

## Produksi *Spirulina platensis* dalam fotobioreaktor kontinyu menggunakan media limbah cair pabrik kelapa sawit

*Production of Spirulina platensis in continous photobioreactor using palm oil mill effluent media*

SUHARYANTO<sup>1\*)</sup>, TRI-PANJ<sup>1)</sup>, Shinta PERMATASARI<sup>2)</sup>, & Khaswar SYAMSU<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia, Jl Taman Kencana 1, Bogor 16128, Indonesia

<sup>2)</sup> Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB, Kampus IPB Darmaga, Bogor

Diterima tgl 9 Januari 2014/disetujui tgl 27 Maret 2014

### Abstract

Cultivation of *Spirulina platensis* in an abundant available and inexpensive medium such as palm oil mill effluent (POME) will produce biomass and valuable active materials at competitive price. Utilization of POME will also reduce pollution level and support cleaned production. The objectives of this research were to determine the dilution rate of *S. platensis* and the reduction rate of pollution level of POME on continuous photobioreactor. Preliminary research was conducted by growing *S. platensis* on POME medium with various concentration, namely 25%, 50%, 75%, and 90% POME on batch system. The experiment was conducted in 1.2 L capacity continous photobioreactor using medium containing a mixture of POME and synthetic medium. Feeding rate was set up at 0.05 mL/5 sec. (dilution rate of 0.03 hr<sup>-1</sup>), 0,05 mL/10 sec. (dilution rate of 0.015 hr<sup>-1</sup>), and 0.05 mL/15 sec. (dilution rate of 0.01 hr<sup>-1</sup>). For optimum dilution rate, the experiment was scaled up eight times using 10 L capacity continous photobioreactor. The results showed that optimum growth rate of *S. platensis* ( $\mu_{max}$ ) = 0.233, was achieved using medium consisting of 90% POME and 10% synthetic medium after two weeks. Dilution rate of 0.015 hr<sup>-1</sup> on photobioreactor was the optimum dilution rate for growth of *S. platensis* as well as for decreasing pollution level of POME. The result of the eight-times scale up photobioreactor using flow rate of 0.4 mL/10 sec and dilution rate of 0.015 hr<sup>-1</sup> showed that the growth of *S. platensis* was relatively constant as reflected by the OD value of the suspension culture and the concentration of cellular biomass. At the optimum condition, production of *S. platensis* biomass was 0.267g/L and pollution level was decrease 24%. The rate of outflow also resulted the constant decrease of pollution level based on total carbon (TC), total dissolve solid (TDS), dissolve oxygen (DO), BOD, and COD parameters indicating that continuous photobioreactor was running at steady state.

[Keywords: Microalgae, CPO, biomass, greenhouse gas, waste water]

### Abstrak

Kultivasi *S. platensis* dalam media yang tersedia melimpah dan murah seperti limbah cair pabrik kelapa sawit (LC-PKS) akan menghasilkan biomassa dan bahan aktif bernilai ekonomi tinggi dengan harga kompetitif. Pemanfaatan LC-PKS juga akan mengurangi dampak pencemaran lingkungan dan membantu menciptakan sistem produksi bersih. Penelitian ini bertujuan menetapkan laju dilusi

\*) Penulis korespondensi: suharyanto\_biotek@yahoo.com

optimum pertumbuhan *S. platensis* dan laju penurunan tingkat cemaran LC-PKS pada fotobioreaktor sistem kontinyu. Untuk mengukur laju alir sistem kontinyu, pertama *S. platensis* ditumbuhkan pada media LC-PKS 25%, 50%, 75%, dan 90% dengan sistem batch. Pertumbuhan *S. platensis* pada fotobioreaktor sistem kontinyu kapasitas 1,2 L dirancang dengan variasi laju alir umpan berupa LC-PKS yang dicampur media sintetik pada konsentrasi optimum. Variasi laju alir pengumpanan diatur pada variasi 0.05 mL/5 detik (laju dilusi 0,03 jam<sup>-1</sup>), 0,05 mL/10 detik (laju dilusi 0,015 jam<sup>-1</sup>), dan 0,05 mL/15 detik (laju dilusi 0,01 jam<sup>-1</sup>). Pada laju alir optimum, skala percobaan diperbesar delapan kali menggunakan fotobioreaktor berkapasitas 10 L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju pertumbuhan maksimum ( $\mu_{maks}$ ) adalah 0,233 jam<sup>-1</sup> yang diperoleh dengan campuran media LC-PKS 90% dan media sintetik 10% selama dua minggu. Fotobioreaktor dengan laju dilusi 0,015 jam<sup>-1</sup> merupakan laju alir umpan yang optimum untuk pertumbuhan *S. platensis* serta menghasilkan penurunan tingkat cemaran LC-PKS yang optimum. Hasil penelitian dengan perbesaran skala delapan kali menggunakan laju alir pengumpan 0,4 mL/10 detik (laju dilusi 0,015 jam<sup>-1</sup>) menunjukkan bahwa pertumbuhan *S. platensis* relatif konstan. Produksi biomassa sel rata-rata sebesar 0,267g/L dan kadar cemaran limbah rata-rata menurun sebesar 24%. Laju alir keluar (outflow) juga menghasilkan kadar cemaran limbah yang konstan berdasarkan parameter total karbon (TC), total dissolve solid (TDS), dissolve oxygen (DO), BOD, dan COD yang menunjukkan bahwa sistem fotobioreaktor kontinyu ini berjalan dengan baik.

[Kata kunci: Mikroalga, CPO, biomassa, gas rumah kaca, limbah cair]

### Pendahuluan

*Spirulina platensis* adalah sianobakteri atau mikroalga hijau biru yang mampu tumbuh pada berbagai tingkat salinitas, pH sangat basa (pH 8-11), media dengan kandungan senyawa karbonat dan bikarbonat serta bahan-bahan organik (Nuhu, 2013). Biomassa *S. platensis* mengandung senyawa-senyawa yang diperlukan oleh tubuh manusia seperti protein 55-70%, lipid 4-6%, karbohidrat 17-25%, asam lemak tidak jenuh majemuk seperti asam linoleat (LA) dan  $\gamma$ -linolenat (GLA), beberapa vitamin seperti asam nikotinat, riboflavin (vitamin B<sub>2</sub>), thiamin (vitamin B<sub>1</sub>), sianokobalamin (vitamin B<sub>12</sub>), mineral, asam-

asam amino, dan bahan aktif lainnya seperti karotenoid, pigmen khlorofil dan fikosianin (Christwardana *et al.* 2013; Priyadarshani & Rath, 2012). Senyawa fikosianin, fikosianobilin, allofikosianin dalam biomassa *Spirulina* diketahui berfungsi sebagai antikanker, antibakteri, antifungi dan antivirus yang efektif (Nuhu, 2013). Oleh karena komposisi nutrisinya yang lengkap dan mudah dicerna serta khasiat farmasetiknya, maka mikroalga ini dapat berperan sebagai sumber makanan fungsional.

