

Pengaruh Pencahayaan Siklus Harian Terhadap Produksi Biomassa *Chlorella Vulgaris* Buitenzorg Dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung

Anondho Wijanarko, Dianursanti, Valentino, Heri Hermansyah, Misri Gozan, Arief Budi Witarto dan Roekmijati Widaningroem Soemantojo

Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

Abstrak

Mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg memiliki potensi dalam memfiksasi CO_2 dan dilihat dari kandungan protein dan zat esensial lainnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan makanan tambahan. Perlakuan pencahayaan siklus harian pada kultivasi *Chlorella vulgaris* Buitenzorg menunjukkan hasil akhir produksi biomassa dan laju fiksasi CO_2 yang lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan pencahayaan sinambung, dengan perbandingan hasil produksi biomassa sebesar 79,0% serta nilai CTR (carbon dioxide transferred rate) sebesar 54,0% dan nilai q_{CO_2} (microbial carbon dioxide fixation ability) sebesar 50,0% sebagai parameter yang menunjukkan kemampuan fiksasi CO_2 -nya. Kedua perlakuan tersebut dilakukan dalam 1,0 L kolom gelembung mengandung 600 mL medium Beneck yang dihembuskan udara yang mengandung CO_2 sebesar 10,0% dengan kecepatan superfisial hembusan udara sebesar 3,60 m/h pada temperatur 29,0°C dan tekanan operasi 1.0 atm. Sebagai tambahan, energi pembentukan biomassa (E_x) juga menunjukkan nilai 70,0% lebih besar dibandingkan perlakuan pencahayaan sinambung.

Kata kunci: Mikroalga, *chlorella vulgaris* buitenzorg, produksi biomassa dan fiksasi CO_2

Abstract

Green Algae *Chlorella vulgaris* Buitenzorg green have a potencies such as their ability in CO_2 fixation and it's protein and essential contents observation for supplement food purpose. *Chlorella vulgaris* Buitenzorg's cultivation results using daily cycle illumination showed that the final biomass production and CO_2 fixation rate are lower if compared to continuous illumination treatment. The comparisons between these two treatments are 54.0% for CTR (carbon dioxide transferred rate) value and 50.0% for q_{CO_2} (microbial carbon dioxide fixation ability) value as parameter that shown it's CO_2 fixation ability and 79.0% for biomass production. Both of treatments was done in 1.0 L bubble column fotobioreactor content 600 mL Beneck medium that was sparged by 3.6 m/h superficial velocity of air consisting of 10.0% CO_2 as carbon source at 29.0°C and 1.0 atm. Additionally, the consumption energy for biomass formation (E_x) in daily cycle illumination, was 70.0% larger than continuous illumination treatment.

Keywords: Mikroalga, *chlorella vulgaris* buitenzorg, biomass production and CO_2 fixation

1. Pendahuluan

Emisi CO_2 berikut gas buang hasil dan sisa pembakaran lainnya seperti NO_x , SO_x , CH_4 , PAH (*Poly Aromatic Hydrocarbon*) dari kegiatan industri, transportasi maupun rumah tangga menjadi salah satu permasalahan lingkungan global berkaitan

dengan ketidakpastian prediksi iklim tahunan akibat pengaruh pemanasan global (*green house effect*) yang ditimbulkannya. Penelitian-penelitian mulai dekade 90-an sebagai antisipasi peningkatan gas buang secara global diarahkan untuk mencari solusi yang salah satu diantaranya dilakukan menggunakan aktivitas biologis

sianobakter maupun mikroalga karena kehandalannya dalam memfiksasi CO₂ melalui reaksi fotosintesis dengan bantuan energi cahaya. Sebagai tambahan, dari analisa kandungan zat esensiilnya, sianobakter maupun mikroalga memiliki potensi sebagai suplemen kesehatan, bahan dasar kosmetik dan farmasi, pakan ternak, produk kimia antara dan bahan bakar ramah lingkungan. [1],[2],[3] dan [4]

Chlorella vulgaris Buitenzorg memiliki kemampuan memfiksasi CO₂ dengan tingkat kehandalan moderat namun memiliki kemampuan berkembang biak cepat, daya tahan tinggi di perairan tropis hingga perairan laut dingin serta nilai ekonomis yang tinggi karena mengandung 59,8% protein dengan kandungan 19 macam asam amino; 11,6% lemak; 2,8% klorofil; 3,6% air; 15 macam vitamin dan 8 macam mineral. [5]

Oleh sebab itu, pada penelitian ini digunakan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg untuk tujuan fiksasi CO₂ dan produksi bahan dasar asupan pangan sistem terbuka yang dilakukan dengan simulasi perlakuan pencahayaan alami. Perlakuan pencahayaan alami ini dilakukan dengan penyesuaian intensitas cahaya per satuan waktu sesuai dengan siklus harian matahari.

