

# PEMBERIAN PUPUK KOMERSIAL UNTUK PEMBENTUKAN BIOMASSA PADA KULTUR MIKROALGA *CHLORELLA* SP. DALAM SISTEM FOTOBIOREAKTOR PENANGKAP KARBON

## *Application of A Commercial Fertilizer for Biomass Production of Microalgae Chlorella sp in the Carbon-Capture Photobioreactor System*

Joko Prayitno, Rahmania A. Darmawan, dan Agus Rifai  
Pusat Teknologi Lingkungan (PTL)  
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)  
Gedung 820 Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang 15314  
Email: joko.prayitno@bppt.go.id

Diterima: 28 Nopember 2014; Diperiksa: 5 Desember 2014; Revisi: 19 Desember 2014; Disetujui: 29 Desember 2014

### Abstract

One important factor affecting microalgae growth in photobioreactor for carbon capture purpose was nutrient. Medium f/2 was commonly used for lab scale experiments, but it was considered expensive for large scale application. Finding alternatives for cheaper nutrients producing high biomass become the target of photobioreactor development. The aim of this research was to study the effectiveness of commercial fertilizer GrowMore™ and its appropriate dose to enhance the growth of *Chlorella* sp in multi tubular airlift photobioreactor (MTAP). The dose tested was 1 and 2 g/L. Addition of the fertilizer 1 g/L produced higher biomass than that of 2 g/L, with 1.02 and 0.57 g biomass/L at day 13, respectively. Specific growth rate of *Chlorella* cells was 0.29 per day, and generation time were 49.4–56.7 hour. CO<sub>2</sub> absorptions were fluctuated during the experiment, and the pattern was similar between the treatment of 1 g/L and 2 g/L within the range of 31.6-98.5%. pHs of the medium were generally decreased during the experiment from 7.0 to 6.0. These results showed that commercial fertilizer could be used as an alternative source of nutrients for microalga culture in a carbon-capture photobioreactor system.

**Key words:** biomass, microalgae, photobioreactor, *chlorella* sp.

### Abstrak

Salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga dalam fotobioreaktor penangkap karbon (CO<sub>2</sub>) adalah nutrisi. Percobaan skala laboratorium umumnya menggunakan komposisi nutrisi lengkap f/2 yang harganya relatif mahal sehingga perlu dicari alternatif pupuk yang lebih murah namun tetap menghasilkan biomassa yang tinggi. Tujuan percobaan ini adalah menguji efektivitas pemberian pupuk komersial GrowMore™ dan dosis yang tepat dalam meningkatkan pertumbuhan mikroalga *Chlorella* sp dalam fotobioreaktor sistem *multi tubular airlift* (MTAP). Dosis pupuk yang diuji adalah 1 dan 2 g/L. Pemberian pupuk 1 g/L menghasilkan biomassa 1,02 g/L pada hari ke-13, lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian pupuk 2 g/L yang menghasilkan 0,57 g/L. Laju pertumbuhan spesifik dari sel *Chlorella* sp adalah 0,29 - 0,34 per hari dengan waktu generasi 49,4 - 56,7 jam. Serapan CO<sub>2</sub> berfluktuasi selama percobaan berlangsung dengan pola fluktuasi yang sama antara pemberian pupuk 1 g/L dengan 2 g/L dan berada pada kisaran nilai 31,6 – 98,5 %. pH kultur secara umum menurun selama percobaan yaitu dari 7,0 menjadi 6,0. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pupuk komersial dapat dijadikan sebagai alternatif nutrisi untuk kultur mikroalga dalam fotobioreaktor penangkap karbon.

**Kata kunci:** biomassa, mikroalga, fotobioreaktor, *chlorella* sp

## 1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim karena peningkatan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) akibat penggunaan bahan bakar fosil menimbulkan berbagai dampak bagi kehidupan manusia. Upaya untuk mengurangi konsentrasi gas CO<sub>2</sub> di udara diantaranya adalah

dengan penggunaan teknologi penangkapan karbon yang diemisikan dari cerobong industri. Pemanfaatan organisme autotrof seperti mikroalga menjadi teknologi alternatif untuk menangkap karbon yang mulai banyak diaplikasikan di industri. Karbon yang ditangkap oleh

mikroalga melalui proses fotosintesis diubah menjadi biomassa. Biomassa tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk pangan, pakan, bahan baku industri dan energi. Biomassa mikroalga yang banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan tersebut diantaranya adalah dari jenis *Chlorella* sp.