Mikroalga *Spirulina* dan *Chlorella vulgaris* memiliki laju pertumbuhan dan fotosintesis yang tinggi sehingga budidaya mikroalga ini akan mengurangi gas rumah kaca khususnya CO<sub>2</sub> (Purba & Chairunisa, 2012) dan secara simultan dapat menghasilkan bahan aktif bernilai ekonomi tinggi (Dianursanti *et al.*, 2012). Lipid yang dihasilkan dari mikroalga mengandung C16 dan C18 yang dapat diesterifikasi untuk produksi biodiesel bermutu tinggi (Silva *et al.*, 2014). Bahan aktif dan biomassa bebas lemak yang diperoleh dapat digunakan untuk pakan berkualitas gizi tinggi. Kultivasi *S. platensis* dalam media yang murah, seperti limbah perkebunan dan dengan mengoptimalkan pertumbuhannya akan menghasilkan bahan aktif bernilai tinggi dengan biaya murah. Di sisi lain, pemanfaatan limbah perkebunan akan mengurangi dampak pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh limbah, serta membantu menciptakan sistem produksi bersih.

Pabrik pengolahan kelapa sawit (PKS) menghasilkan limbah cair (LC-PKS) atau *palm oil mill effluent* (POME) yang jumlahnya terus meningkat seiring dengan meningkatnya produksi tandan buah segar (TBS). Kecuali untuk menyiram lahan (*land application*), pengolahan LC-PKS saat ini masih merupakan kegiatan bersifat *cost center* dan sekedar untuk memenuhi baku mutu limbah agar tidak mencemari lingkungan. Limbah cair industri kelapa sawit memiliki kadar air 95%, dengan 4,5% padatan dalam bentuk terlarut dan tersuspensi, 0,5-1% sisa minyak dan lemak teremulsi, karbohidrat, N-organik, N-NH<sub>3</sub>, orthofosfat dan mineral lainnya (Nur & Hadiyanto, 2013). LC-PKS bersifat nontoksik karena tidak menggunakan bahan kimia dalam proses ekstraksi minyak. Perbandingan BOD dan COD yang tinggi, yaitu 0,5 – 0,6 menunjukkan bahwa limbah industri kelapa sawit bersifat mudah terurai secara biologis (*biodegradable*) dan cukup baik untuk kultivasi mikroba.

Pertumbuhan *S. platensis* sangat tergantung pada intensitas cahaya. Oleh sebab itu penggunaan fotobioreaktor yang dilengkapi iluminasi dan terbuat dari bahan kaca tembus cahaya akan sangat membantu laju pertumbuhannya. Keunggulan kultivasi mikroalga dengan fotobioreaktor adalah kondisi steril dapat dipertahankan sehingga tingkat kontaminasi rendah, produksi terkontrol, desain dapat disesuaikan dengan kebutuhan industri, tidak memerlukan lahan yang luas dan dapat mencegah penguapan air dan CO<sub>2</sub>.

Hadiyanto & Nur (2012) melaporkan bahwa LC-PKS dapat digunakan untuk kultivasi *Chlorella* sp. dalam fotobioreaktor *batch* dengan penambahan urea, TSP, FeCl<sub>3</sub> dan vitamin B12, sedangkan Anggita Sari *et al.* (2012) juga menggunakan limbah yang sama untuk kultivasi *S. platensis* dengan penambahan urea, TSP dan NaHCO<sub>3</sub> secara *batch*. Kombinasi fitoremediasi dan kultivasi mikroalga dapat memperbaiki kualitas LC-PKS (Hadiyanto *et al.*, 2013). Dengan memanfaatkan LC-PKS untuk budidaya mikroalga, maka pabrik kelapa sawit dapat menerapkan prinsip 5R karena akan terjadi pengurangan volume limbah (*reduce*), peningkatan kelarutan oksigen sekaligus pemanfaatan biomassa *Spirulina* yang dihasilkan untuk pakan ternak (*reuse & recovery*). Air bersih yang diperoleh dapat digunakan kembali untuk proses produksi (*reuse & recycle*).

Berbeda dengan kultivasi sistem *batch*, mikroalga pada kultur kontinyu diusahakan tetap berada pada fase eksponensial selama mungkin dengan menambahkan substrat baru sebagai pengganti substrat yang dikonsumsi dengan laju alir yang sama dan secara bersamaan juga dilakukan pemanenan (*recovery*) biomassa dan produk metabolit sel (Daniyati *et al.*, 2012). Tujuan penelitian ini adalah menetapkan laju pertumbuhan *S. platensis*, penurunan tingkat cemaran LC-PKS, dan laju dilusi optimum pada sistem kontinyu dengan skala 1,2 L serta stabilitas pertumbuhannya pada fotobioreaktor kontinyu skala 10 L.

## Bahan dan Metode

### Bahan

Limbah cair pabrik kelapa sawit (LC-PKS) segar diperoleh dari pabrik kelapa sawit Kertajaya PT Perkebunan Nusantara VIII, Banten. Kultur *S. platensis* yang digunakan merupakan koleksi Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia (BPBPI). Bioreaktor menggunakan sistem *batch* dan kontinyu yang dilengkapi aerator dan illuminator eksternal berupa lampu *tube light* (TL) 20 W dengan kapasitas 1,2 L dan 10 L.

### Pembuatan media tumbuh

Komposisi media sintetik berupa makronutrien dan mikronutrien untuk media tumbuh *S. platensis* mengikuti komposisi menurut Tri-Panji & Suharyanto (2001). Limbah terlebih dahulu diaerasi hingga warnanya berubah dari hitam pekat menjadi cokelat tua, kemudian disaring menggunakan kertas saring. Kondisi pH media dipertahankan pada kisaran 8-11.

