktor (FBR) untuk penyerapan gas CO₂ dalam gas emisi yang dihasilkan dari suatu industri.

Penelitian ini menggunakan FBR bertipe *single tubular airlift photobioreactor* (STAP) dan *multiple tubular airlift photobioreactor* (MTAP) secara kontinyu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kapabilitas serapan CO₂ dari reaktor STAP dan MTAP masing-masing adalah 0.5±0.088 dan 0,925±0.366 gr CO₂/liter media/hari³⁾.

Untuk mengetahui lebih mendalam tentang kemampuan penyerapan gas CO₂ oleh fitoplankton, dalam penelitian ini dilakukan pengamatan dan analisa pengaruh perlakuan laju alir Injeksi gas emisi pada FBR terhadap kapabilitas serapan CO₂ oleh fitoplankton jenis *Chlorella* sp.

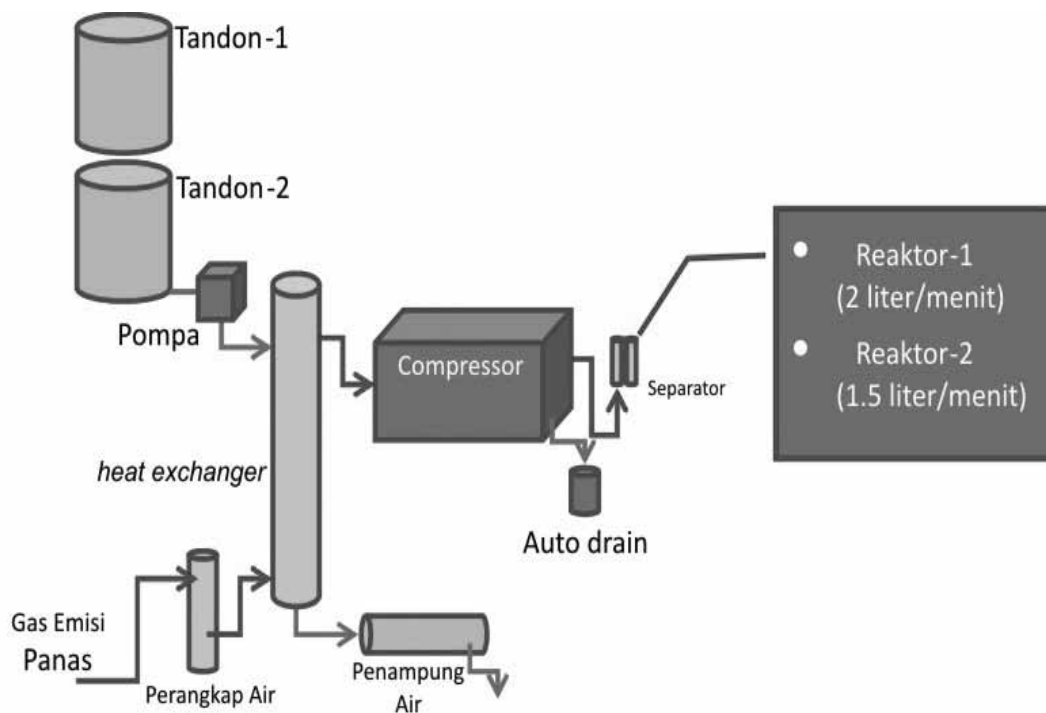
2. METODE PENELITIAN

2.1. Rancangan Percobaan

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di suatu pabrik susu di yang terletak kawasan Jakarta Timur pada tanggal 12-23 Juli 2010,

dengan menggunakan Fotobioreaktor yang ditunjukkan dalam gambar 1.

Berdasarkan gambar 1, gas emisi dari cerobong boiler dialirkan ke FBR menggunakan compressor. Untuk menurunkan temperatur dan kandungan uap air gas emisi, sebelum melalui compressor gas emisi panas dengan suhu 40-50°C dilewatkan pada perangkat penurun panas (*heat exchanger*) dan perangkap air (Gambar 1). Gas kemudian diinjeksikan ke dalam Fotobioreaktor multi tubular air lift yang menggunakan inokulasi *Chorella* sp dalam media air tawar dan pupuk an-organik. Kepadatan awal *Chorella* sp yang digunakan adalah sekitar 200.000 sel per milliliter. Dalam penelitian ini, digunakan 2 FBR bertipe MTAP dengan perlakuan laju alir yang berbeda, yaitu masing masing sekitar 2 liter/menit dan 1.5 liter/menit secara kontinyu hingga akhir uji coba. Pengamatan parameter utama selama penelitian dilakukan terhadap dinamika gas dan dinamika biomass, sementara parameter pendukung meliputi perubahan kualitas air media dan intensitas cahaya matahari.