*Chlorella* sp. banyak dibudidayakan secara massal dalam unit-unit fotobioreaktor karena memiliki nilai nutrisi yang tinggi dan laju pertumbuhan yang cepat. Selain cahaya dan gas CO<sub>2</sub>, *Chlorella* sp. juga membutuhkan unsur hara makro dan mikro untuk pembentukan biomasanya [1] [2]. Konsentrasi hara makro dan mikro yang optimum dalam kultur, terutama nitrogen dan fosfat, menjadi salah satu syarat penting agar laju pembentukan biomassa mikroalga tetap tinggi. Dalam unit fotobioreaktor, unsur makro dan mikro tersebut diperoleh melalui penambahan nutrisi atau pupuk ke dalam kultur. Nutrisi yang umum digunakan untuk kultur *Chlorella* sp. adalah nutrisi Guillard atau dikenal dengan nama medium f/2 [3]. Beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan nutrisi Guillard untuk produksi biomassa mikroalga misalnya adalah [4] [5].

Meskipun memiliki kandungan nutrisi yang lengkap, penggunaan media Guillard untuk produksi biomassa dalam kegiatan penangkapan karbon skala besar terkendala oleh biaya bahan yang relatif mahal. Oleh karena itu, beberapa peneliti menggunakan nutrisi alternatif sebagai pengganti nutrisi Guillard diantaranya urea [6] dan pupuk komersial [7]. Penggunaan pupuk komersial memiliki keuntungan dibandingkan pupuk urea karena memiliki kandungan hara makro dan mikro yang lebih lengkap. Penggunaan pupuk komersial untuk produksi biomassa mikroalga juga dapat menekan biaya produksi per satuan volume kultur lebih dari seribu kali dibandingkan dengan penggunaan bahan media Guillard. Meskipun demikian, komposisi nutrisi dalam pupuk komersial tersebut belum tentu optimum untuk pertumbuhan mikroalga karena diformulasikan untuk tumbuhan tingkat tinggi. Oleh karena itu diperlukan studi untuk mengetahui respon pertumbuhan mikroalga dalam fotobioreaktor terhadap pemberian pupuk komersial, khususnya dosis yang diaplikasikan.

Tujuan dari penelitian ini adalah melihat pengaruh pemberian pupuk komersial pada dua dosis yang berbeda terhadap pembentukan biomassa mikroalga *Chlorella* sp dalam sistem fotobioreaktor untuk tujuan penangkapan karbon dari cerobong industri.

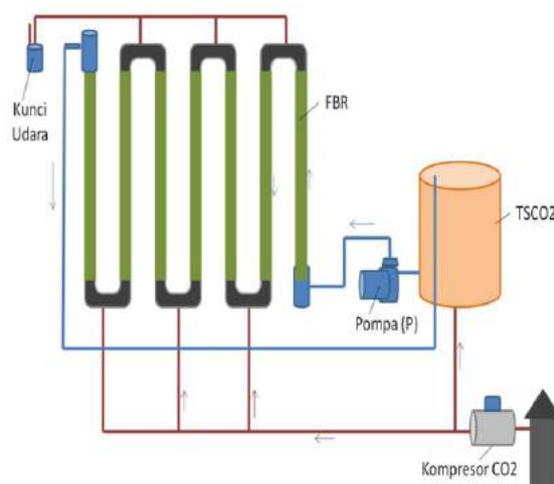
## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1 Cara Kerja

#### 2.1.1 Fotobioreaktor Mikroalga

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 4 unit fotobioreaktor Pusat Teknologi Lingkungan BPPT yang berada di PT. Indolakto, Kelurahan