### Penentuan kepekatan media LC-PKS dan waktu optimum

Untuk mengetahui konsentrasi LC-PKS dalam media dan waktu yang optimum, *S. platensis* ditumbuhkan secara *batch* pada berbagai komposisi media, yaitu (1) LC-PKS 25% dan media sintetik 75%, (2)

LC-PKS 50% dan media sintetik 50%, (3) LC-PKS 75% dan media sintetik 25%, serta (4) LC-PKS 90% dan media sintetik 10%. *Spirulina platensis* ditumbuhkan pada suatu bejana kaca volume 3 L dan diaerasi dengan aerator. Inokulum *S. platensis* ditambahkan sebanyak 10% dari volume media pertumbuhan. Parameter yang diamati meliputi nilai densitas optik (OD) pada  $\lambda$  480 nm, biomassa kering, dan nilai total karbon. Hasil pengamatan ini digunakan untuk menghitung laju pertumbuhan spesifik ( $\mu$ ) berdasarkan rumus: (1). Perubahan konsentrasi biomassa sel mikroalga per satuan waktu merupakan fungsi laju pertumbuhan spesies (Greenfield, 1985), yaitu :  $\frac{dx}{dt} = \mu x$  ..... (1)

$\mu$  = laju pertumbuhan spesifik mikroalga ( $\text{jam}^{-1}$ )  
 $x$  = konsentrasi biomassa sel mikroalga (g/L)

Integral persamaan (1) menghasilkan :

$x_t = x_o e^{\mu t}$  .....(2)  
 $x_o$  = konsentrasi biomassa sel mikroalga awal (g/L)  
 $x_t$  = konsentrasi biomassa sel mikroalga setelah t jam (g/L)  
 $t$  = waktu inkubasi (jam)

Logaritma persamaan (2) dengan bilangan dasar e menghasilkan :

$$\ln x_t = \ln x_o + \mu t \dots\dots\dots(3)$$

Jika  $\ln x_t$  diplot sebagai sumbu y dengan waktu (t) sebagai sumbu x akan diperoleh persamaan regresi linier dengan slope (kemiringan)  $\mu$  dan  $\ln x_o$  sebagai interseptnya. Selama fase eksponensial, mikroalga tumbuh pada laju pertumbuhan spesifik  $\mu_{\text{maks}}$

$$\mu_{\text{maks}} = \frac{\ln X_t - \ln X_o}{t} \dots\dots\dots(4)$$

dengan nisbah penggunaan substrat =  $\frac{S_o - S_t}{S_o}$  ..... (5)

$S_o$  = Konsentrasi substrat awal (g/L)  
 $S_t$  = Konsentrasi substrat setelah t jam (g/L)

**Kultivasi sistem kontinyu**

Waktu pertumbuhan *S. platensis* dan konsentrasi media LC-PKS optimum pada sistem *batch* digunakan untuk percobaan laju alir pengumpanan pada sistem kontinyu. Dalam sistem kontinyu, media dipertahankan dalam keadaan kesetimbangan (*steady state*) yaitu penambahan substrat baru seimbang dengan substrat yang digunakan sehingga mikroba selalu dalam fase eksponensial selama mungkin. Peubah yang digunakan dalam sistem sel mikroba adalah laju dilusi/*dilution rate* (D) yang merupakan kebalikan dari waktu tinggal (*residence time*). Laju dilusi (D) yaitu nisbah antara laju aliran media masuk ke dalam bioreaktor dengan volume bioreaktor (Greenfield, 1985), yaitu :

$$D = \frac{F}{V} \dots\dots\dots(6)$$

F = laju umpan aliran media (mL/menit)  
 V = volume fotobioreaktor (mL)

D = laju dilusi ( $\text{jam}^{-1}$ )

Perubahan konsentrasi sel mikroalga selama fermentasi ditentukan oleh jumlah sel baru yang tumbuh dan jumlah sel yang dipanen. Perubahan konsentrasi biomassa sel = konsentrasi biomassa sel baru – konsentrasi biomassa sel yang dikeluarkan.

$$\frac{dx}{dt} = \mu x - D x \rightarrow (\mu - D) x \dots\dots\dots(7)$$

Pada kondisi kesetimbangan

$$\frac{dx}{dt} = 0 \text{ sehingga } \mu x = D x \rightarrow \mu = D \dots\dots(8)$$

atau laju pertumbuhan spesifik ditentukan oleh laju dilusi.

Percobaan kultivasi secara kontinyu dilakukan pada fotobioreaktor kapasitas 1,2 L. Rancangan sistem pertumbuhan *S. platensis* pada sistem kontinyu mengacu data konsentasi LC-PKS optimum dan waktu pertumbuhan optimum pada kultivasi sistem *batch*. Pertumbuhan pada sistem *batch* membutuhkan waktu dua minggu. Dengan laju alir 1 tetes/detik atau 0,05 mL/detik, selama 14 hari, LC-PKS yang dibutuhkan dapat dihitung sebagai berikut:

1 tetes/ detik x 0,05 mL/tetes x 14 hari x 24 jam/hari x 3600 detik/jam = 60.480 mL (=60,48 liter).

Untuk fotobioreaktor 1,2 L, laju alir seharusnya = 1,2 L/60,48 L tetes/detik = 1 tetes/50 detik, tetapi pada percobaan awal dengan laju alir 1 tetes/20 detik aliran terhenti dan dapat mengalir pada laju alir minimum 1 tetes/15 detik

Variasi laju alir pengumpanan diatur pada variasi 1 tetes/5 detik (laju dilusi 0,03  $\text{jam}^{-1}$ ), 1 tetes/10 detik (laju dilusi 0,015  $\text{jam}^{-1}$ ), dan 1 tetes/15 detik (laju dilusi 0,01  $\text{jam}^{-1}$ ). Kondisi optimum laju alir dipilih berdasarkan pertumbuhan mikroalga yang diukur dari peningkatan OD ( $\lambda = 480 \text{ nm}$ ) dan penurunan BOD, COD, dan padatan terlarut paling besar.

**Kultivasi sistem kontinyu skala 10 L**

Penelitian sistem kontinyu skala 10 L dilakukan dengan acuan kondisi optimum hasil penelitian sistem kontinyu skala 1,2 L. Kapasitas fotobioreaktor terbesar yang tersedia 10 liter dan laju alir diatur 1 tetes/6 detik. Peubah yang diamati adalah produksi biomassa, nilai OD ( $\lambda = 480 \text{ nm}$ ), nilai BOD, COD, *total dissolved solid* (TDS), *fixed dissolved solid* (FDS), total karbon (TC) dan *dissolved oxygen* (DO) (American Public Health Association, 2005).