Gambar 1. Fotobioreaktor Sistem

2.2. Inokulasi

Biakan murni *Chlorella* sp. yang digunakan diperoleh dari koleksi kultur microalgae Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI. Biakan tersebut merupakan hasil isolasi *Chlorella* sp. yang diperoleh dari perairan Teluk Jakarta, ditumbuhkan dalam air laut steril yang diperkaya dengan medium F/2 dalam gelas erlenmeyer dalam volume 100 mL, salinitas media 28 psu. Biakan diinkubasikan dalam ruangan AC bersuhu 22+1°C dengan intensitas penyinaran sekitar 2000 luks selama 12 jam per hari.

Populasi fitoplankton dihitung setiap hari di bawah mikroskop dengan menggunakan *Neobower Hemocytometer*.

Hasil perhitungan populasi kemudian digunakan untuk menghitung laju pertumbuhan spesies fitoplankton, dengan rumus :

$$u = \frac{\ln(N_2/N_1)}{t_2 - t_1}$$

dimana, N_2 dan N_1 adalah populasi masing-masing fitoplankton (sel/L) pada hari ke t_2 dan t_1 ⁴⁾.

2.3. Perhitungan Massa Gas CO₂

Massa gas CO₂ yang diinjeksikan dalam FBR dihitung dengan menggunakan persamaan gas ideal seperti di bawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Gas ideal :} \quad P.V &= n.R.T \\ P.V &= (m/BM) R.T \\ m/V &= P.BM/ R.T \\ \rho &= P.BM/ R.T \end{aligned}$$

dimana :

- P = tekanan gas (atm)
- V = volume gas (liter)
- n = jumlah mol
- R = konstanta gas universal (0,08205746 L.atm.K-1 mol-1)
- T = suhu mutlak gas (273 K)
- BM = Berat molekul
- m = massa molekul (gram)
- ρ = berat jenis (gram/liter)

Setelah mengetahui berat jenis gas gas CO₂, maka untuk menentukan massa gas CO₂ adalah dengan mengalikan berat jenis gas dengan volume gas yang dialirkan dalam reaktor.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

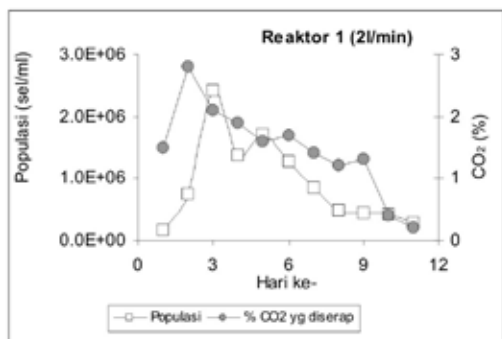
Dalam penelitian ini, hasil pengukuran konsentrasi gas CO₂ dari boiler pabrik yang diinjeksikan ke dalam FBR terukur pada input FBR sekitar 11% volume. Hasil pengamatan terhadap hubungan antara dinamika populasi *Chlorella* sp. dengan penyerapan gas CO₂ disajikan dalam gambar 2 dan 3 berikut.

Pola grafik hubungan antara populasi dan penyerapan gas CO₂ pada kedua grafik di atas menunjukkan patern yang sama. Pola yang bisa diamati adalah saling berpengaruh antar dua variabel dinamika gas dan populasi *Chlorella* sp. Pada saat populasi *Chlorella* sp. meningkat pada awal percobaan, maka penyerapan gas CO₂ oleh FBR juga meningkat, kemudian penyerapan gas CO₂ berangsur menurun seiring dengan penurunan mikroalga yang sudah melewati fase stasioner.

Populasi *Chlorella* sp. dengan inokulasi awal sekitar 200.000 sel/ml meningkat secara drastis pada kedua reaktor dengan puncak kepadatan yang berbeda, pada reaktor 1 puncak populasi dicapai sekitar 2.500.000 sel/ml pada pengamatan hari ke-3, sementara pada reaktor 2 sekitar 1.800.000 sel/ml pada pengamatan hari ke-3. Peningkatan populasi secara drastis ini mengindikasikan bahwa *Chlorella* sp mempunyai daya toleran yang tinggi terhadap injeksi gas CO₂. Populasi *Chlorella* sp. selanjutnya mengalami penurunan secara gradual hingga akhir pengamatan.