Ciracas, Kecamatan Pasar Rebo, Jakarta Timur. Fotobioreaktor yang digunakan adalah jenis *multitubular airlift photobioreactor* (MTAP) yang terdiri dari tujuh tabung flexi-glass dengan total volume kerja 300 liter. Desain fotobioreaktor yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1. Media kultur berupa air tawar yang berisi nutrisi dengan dosis pupuk tertentu disirkulasikan dari tanki nutrisi ke unit fotobioreaktor kemudian kembali ke tanki nutrisi menggunakan pompa. Satu tanki nutrisi terhubung dengan dua unit fotobioreaktor. Gas CO<sub>2</sub> yang berasal dari gas buang cerobong boiler PT Indolakto diinjeksikan ke dalam MTAP melalui dasar tabung fotobioreaktor. Gas CO<sub>2</sub> tersebut sebelumnya dialirkan ke dalam *heat exchanger* untuk menurunkan temperatur dan menghilangkan partikel-partikel pengotor dalam gas buang.



Gambar 1. Desain fotobioreaktor yang digunakan

#### 2.1.2 Kultur Mikroalga dalam Fotobioreaktor

Mikroalga *Chlorella* sp diperbanyak terlebih dahulu dalam fotobioreaktor tipe *single tubular airlift photobioreactor* (STAP) dengan total volume 40 liter selama dua minggu. Selama perbanyakan, diberi nutrisi pupuk GrowMore™ sebanyak 2 g/L. MTAP disterilisasi dengan larutan 5% peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) selama 24 jam sebelum digunakan, kemudian dibilas dengan air reverse osmosis untuk menghilangkan sisa peroksida di dalam MTAP. Kultur dipindahkan ke dalam MTAP di awal percobaan dengan kerapatan awal sel sebanyak 4,1-5,1 x 10<sup>6</sup> sel/mL.

Perlakuan yang dicoba adalah dosis pupuk GrowMore™ terhadap pertumbuhan biomassa mikroalga, yaitu 1 dan 2 g/L, dengan dua ulangan. Kandungan nutrisi pupuk GrowMore™ dapat dilihat pada Tabel 1. Selama penelitian berlangsung dilakukan penambahan nutrisi dua kali, yaitu pada hari ke-10 dan ke-13 dengan dosis masing-masing 20% dari dosis awal.

Tabel 1. Kandungan nutrisi pupuk GrowMore™ seperti yang tercantum dalam label kemasan.

Unsur hara	Kadar (%)
Total Nitrogen (2% Ammoniak; 3% Nitrate; 27% Urea)	32
Fosfat tersedia (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	10
Kalium terlarut (K <sub>2</sub> O)	10
Kalsium (Ca)	0,05
Magnesium (Mg)	0,10
Sulfur (S)	0,20
Boron (B)	0,02
Tembaga (Cu)	0,05
Besi (Fe)	0,10
Mangan (Mn)	0,05
Molibden (Mo)	0,0005
Seng (Zn)	0,05
Senyawa Inert	47