**Hasil dan Pembahasan**

**Kepekatan LC-PKS dan waktu pertumbuhan optimum**

*Spirulina platensis* merupakan mikroalga yang mampu tumbuh dengan memanfaatkan gula sebagai sumber karbon (Arbianti *et al.*, 2013) dan hidrolisat protein sebagai sumber karbon dan nitrogen (Hasan *et al.*, 2012). Walaupun LC-PKS telah mengandung

senyawa makronutrien yang dibutuhkan untuk pertumbuhan *S. platensis*, penambahan media sintetik tetap diperlukan karena mikroalga juga membutuhkan senyawa mikronutrien yang mungkin tidak tersedia dalam LC-PKS. Percobaan sebelumnya menunjukkan bahwa pertumbuhan *S. platensis* pada LC-PKS 100% berjalan lambat dan memerlukan waktu aklimatisasi lebih dari tiga bulan yang diduga karena kekurangan mikronutrien (Tri-Panji et al. 2010).

*Spirulina platensis* tumbuh baik dalam media LC-PKS pada sistem *batch* skala 3 L. Pertumbuhan *S. platensis* dengan empat macam konsentrasi media LC-PKS tersebut menunjukkan pola yang khas (Gambar 1 dan 2) yaitu peningkatan produksi biomassa dan densitas optik yang cepat, diikuti dengan penurunan total karbon (TC). Penurunan TC menunjukkan bahwa senyawa karbon dari bahan organik LC-PKS dikonsumsi oleh *S. platensis*. Hal ini karena mikroalga tersebut mampu tumbuh baik dalam media organik, anorganik maupun campuran keduanya. Kadar TC dan nilai densitas optik pada media LC-PKS 25% mengalami penurunan pada fase akhir pengamatan (21-25 hari), tetapi konsentrasi biomassa sel tetap terlihat naik. Penurunan nilai densitas optik tersebut mungkin disebabkan sebagian sel-sel *S. platensis* membentuk gumpalan-gumpalan biomassa yang menyebabkan penurunan kekeruhan. Pengamatan menunjukkan bahwa TC menurun dengan cepat dari hari ketujuh pada media LC-PKS 75% dan mulai hari ketiga pada media LC-PKS 90%. Terjadinya fluktuasi TC kemungkinan disebabkan adaptasi mikroalga terhadap lingkungannya dan lisis sel yang terhitung sebagai TC. Penurunan TC tersebut menunjukkan bahwa *S. platensis* sangat potensial untuk dibiakkan dalam media LC-PKS untuk produksi biomassa dan sekaligus untuk menurunkan kadar polutannya.

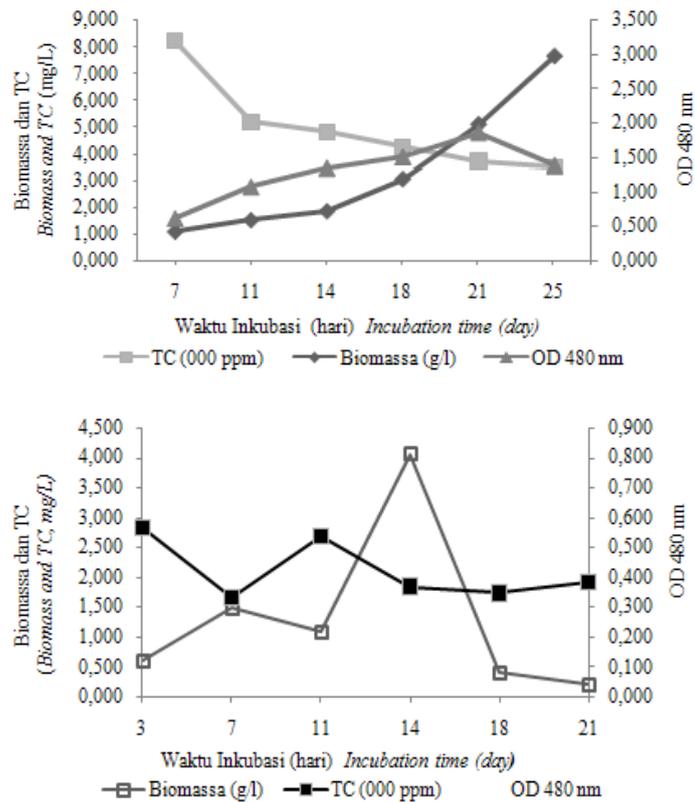
Nilai *fixed dissolved solid* (FDS) dan *total dissolved solid* (TDS) tampak berfluktuasi selama fase pertumbuhan yang mungkin disebabkan oleh dinamika pertumbuhan *S. platensis*. Penurunan kadar TDS yang tajam terjadi pada periode 18-21 hari dan kenaikan terjadi pada periode 21-25 hari (Gambar 3). Dinamika ini sejalan dengan kenaikan OD 480 nm pada periode 18-21 hari dan penurunan pada periode 21-25 hari. Kadar FDS merupakan kandungan bahan sisa pijar (550 °C) yang berkorelasi dengan banyaknya bahan anorganik termasuk unsur makro dan mikro, sedangkan kadar TDS merupakan kandungan bahan total (organik dan anorganik) sisa penguapan pada suhu 105°C. Jadi, kadar FDS berkaitan dengan kandungan garam-garam dalam media tumbuh, sedangkan TDS merupakan jumlah kandungan garam anorganik dengan bahan organik. Data FDS dan TDS selama pertumbuhan *S. platensis* pada media LC-PKS 50% menunjukkan pola yang serupa dengan data FDS dan TDS pada media LC-PKS 25%, namun titik terendah dicapai pada periode yang berbeda, yaitu 18

hari untuk LC-PKS 50% dan 21 hari untuk LC-PKS 25% (Gambar 3). Data FDS dan TDS pada kultur *S. platensis* dalam LC-PKS 75% menunjukkan bahwa TDS terendah dicapai pada kisaran 14 hari yang menunjukkan bahwa kadar polutan terendah dicapai pada periode tersebut (Gambar 4). Hal ini sejalan dengan kondisi pertumbuhan maksimum *S. platensis* pada media tersebut yang mencapai waktu optimum 14 hari (Gambar 2). Demikian pula pada kultur *S. platensis* pada LC-PKS 90%. Data FDS dan TDS menunjukkan bahwa nilai terendah polutan pada media tersebut tercapai pada periode sembilan hari yang mendekati periode pertumbuhan optimum *S. platensis* yang mencapai optimum pada periode enam hari (Gambar 4).