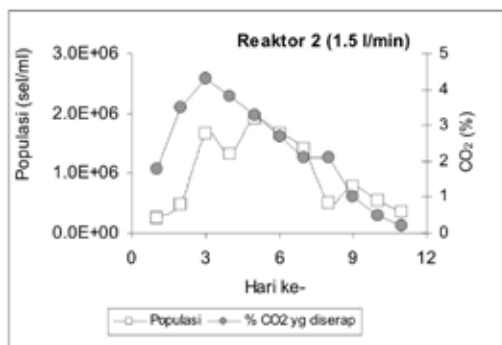
Tingginya daya toleran populasi *Chlorella* sp terhadap injeksi gas CO₂ ini bervariasi menurut beberapa peneliti, namun konsentrasi ideal gas CO₂. Menurut E. Jacob, 2008⁵⁾, penyerapan CO₂ oleh mikroalga dalam FBR tidak hanya mempunyai laju alir

yang spesifik, namun juga pada konsentrasi emisi gas CO₂ yang diinjeksikan. Ia menyatakan bahwa konsentrasi input emisi gas yang ideal untuk *Chlorella sp* adalah sekitar 15% vol, mendukung pendapat



Keterangan : Konsentrasi CO₂ awal : 11 % Volume, Populasi *Chlorella sp.* awal : 200.000 sel/ml, Laju alir : 2,0 Liter/menit, Intensitas cahaya : 26.600 lux, nitrat : 2,48 mg/L, fosfat :0,65 mg/L, pH: 7,1

Gambar 2. Grafik hubungan antara dinamika populasi *Chlorella sp.* dengan penyerapan gas CO₂ oleh

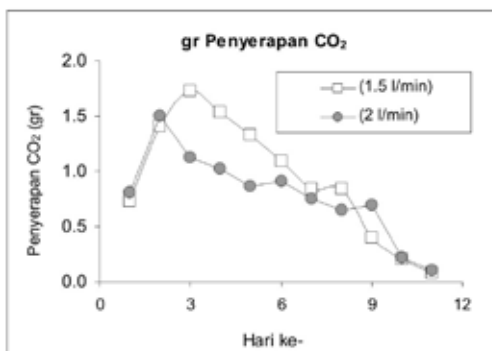


reaktor-1

Keterangan : Konsentrasi CO₂ awal : 11 % Volume, Populasi *Chlorella sp.* awal : 200.000 sel/ml, Laju alir : 2,0 Liter/menit, Intensitas cahaya : 26.600 lux, nitrat : 2,48 mg/L, fosfat :0,65 mg/L, pH: 7,1

Gambar 3. Grafik hubungan antara dinamika populasi *Chlorella sp.* dengan penyerapan gas CO₂ oleh reaktor-2

Maeda, 1997⁶⁾ yang juga menyatakan hal yang sama. Sementara Hirata et all⁷⁾, 1996 mengujicobakan dengan kisaran konsentrasi 3-40%, dengan konsentrasi CO₂ yang memberikan penyerapan optimun sekitar 10%.



Keterangan : Konsentrasi CO₂ awal : 11 % Volume, Populasi *Chlorella sp.* awal : 200.000 sel/ml, Laju alir : 2,0 Liter/menit, Intensitas cahaya : 26.600 lux, nitrat : 2,48 mg/L, fosfat :0,65 mg/L, pH: 7,1

Gambar 4. Grafik penyerapan CO₂ oleh reaktor 1 (2 l/min) dan reaktor 2 (1.5 l/min) selama percobaan

Pengaruh laju alir terhadap kapabilitas reaktor yang ditunjukkan pada gambar 4 menunjukkan bahwa perbedaan perlakuan laju alir tidak memberikan pengaruh yang berbeda pada pertumbuhan realtif mikroba.

Dari analisis data populasi didapatkan nilai pertumbuhan spesifik *Chlorella sp* dengan laju alir 2 L/menit dan 1,5 L/menit adalah 0,369 dan 0,274. Dari nilai laju spesifik dapat diterangkan bahwa meskipun pertumbuhan *Chlorella sp* pada laju alir 2 L/menit lebih tinggi dibanding laju alir 1,5 L/menit, namun perbedaannya relatif kecil sehingga dapat dikatakan reaktor mempunyai pertumbuhan yang sama.

Pengaruh laju alir terhadap kapabilitas reaktor yang ditunjukkan pada gambar 4 mengindikasikan bahwa *Chlorella sp.* mempunyai keterbatasan daya penyerapan gas CO₂. Pada perlakuan dengan laju

injeksi 1,5 liter/menit menghasilkan daya penyerapan rata-rata sebesar 2.3 ± 0.91 % vol lebih tinggi dibandingkan pada perlakuan dengan laju injeksi 2 liter/menit yang hanya $1,5 \pm 0.47$ % vol.