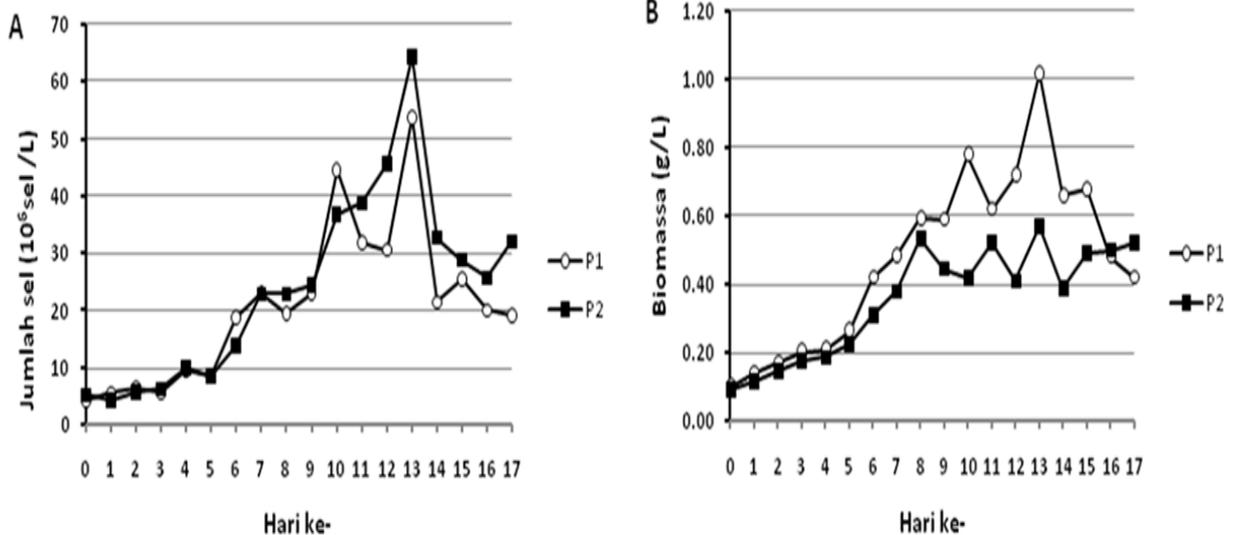
### 2.2 Pengamatan dan Analisis Data

Sampel air berisi mikroalga diambil sebanyak 100 mL dari dasar tabung MTAP setiap hari selama 17 hari. Pada hari ke-10 dan ke-13 dilakukan penambahan pupuk sebanyak 10% dari dosis awal untuk masing-masing perlakuan. Parameter yang diamati adalah jumlah sel, biomassa dan konsentrasi CO<sub>2</sub> sebelum dan sesudah melewati MTAP. Sampel mikroalga diberi larutan Lugol hingga diperoleh konsentrasi akhir Lugol 10%,

setelah itu jumlah sel dihitung di bawah mikroskop cahaya dalam gelas objek Neubauer. Waktu generasi sel mikroalga dihitung pada awal dan akhir fase eksponensial dengan menggunakan rumus:

$$K = \frac{\ln(N_t/N_0)}{t_p - t_0} \dots\dots\dots (1)$$

$$G_t = 24 * K / \ln 2 \dots\dots\dots (2)$$



Gambar 2. Pertumbuhan mikroalga *Chlorella* sp. dalam fotobioreaktor MTAP. (A) Jumlah sel, (B) Biomassa

dimana:

- K = Laju pertumbuhan spesifik
- Gt = waktu generasi (jam)
- $N_t$  = populasi sel pada hari ke-t (sel/mL)
- $N_0$  = populasi sel pada hari ke-0 (sel/mL)
- $t_p$  = hari ke-p fase akhir eksponensial
- $t_0$  = hari ke-0 fase awal eksponensial

Untuk mendapatkan biomassa mikroalga, 50 mL sampel kultur mikroalga dari MTAP disaring dengan menggunakan saringan 0.2  $\mu\text{m}$ , dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam, kemudian ditimbang dengan neraca digital.

Konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  pada inlet dan outlet MTAP diukur dengan menggunakan Gas Analyzer (Riken) yang telah dikalibrasi dengan gas  $\text{CO}_2$  murni.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pertumbuhan Mikroalga