Selisih TDS dan FDS merupakan konsentrasi senyawa karbon total terlarut (TC). Dengan demikian laju konsumsi senyawa karbon lebih mudah terlihat pada penurunan kadar TC (Gambar 1 dan 2). Data pada Gambar 3 dan 4 memperlihatkan bahwa kadar TC pada LC-PKS 75% sudah mencapai 1000 ppm pada inkubasi selama 14 hari yang merupakan TC minimum pada media ini. Pada LC-PKS 90%, kadar TC terendah (1000 ppm) dicapai pada inkubasi selama 13 hari. Laju pertumbuhan spesifik tertinggi dicapai pada penggunaan substrat LC-PKS 50% yaitu 0,244 jam<sup>-1</sup>, disusul substrat LC-PKS 90%, yaitu 0,233 jam<sup>-1</sup>, dan terendah adalah LC-PKS 25%, yaitu 0,133 jam<sup>-1</sup> (Tabel 1). Sedangkan rasio penggunaan substrat paling banyak dicapai pada LC-PKS 90%, yaitu sebesar 0,167, maka selanjutnya pembiakan *S. platensis* pada sistem kontinyu dilakukan pada LC-PKS 90%. Penggunaan media tumbuh yang tinggi berarti penghilangan polutan bahan organik dalam limbah juga akan mencapai nilai tertinggi. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa waktu optimum pertumbuhan *S. platensis* adalah dua minggu dengan media LC-PKS 90%. Setelah mengetahui waktu optimum pertumbuhan *S. platensis* secara *batch*, kemudian dirancang fotobioreaktor dengan laju aliran (LC-PKS) tertentu.

#### Sistem kontinyu

Laju alir pada fotobioreaktor kapasitas 1,2 L pada awalnya dibuat tiga variasi, yaitu 1 tetes/10 detik (laju dilusi 0,015 jam<sup>-1</sup>), 1 tetes/15 detik (laju dilusi 0,01 jam<sup>-1</sup>), dan 1 tetes/ 20 detik (laju dilusi 0,0075 jam<sup>-1</sup>). Setelah proses ini dijalankan, ternyata umpan dengan laju 1 tetes/20 detik (laju dilusi 0,0075 jam<sup>-1</sup>) mendapat kendala aliran melalui selang infus sering mampat serta laju penguapan lebih tinggi dibandingkan laju penambahan substrat efektif. Oleh karena itu, variasi laju alir diatur menjadi 1 tetes/5 detik (laju dilusi 0,03 jam<sup>-1</sup>), 1 tetes/10 detik (laju dilusi 0,015 jam<sup>-1</sup>), dan 1 tetes/15 detik (laju dilusi 0,01 jam<sup>-1</sup>). Data peubah pertumbuhan dan kualitas limbah pada sistem kontinyu seperti produksi biomassa, densitas



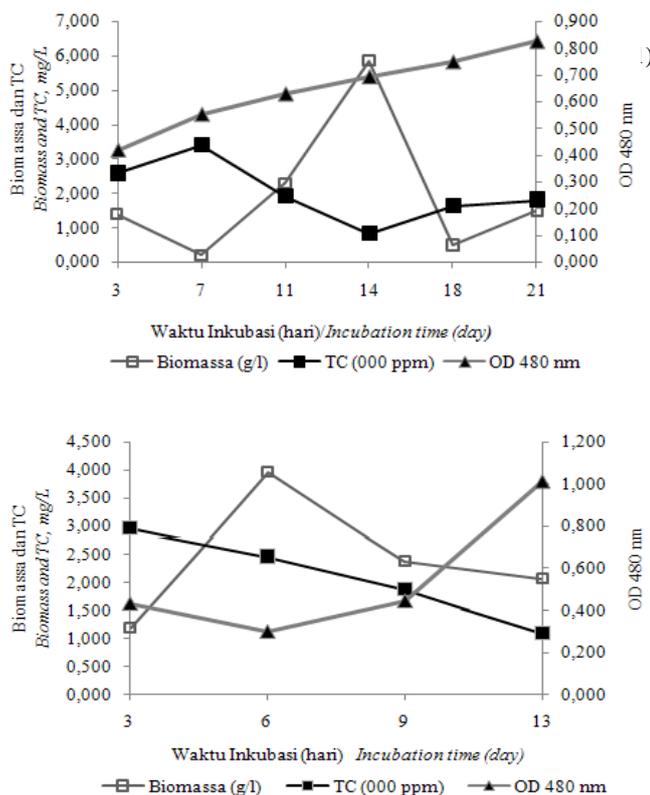
Gambar 1. Pertumbuhan *S. platensis* dengan media (1) LC-PKS 25% dan (2) LC-PKS 50%.  
 Figure 1. Growth of *S. platensis* using media (1) POME 25% and (2) POME 50%.

Tabel 1. Laju pertumbuhan spesifik ( $\mu$ ) dan rasio penggunaan substrat *S. platensis* pada berbagai konsentrasi LC-PKS.  
 Table 1. Specific growth rate ( $\mu$ ) and substrate used ratio of *S. platensis* on various level of POME concentration.

Konsentrasi LC-PKS POME concentration (%)	Laju pertumbuhan spesifik $\mu$ maks Specific growth rate $\mu$ max (jam <sup>-1</sup> /hour <sup>-1</sup> )	Rasio substrat yang digunakan Substrate used ratio (So-S)/So
25	0,330	0,520
50	0,244	0,313
75	0,203	0,562
90	0,233	0,167

optik, TDS, FDS, TC, DO, BOD dan COD dapat dilihat pada Tabel 2. Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa biomassa kering tertinggi diperoleh pada fotobioreaktor dengan laju dilusi 0,015 jam<sup>-1</sup> yaitu sebesar 0,104 g/L, sedangkan nilai biomassa kering terendah diperoleh pada fotobioreaktor dengan laju dilusi 0,03 jam<sup>-1</sup> yaitu 0,090 g/L. Nilai biomassa yang tinggi menandakan mikroalga *S. platensis* tumbuh dengan baik karena laju dilusi optimum. Menurut Dianursanti *et al.* (2012) kultivasi *Chlorella vulgaris* dalam fotobioreaktor kontinyu yang disertai dengan teknik filtrasi untuk pemanenan dapat menekan pengaruh *self shading* sehingga dapat meningkatkan biomassa sel hingga 2–2,5 kali dibanding kultivasi secara *batch*. Nilai biomassa yang rendah pada foto-