Dengan tingginya tingkat penyerapan gas, otomatis akan menaikkan pula kapabilitas reaktor dalam menyerap gas CO₂ tersebut. Pada gambar 4 menunjukkan bahwa reaktor 2 dengan laju injeksi CO₂ 1,5 liter/menit menghasilkan penyerapan gas sekitar $0,92 \pm 0,36$ gr/liter media/hari lebih tinggi dibanding dengan reaktor 1 dengan laju alir 2 liter/menit yang hanya menghasilkan penyerapan sekitar $0,78 \pm 0,25$ gr/liter media/hari. Namun demikian, hasil penelitian ini dapat dikatakan lebih baik dibandingkan dengan hasil penelitian beberapa peneliti sebelumnya, seperti Reddy⁸⁾ menggunakan flat reaktor menghasilkan kapabilitas sekitar 0,17 gr/liter media/hari, Hirata et al.⁷⁾ dengan injeksi CO₂ 10% vol. menghasilkan kapabilitas 0,7 gr/liter media/hari, Murakami⁹⁾ sekitar 0.5 gr/liter media/hari dan Azos¹⁰⁾ dengan memvariasikan pH 7,5 – 9,5 menghasilkan kapabilitas reaktor 0,9 – 1,5 gr/liter media/hari.

Dengan membandingkan hasil penelitian-penelitian ini dapat dinyatakan bahwa kapabilitas reaktor yang diujicobakan masih mempunyai banyak peluang untuk ditingkatkan kapabilitasnya. Secara khusus dapat dinyatakan bahwa perlakuan dengan laju alir 1.5 liter/menit perlu dianalisis lebih jauh apakah sudah optimal atau masih perlu ditingkatkan lagi. Beberapa variabel utama yang perlu dikaji lebih diperluas, seperti variabel intensitas cahaya, nutrien, pH dan pengaruh gas lain dalam emisi.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Chlorella sp. memiliki kemampuan yang cukup baik dalam beradaptasi terhadap injeksi gas CO₂ dari emisi industri dengan konsentrasi sekitar 10-15% vol. *Chlorella sp.* mempunyai keterbatasan daya penyerapan gas CO₂, perlakuan dengan laju alir 1,5 liter/menit menghasilkan daya penyerapan

rata-rata sebesar 2.3 ± 0.91 % vol lebih tinggi dibandingkan pada perlakuan dengan laju alir 2 liter/menit yang hanya $1,5 \pm 0.47$ % vol.

Kapabilitas reaktor yang dihasilkan dari penyerapan optimal yakni sekitar $0,92 \pm 0,36$ gr/liter media/hari selaras dengan hasil penelitian asing sejenis, sehingga kapabilitas reaktor ini berpotensi untuk lebih ditingkatkan lagi performanya.

Kemampuan spesies ini perlu diteliti lebih lanjut mengingat masih ada beberapa parameter perlakuan seperti tingkat intensitas cahaya, penambahan nutrient dan faktor fisik lain yang mempengaruhi kemampuan *Chlorella sp.* dalam mereduksi gas CO₂ di Industri.

DAFTAR PUSTAKA

1. Acien et al., 2000. Scale-up of tubular photobioreactors. . Journal of Applied Phycology (2005)12: 355-368
2. Lihua Cheng, Lin Zhang, Huanlin Chen dan Congjie Gao, 2006. Carbon dioxide removal from air by microalgae cultured in a membrane-photobioreactor. Separation and Purification Technology journal. Volume 50, Issue 3, Pages 324-329
3. Santoso, A.D., Rahmania A. Darmawan, dan Agus Setiawan, 2009. Studi Kemampuan *Chaetoceros sp.* dalam Penurunan Gas CO₂ dalam Fotobioreaktor Sistem Batch. Jurnal Hidrosfir Indonesia (2009) Vol. 3 No. 2.
4. Wood, A.M., Everroad, R.C., Wingard, R.M., 2005. Measuring growth rates in mikroalgal cultures. In: Algal Culturing Techniques (ANDERSEN, R.A. Ed). Elseviers Acad.Press. p 269-284.
5. E. Jacob-Lopes, et al., Effect of light cycles (night/day) on CO₂ fixation and biomass production by microalgae
6. Maeda K, Owada M, Kimura N, Omata K, Karube I. CO₂ fixation from the flue gas on coal fired thermal power plant by microalgae. Energy Convers Manage 1997;38:S717-20

7. Hirata S, Hayashitani M, Taya M, Tone S. Carbon dioxide fixation in batch culture of *Chlorella* sp. using a photobioreactor with a sunlight collection device. *J Ferment Bioeng* 1996;81(5):470–2.
8. Reddy, M.H., 2002. Application of algal culture technology for carbon dioxide and flue gas emission control. A Thesis Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science. Arizona State University
9. Marukami M, Ikenouchi M. The biological CO₂ fixation and utilization project by RITE (2)—screening and breeding of microalgae with high capability in fixing CO₂. *Energy Convers Manage* 1997;38:S493–7..
10. Azov A., 1982. Effect of pH on Inorganic Carbon Uptake in Algal Cultures. *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY*, June 1982, Vol. 43, No. 6 p. 1300-1306