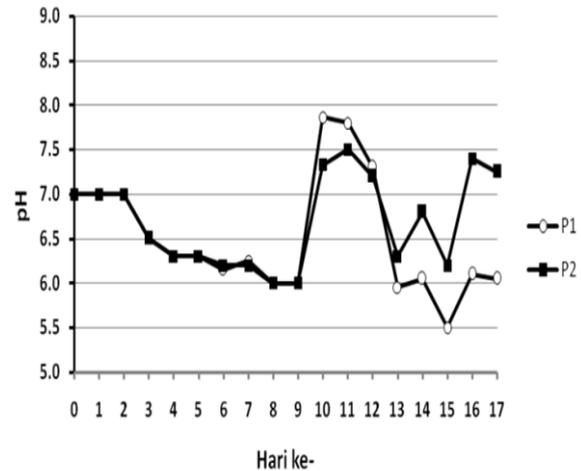
Populasi awal mikroalga yang ditumbuhkan dalam fotobioreaktor MTAP adalah  $4,1 - 5,1 \times 10^6$  sel/mL. Mikroalga *Chlorella* sp. yang dikulturkan dalam fotobioreaktor tersebut menunjukkan pertumbuhan yang terus meningkat hingga hari ke-13, dengan fase pertumbuhan eksponensial terjadi pada hari ke-5, seperti yang ditunjukkan oleh parameter jumlah sel dan biomassa (Gambar 2A dan 2B). Pola pertumbuhan mikroalga *Chlorella* sp. dalam fotobioraktor MTAP seperti yang ditunjukkan oleh parameter jumlah sel secara umum sama antara perlakuan P1 dan P2 (Gambar 2A). Jumlah sel yang dicatat pada puncak pertumbuhan di hari ke-13 untuk masing-masing perlakuan P1 dan P2 adalah sebesar  $53,8 \times 10^6$  sel/mL dan  $64,2 \times 10^6$  sel/mL. Namun secara statistika, jumlah sel pada perlakuan P1 dan P2 tersebut tidak berbeda secara signifikan. Setelah hari ke-13, jumlah sel menurun drastis menjadi sekitar  $20-30 \times 10^6$  sel/mL.

Berbeda halnya dengan parameter jumlah sel, biomassa mikroalga *Chlorella* sp. pada perlakuan P1 secara signifikan lebih tinggi dari pada perlakuan P2 (t-test,  $P < 0,05$ ) pada hari ke-10 dan ke-12. Biomassa mikroalga *Chlorella* sp. pada hari ke-10 dan ke-12 pada perlakuan P1 masing-masing adalah 0,78 dan 0,72 g berat kering/L, sedangkan pada perlakuan P2 masing-masing adalah sebesar 0,42 dan 0,41 g berat kering/L (Gambar 2B). Biomassa mikroalga tertinggi pada perlakuan P1 maupun P2 dicapai pada hari ke-13 yaitu masing-masing sebesar 1,02 g/L dan 0,57 g/L.

#### 3.3 pH kultur

pH kultur mengalami penurunan dari sekitar 7,0 pada hari ke-0 menjadi 6,0 pada hari ke-9 (Gambar 4). Penambahan pupuk pada hari ke-11 menyebabkan peningkatan pH kultur menjadi 7,3 – 7,8, namun pH turun kembali menjadi 6,0 – 6,3 pada hari ke-13. pH kemudian berfluktuasi hingga

hari ke-17. pH kultur yang diberi pupuk 1 g/L tidak berbeda dengan yang diberi pupuk 2 g/L hingga hari ke-13. Setelah hari ke-13 pH kultur mikroalga yang diberi pupuk 2 g/L lebih tinggi dibandingkan dengan pH yang diberi pupuk 2 g/L.



Gambar 4. pH kultur *Chlorella* sp dalam fotobioreaktor

#### 3.4 Pembahasan

Dalam ujicoba ini telah diketahui pengaruh dari pemberian pupuk komersial GrowMore™ terhadap pertumbuhan mikroalga dan serapan  $\text{CO}_2$  dalam unit fotobioreaktor. Pemilihan pupuk komersial GrowMore™ dikarenakan pertimbangan dapat langsung diaplikasikan karena mengandung unsur hara makro dan mikro yang diperlukan bagi pertumbuhan mikroalga. Kultur mikroalga *Chlorella* sp yang diberi pupuk GrowMore™ dengan dosis 1 g/L menghasilkan biomassa lebih tinggi (1,02 g berat kering/L) dibandingkan dengan dosis 2 g/L (0,57 g berat kering/L) pada hari ke-13. Sedangkan pada hari ke-8, biomassa yang diperoleh baru mencapai 0,53-0,59 g/L. Hasil yang diperoleh dalam ujicoba ini berada dalam kisaran biomassa yang dihasilkan dari fotobioreaktor mikroalga yaitu 1-5 g/L [8] [2].