bioreaktor kontinyu menandakan pertumbuhan *S. platensis* kurang baik karena laju dilusi terlalu tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai OD tertinggi (0,604) diperoleh pada fotobioreaktor dengan laju dilusi 0,01 jam<sup>-1</sup>, sedangkan nilai OD terendah yaitu 0,250 diperoleh pada fotobioreaktor dengan laju dilusi 0,03 jam<sup>-1</sup>. Persamaan pertumbuhan mikrolaga ( $dx/dt$ ) sistem kontinyu adalah  $(dx/dt) = (\mu - D) x$  dimana  $\mu$  adalah laju pertumbuhan spesifik,  $D$  adalah laju dilusi, dan  $dx/dt$  adalah pertumbuhan sel (pertambahan sel per satuan waktu), maka jika pertumbuhan (tercermin dari nilai OD) turun, berarti  $dx/dt$  bernilai negatif atau  $\mu < D$ . Jika nilai OD tetap berarti  $dx/dt$  sama dengan nol atau  $\mu = D$ , sedangkan jika OD naik maka  $dx/dt$  bernilai positif atau  $\mu > D$ .



Gambar 2. Pertumbuhan *S. platensis* dengan media (1) LC-PKS 75% dan (2) LC-PKS 90%.  
 Figure 2. Growth of *S. platensis* using media (1) POME 75% and POME 90%.

Tabel 2. Pertumbuhan *S. platensis* dalam fotobioreaktor sistem kontinyu skala 1,2 L dengan tiga variasi laju dilusi menggunakan media LC-PKS 90%.

Table 2. Growth of *S. platensis* in continous photobioreactor system with 1,2 L capacity at three dilution rate using 90% POME as media.

Parameter pengujian (Testing parameters)	Laju dilusi (jam <sup>-1</sup> ) (Dilution rate (hour <sup>-1</sup> ))		
	0,030	0,015	0,010
Biomassa/Biomass, g/L	0,090	0,104	0,101
Densitas optik/Optical density	0,250	0,476	0,604
Padatan terlarut total/Total dissolve solid (TDS), 1000x ppm	6,683	6,830	6,781
Padatan terlarut tetap/Fixed dissolve solid (FDS), 1000x ppm	5,683	5,808	7,535
Karbon total/Total carbon (TC), ppm	1000	1022	1326
Oksigen terlarut/Dissolve oxygen (DO), ppm	3,97	3,89	3,99
Biological oxygen demand (BOD), (ppm)	35,50	34,40	36,80
Chemical oxygen demand (COD), ( ppm)	372	358	503

Nilai OD terlalu rendah menandakan bahwa laju dilusi pada sistem tersebut terlalu tinggi, sehingga menyebabkan wash out. Hal ini berarti laju dilusi pada sistem ini melebihi laju pertumbuhannya ( $\mu$ ). Nilai OD terlalu tinggi menandakan bahwa laju dilusi terlalu rendah, sehingga pertumbuhan *S. platensis* hanya mengandalkan sisa nutrisi pada media yang tersedia pada bejana. Pertumbuhan akan makin menurun dengan makin menipisnya ketersediaan nutrisi dalam media. Nilai OD secara umum berkorelasi dengan konsentrasi biomassa, namun tidak

pada semua nilai OD. Di samping itu, korelasi OD dengan konsentrasi biomassa pada konsentrasi LC-PKS yang berbeda juga memiliki nilai yang berbeda. Hal ini disebabkan pada konsentrasi LC-PKS yang makin besar, latar belakang (background) warna coklat LC-PKS makin pekat sehingga makin besar pengaruhnya terhadap pembacaan nilai OD.

Kadar TC terendah terdapat pada sistem fotobioreaktor dengan laju dilusi 0,03 jam<sup>-1</sup> yaitu 1000 ppm, sedangkan kadar TC tertinggi terdapat pada sistem fotobioreaktor dengan laju dilusi 0,01 jam<sup>-1</sup> yaitu

sebesar 1326 ppm. Kadar TC yang rendah menandakan *S. platensis* dapat mengonsumsi karbon organik dengan optimum, sedangkan kadar TC yang tinggi menandakan bahwa mikroalga ini belum maksimal dalam mengonsumsi karbon organik yang terdapat pada media LC-PKS.

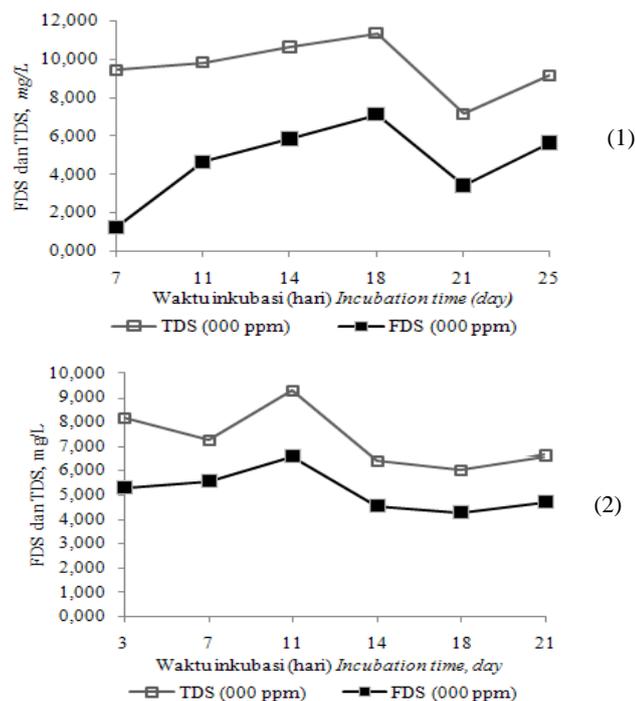
Nilai BOD dan COD menunjukkan besarnya beban pencemaran oleh buangan yang dinyatakan dengan parameter kebutuhan oksigen yang akan dikonsumsi oleh mikroba bila beban pencemaran tersebut memasuki sungai. Nilai BOD dan COD terendah terdapat pada fotobioreaktor dengan laju dilusi 0,015 jam<sup>-1</sup> yaitu sebesar 34,45 ppm dan 35,67 ppm, sedangkan nilai BOD dan COD tertinggi terdapat pada fotobioreaktor dengan laju dilusi 0,01 jam<sup>-1</sup> yaitu sebesar 36,86 ppm dan 50,27 ppm. Laju dilusi (D) yang semakin besar menandakan penambahan nutrisi berupa bahan organik semakin banyak, yang mengakibatkan sisa bahan organik dalam media semakin banyak, sehingga TC, BOD, dan COD meningkat. Nilai DO menandakan adanya oksigen terlarut yang terdapat di dalam air sebagai hasil dari proses fotosintesis. Dari hasil pengujian ini didapatkan bahwa nilai DO tertinggi terdapat pada fotobioreaktor dengan laju dilusi 0,01 jam<sup>-1</sup> sebesar 3,995 ppm, sedangkan nilai DO terendah terdapat pada fotobioreaktor dengan laju dilusi 0,015 jam<sup>-1</sup> yaitu 3,887 ppm. Nilai oksigen terlarut yang tinggi menandakan bahwa kandungan bahan organik terlarut makin rendah serta kandungan sel *S. platensis* hidup semakin besar. Hal ini disebabkan *S. platensis* adalah mikroba fotosintetik yang menghasilkan oksigen selama proses fotosintesis. Dengan demikian makin tinggi konsentrasi