Produksi biomassa *Chlorella* sp yang lebih tinggi dilaporkan oleh [9] yang memperoleh biomassa sebesar 1,2 g/L dalam fotobioreaktor berisi media f/2 selama 8 hari menggunakan pencahayaan buatan. Media f/2 adalah media yang umum digunakan untuk kultur mikroalga skala laboratorium karena memiliki unsur hara makro dan mikro yang lebih lengkap dan mengandung vitamin seperti biotin, vitamin B12 dan thiamin. Penelitian lanjutan menggunakan fotobioreaktor yang berisi media air laut dan ditambah dengan nutrisi makro, mikro dan vitamin memperoleh hasil biomassa sebesar 3,46 g/L [10].

Laju pertumbuhan spesifik dari sel *Chlorella* sp yang diperoleh dari ujicoba ini adalah 0,29 - 0,34 sel/hari dan waktu generasi 49,4 - 56,7 jam. Laju pertumbuhan spesifik pada penelitian ini lebih

tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian [4] yaitu 0,23 sel/hari yang menginkubasi *Chlorella* sp. di dalam laboratorium dengan nutrisi f/2 dan pencahayaan 12 jam terang. Pada penelitian lain, [5] mendapatkan nilai laju pertumbuhan spesifik sebesar 0,69 sel/hari pada penelitian menginkubasi *Chlorella* sp. menggunakan fotobioreaktor yang diletakkan di luar ruangan dengan pemberian nutrisi f/2. [7] menginkubasi *Chlorella* sp. dalam fotobioreaktor berkapasitas 550 liter dengan nutrisi berupa pupuk komersial, dan mendapatkan nilai laju pertumbuhan sebesar 1,13 dan waktu generasi 14,7 jam. Nilai ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil penelitian penulis, dikarenakan berbeda jenis pupuk komersial yang digunakan. Hal ini menunjukkan penggunaan jenis-jenis pupuk komersial yang digunakan untuk menutrisi *Chlorella* sp. akan menghasilkan kemampuan pertumbuhan dan kapabilitas reaktor yang berbeda.

Populasi *Chlorella* sp. dengan inokulasi awal  $4,6 \times 10^6$  sel/mL mencapai puncak populasi pada hari ke-13. Nilai konsentrasi sel untuk dosis 1 g/L dan 2 g/L pada hari ke-13 berturut-turut adalah  $53,4 \times 10^6$  sel/mL dan  $64,2 \times 10^6$  sel/mL. Jumlah sel tersebut tidak jauh berbeda dengan hasil yang diperoleh dari penelitian [11]. Populasi sel mikroalga *Chlorella* sp yang diperoleh dalam penelitian [11] setelah dikulturkan di laboratorium dengan nutrisi Conwy dan ekstrak tanah selama 13 hari adalah  $57,1 \times 10^6$  sel/mL. Jumlah sel yang diperoleh dalam uji coba ini lebih tinggi dibandingkan dengan hasil [5] yang menginkubasi *Chlorella* sp. dalam fotobioreaktor menggunakan nutrisi f/2 dan mendapatkan populasi puncak sebesar  $19 \times 10^6$  sel/mL pada hari ke-4. Nilai yang lebih rendah ini kemungkinan disebabkan karena jumlah sel yang digunakan untuk inokulasi awal lebih rendah yaitu sebesar  $2 \times 10^5$  sel/mL.

Serapan CO<sub>2</sub> yang diperoleh dari hasil uji coba ini tidak berbeda antara perlakuan pupuk 1 g/L dengan 2 g/L dan berfluktuasi dengan kisaran angka 31,6 – 98,5 %. Berdasarkan data pertumbuhan mikroalga (Gambar 2) dan nilai pengurangan CO<sub>2</sub> (Gambar 3) maka dapat dilihat bahwa serapan CO<sub>2</sub> pada uji coba ini tidak berkaitan dengan tingkat pertumbuhan mikroalga. Hasil uji coba ini berbeda dengan hasil yang diperoleh pada percobaan [5] yang menunjukkan pola yang sama antara kurva pertumbuhan dengan kurva serapan CO<sub>2</sub>. Serapan CO<sub>2</sub> maksimum diperoleh sebesar 5 % pada hari ke-4 [5].