biomassa sel, akan semakin tinggi konsentrasi oksigen, selama sel tetap tumbuh. Jika laju dilusi tinggi, penambahan bahan organik juga tinggi, yang akan menyebabkan oksigen terlarut (DO) akan turun (American Public Health Association, 2005).

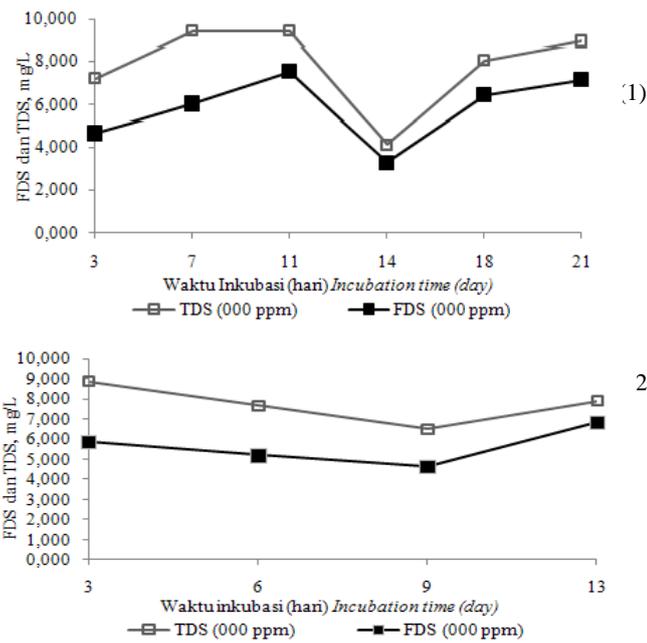
Data ini sejalan dengan nilai *Fixed Dissolved Solid* (FDS) dan *Total Dissolved Solid* (TDS) yang menunjukkan bahwa nilai FDS dan TDS pada laju dilusi 0,015 jam<sup>-1</sup> cukup rendah, yaitu sebesar 5808 ppm dan 6830 ppm. FDS dan TDS merupakan material terlarut yang berturut-turut berasal dari bahan anorganik dan campuran total organik dan anorganik (American Public Health Association, 2005). Hasil pengujian parameter produksi biomassa, kadar TC, DO, BOD dan COD dapat disimpulkan bahwa fotobioreaktor dengan laju dilusi 0,015 jam<sup>-1</sup> merupakan laju alir umpan yang optimum untuk pertumbuhan *S. platensis* serta menghasilkan penurunan tingkat cemaran LC-PKS yang maksimum.

*Sistem kontinyu skala 10 L*

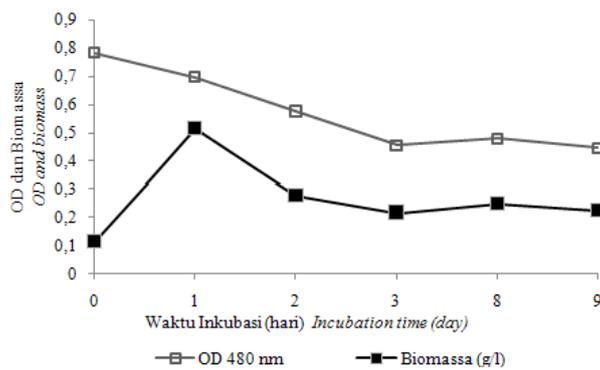
Karena fotobioreaktor yang digunakan pada saat penelitian pendahuluan berkapasitas 1,2 L (seperdelapan kali kapasitas fotobioreaktor untuk penelitian utama), maka laju alir umpan yang digunakan juga disesuaikan dengan kapasitas fotobioreaktor untuk penelitian utama. Laju alir optimum yang digunakan pada penelitian pendahuluan, dikalikan delapan menjadi 8 tetes/10 detik atau 0,4 mL/10 detik, sedangkan laju dilusi adalah sama dengan laju dilusi optimum pada fotobioreaktor kapasitas 1,2 L optimum, yaitu 0,015 jam<sup>-1</sup>.



Gambar 3. Nilai FDS dan TDS selama pertumbuhan *S. platensis* pada (1) LC-PKS 25%, (2) LC-PKS 50%.  
 Figure 3. FDS and TDS values during growth of *S. platensis* at media (1)POME 25%, (2) POME 50%.



Gambar 4. Nilai FDS dan TDS selama pertumbuhan *S.platensis* pada (1) LC-PKS 75%, (2) LC-PKS 90%.  
 Figure 4. FDS and TDS values during growth of *S.platensis* at media (1) POME 75%, (2) POME 90%.



Gambar 5. Produksi biomassa *S. platensis* dan perubahan OD ( $\lambda = 480$  nm) dalam fotobioreaktor skala 10 L dengan media LC- PKS 90% dengan laju dilusi 0,015 jam<sup>-1</sup>.  
 Figure 5. Biomass production of *S. platensis* and OD ( $\lambda = 480$  nm) change in photobioreactor ca. 10 L using 90% POME with dilution time 0,015 hour<sup>-1</sup>.

Tabel 3. Nilai TC, DO, BOD dan COD LC-PKS 90% yang masuk (inflow) dan keluar (outflow) pada kultivasi *S. platensis* dengan fotobioreaktor skala 10 L.

Table 3. Values of TC, BOD and COD of 90% POME inflow and outflow during *S. platensis* cultivation in continous photobioreactor ca. 10 L.

Parameter	Aliran masuk Inflow (ppm)	Aliran keluar Outflow (ppm)	Peningkatan/ penurunan Increasing/decreasing (%)	Baku mutu limbah cair Quality standard for POME (ppm)
TC	1605 ± 15	1219 ± 12	24,10	-
DO	4,22 ± 0,05	4,12 ± 0,05	2,60	-
BOD	25,13 ± 0,25	18,94 ± 0,20	24,60	100
COD	40,77 ± 0,40	40,99 ± 0,40	5,00	200

Produksi biomassa sel kering mengalami fluktuasi. Pada awal pertumbuhan *S. platensis* sedang beradaptasi dengan kondisi lingkungan. Pada hari ketiga, nilai OD dan nilai biomassa cenderung konstan karena mikroalga ini telah beradaptasi dengan lingkungannya (Gambar 5). Selain nilai TC dan BOD, secara umum peningkatan atau penurunan nilai parameter pada percobaan kultivasi *S. platensis* dengan fotobioreaktor kontinyu skala 10 L relatif kecil (Tabel 3). Hal ini mengindikasikan bahwa laju dilusi menghasilkan kondisi yang mendekati kesetimbangan. Nilai TC dan nilai BOD mengalami penurunan yaitu sebesar 386 ppm dan 6,19 ppm, sedangkan nilai DO dan COD tidak mengalami penurunan yang signifikan (Tabel 3). Nilai BOD dan COD dari buangan yang keluar pada sistem ini telah di bawah baku mutu lingkungan sehingga aman untuk dibuang ke lingkungan. Penurunan tingkat pencemaran LC-PKS, laju pertumbuhan, dan konsentrasi biomassa *S. platensis* relatif konstan yang mengindikasikan bahwa sistem fotobioreaktor kontinyu telah berjalan dengan baik dan sangat prospektif untuk dikembangkan dalam skala besar (komersial). Namun, percobaan secara pilot perlu terlebih dahulu dilakukan untuk memperoleh data kinerja fotobioreaktor yang mendekati kondisi skala komersial.

### Kesimpulan

*Spirulina platensis* dapat ditumbuhkan dalam fotobioreaktor kontinyu menggunakan media LC-PKS 90% dan media sintetik 10% dengan laju dilusi 0,015 jam<sup>-1</sup>. Pertumbuhan *S. platensis* setelah tiga hari pada perbesaran skala percobaan delapan kali relatif konstan, dengan biomassa 0,25 g/L dan OD = 0,5. disertai penurunan nilai TC dan nilai BOD. Laju alir keluar (*outflow*) menghasilkan kadar cemaran limbah yang konstan yang menunjukkan sistem dari fotobioreaktor kontinyu ini berjalan dengan baik.

### Daftar Pustaka

American Public Health Association (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. 21<sup>th</sup> ed. Washington DC, USA.

Anggita-Sari FY, IMA Suryajaya & Hadiyanto (2012). Kultivasi mikroalga *Spirulina platensis* dalam media POME dengan variasi jumlah dan komposisi nutrisi. *J Teknol Kimia & Industri* 1 (1), 487-494.

Arbianti R, S Amini, TS Utami, H Hermansyah & K Hadi (2013). Produksi pelengkap nutrisi dari mikroalga laut *Spirulina platensis* dan *Botryococcus barunii*. *J Teknik Kimia Ind* 11 (5), 243-249.

Chriswardana M, MA Nur & Hadiyanto (2013). *Spirulina platensis*: Potensinya sebagai bahan pangan fungsional. *J Apl Teknol Pangan* 2 (1), 1-4.

Daniyati R, G Yudoyono, A Rubiyanto (2012). Design closed photobioreactor *Chlorella vulgaris* sebagai mitigasi emisi CO<sub>2</sub>. *J Sains dan Seni ITS* 1, 1-5.

Dianursanti, M Nasikin & A Wijanarko (2012). The effect of cell density arrangement in *Chlorella vulgaris* to CO<sub>2</sub> fixation and essential substances production. *J Chem and Chem Engin* 6 (2), 152-157.

Greenfield PF (1985). Mass and energy balances for biological reactors. In: *Proc of the First Asean Workshop on Biochemical Engineering*, Bangkok, Thailand, 25-27 September 1985. p247-267.

Hadiyanto, M Christwardana & D Sutrisnanto (2013). Phytoremediation of palm oil mill effluent (POME) by using aquatic plant and microalgae for biomass production. *J Environ Sc & Technol* 6 (2), 79-90.

Hadiyanto H & MA Nur (2012). Potential of palm oil mill effluent (POME) as media growth of *Chlorella* sp. for bioenergy production. *Internat J Environ and Bioen* 3(2), 67-74.

Hassan SH, MS Abdel Hameed, OE Hammouda, FM Ghazal & SM Hamed (2012). Effect of different growth conditions on certain biochemical parameters of different cyanobacterial strains. *Malaysian J of Microbiol* 8 (4), 266-272.

Nuhu AA (2013). *Spirulina (Arthrospira)*: An important source of nutritional and medicinal compounds. *J Marine Biol* 2013, 1-8.

Nur MA & H Hadiyanto (2013). Utilization of agro-industry wastewater as growth media for microalgae based bioenergy feedstock in Indonesia (an overview). *Internat J Sustainable Future for Human Security* 1 (1), 3-7.

Purba E & AC Khairunisa (2012). Kajian laju reaksi fotosintesis untuk penyerapan gas CO<sub>2</sub> menggunakan mikroalga *Tetraselmis chuii*. *J Rekayasa Proses* 6 (1), 7-13.

Priyadarshani I & B Rath (2012). Commercial and industrial application of micro algae : A review. *J Algal Biomass Utilisation* 3 (4), 89-100.

Silva CSP, ME Silva-Stenico, MF Fiore, HF de Castro & PCM da Rose (2014). Optimization of conditions for *Synechococcus* sp PCC 7942 (cyanobacterium) to be used as feedstock for biodiesel production. *Algal Res* 3, 1-7.

Tri-Panji & Suharyanto (2001). Optimization of media from low-cost nutrient sources for growing *Spirulina platensis* and carotenoid production. *Menara Perkebunan* 69(1), 18-28.

Tri-Panji, T Aminingsih & Y Mayangsari (2010). Produksi asam lemak tak jenuh majemuk dari *Spirulina platensis* yang dibiakkan dalam limbah cair pabrik kelapa sawit. *Ekologia* 10 (2), 27-34.

Yuliandri F, Y Duta Utama & L Buchori (2013). Biofiksasi CO<sub>2</sub> oleh mikroalga *Spirulina* sp. dalam upaya pemurnian biogas. *J Teknol Kimia dan Industri* 2 (4), 125-131.