Berdasarkan hasil percobaan ini, pupuk Grow More™ sebagai pupuk tanaman dapat dijadikan alternatif nutrisi untuk kultur mikroalga. Dosis pupuk 1 g/L merupakan dosis pupuk yang dianjurkan oleh produsen untuk aplikasi tanaman. Produksi biomassa dari fotobioreaktor mikroalga ini masih dapat ditingkatkan lagi dengan pemberian nutrisi lain yang diperlukan untuk pertumbuhan mikroalga seperti vitamin dan juga faktor lingkungan lainnya. Namun penggunaan vitamin

untuk produksi skala besar dapat terkendala oleh harga yang relatif mahal.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa pupuk GrowMore™ dapat digunakan sebagai alternatif nutrisi untuk kultur *Chlorella* sp. dalam fotobioreaktor untuk tujuan penyerapan CO<sub>2</sub> dengan harga lebih terjangkau serta mudah ditemukan di pasaran. Dosis pupuk 1 g/L menghasilkan biomassa lebih tinggi (1,02 g/L) dibandingkan dengan dosis 2 g/L (0,52 g/L) dengan tingkat serapan CO<sub>2</sub> antara 31-98%.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh DIPA Pusat Teknologi Lingkungan tahun 2012. Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT Indolakto yang telah berkenan memberikan tempat untuk melakukan uji coba fotobioreaktor di lokasi pabrik PT Indolakto Ciracas Jakarta Timur. Terimakasih juga ditujukan kepada staf teknis PTL yang telah membantu dalam pengoperasian fotobioreaktor dan sampling.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Ceballos, R.M., Murthy, G.S. 2013. Effects of environmental factors and nutrient availability on the biochemical composition of algae for biofuels production: A Review. *Energies*, 6, 4607-4638.
2. Procházková, G., Brányiková, I., Zachleder, V., Brányik, T. 2014. Effect of nutrient supply status on biomass composition of eukaryotic green microalgae. *J Appl Phycol*, 25, 1359-1377.
3. Guillard, R.R.L., Ryther, J.H. 1962. Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* Cleve. *Can. J. Microbiol*, 8, 229-239.
4. Kawaroe, M., Prartono, T., Sunuddin, A., Sari, D.W., Agustine, D. 2009. Laju pertumbuhan spesifik *Chlorella* sp. dan *Dunaliella* sp. berdasarkan perbedaan nutrisi dan fotoperiode. *Jurnal Ilmu-ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*, 16, 73-77.
5. Santoso, A.D., Darmawan, R.A., Susanto, J.P. 2011. Mikroalga untuk penyerapan emisi CO<sub>2</sub> dan pengolahan limbah cair di lokasi industri. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 3, 62-70.
6. Daniyati, R., Yudoyono, G., Rubiyanto, A. 2013. Desain closed photobioreaktor *Chlorella vulgaris* sebagai mitigasi emisi CO<sub>2</sub>. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 1, B1-B5.
7. Ashraf, M., Javaid, M., Rashid, T., Ayub, M., Zafar, A., Ali, S., Naeem, M. 2011. Replacement of expensive pure nutritive media with low cost commercial fertilizer for mass culture of freshwater algae, *Chlorella*

- vulgaris*. *International Journal of Agriculture & Biology*, 13, 484-490.
8. Brennan, L., Owende, P. 2010. Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 557–577.
  9. Chiu S-Y, Kao C-Y, Chen C-H, Kuan T-C, Ong S-C, Lin C-S. 2008. Reduction of CO<sub>2</sub> by a high-density culture of *Chlorella* sp. in a semicontinuous photobioreactor. *Bioresource Technology*, 99, 3389–96.
  10. Chiu, S., M-T. Tsai., C-Y Kao., S-C. Ong, C-S. Lin. 2009. The air-lift photobioreactors with flow patterning for high-density cultures of microalgae and carbon dioxide removal. *Eng Life Sci*, 9, 254-260.
  11. Chalid, S.Y., Amini, S., Lestari, S.D. 2010. Kultivasi *Chlorella* sp. pada media tumbuh yang diperkaya dengan pupuk anorganik dan soil extract. *Jurnal Valensi*, 1(6), 298-304.