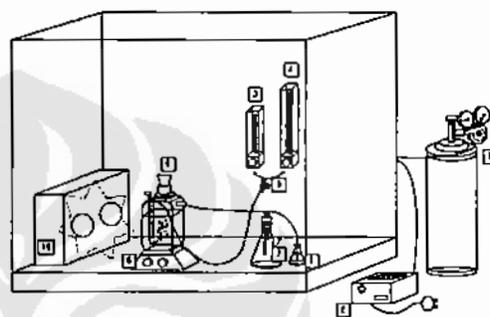
Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh pencahayaan alami terhadap kemampuan produksi biomassa dan fiksasi CO₂ dari *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dibandingkan dengan hasil pada perlakuan pencahayaan secara tetap dan sinambung.

2. Metode Penelitian

Produksi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dari sub-balai Perikanan Air Tawar Kota Depok dilakukan pada kondisi operasi suhu 29.0°C, tekanan 1.0 atm., kecepatan superficial udara (U_G) 3,6 m/jam dengan konsentrasi gas CO₂ sebesar 10.0%, menggunakan kolom gelembung tembus cahaya 1.0 L berisi medium *Benneck* 600 mL dengan pencahayaan menggunakan lampu *Philip Halogen* 20W/12V/50Hz. Intensitas cahaya yang diberikan diubah-

ubah per jam sesuai dengan grafik intensitas cahaya siklus harian. Adapun susunan peralatan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.

Tahapan penelitian dimulai dengan membiakan kultur murni *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dalam medium *Benneck* untuk tujuan memperoleh kondisi mikroalga yang seragam dan membiasakan mikroalga pada kondisi operasi yang akan digunakan pada proses penelitian. Pemiakan kultur murni ini dilakukan sampai selama 3 hari dengan pencahayaan sinambung sekitar 2,95 W/m² dan laju alir udara asupan 1 v/vm.



Gambar 1.

Rangkaian Alat Penelitian, 1. Tabung CO₂; 2. Kompresor Udara portabel; 3. Flowmeter CO₂; 4. Flowmeter Udara; 5. Kolom Gelembung Tembus Cahaya; 6. *Stirrer Plates*; 7. Indikator CO₂ Keluaran; 8. Erlenmeyer Keluaran CO₂; 9. Indikator CO₂ Masuk; 10. Sumber Cahaya

Produksi biomassa dilakukan dalam medium *Benneck* dengan komposisi sebagai berikut:

Tabel 1.
Komposisi Medium *Benneck*

No	Senyawa	Konsentrasi
1	KH ₂ PO ₄	100 mg/dm ³
2	MgSO ₄ .7H ₂ O	200 mg/dm ³
3	NaNO ₃	500 mg/dm ³
4	FeCl ₃	3 – 5 mg/dm ³

Selanjutnya dilakukan pengukuran intensitas cahaya matahari harian dilakukan setiap setengah jam sekali secara terus-menerus selama dua hari pada hari yang cerah yang hasilnya digunakan sebagai dasar untuk pencahayaan pada eksperimen ini. Pengukuran Disini nilai rerata intensitas cahaya siklus harian ini sebesar

39,8 W/m² menjadi dasar untuk menentukan berat kering inokulum awal (X₀). Dari grafik I_{μopt} versus X [4], didapatkan nilai kerapatan biomassa X sebesar 4,17 g/dm³ merupakan berat kering inokulum awal optimal untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada pencahayaan dengan rataan intensitas sebesar 39,8 W/m².

Sebagai perbandingan, dilakukan produksi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dengan kerapatan biomassa awal yang sama (4,17 g/dm³) dengan pencahayaan sinambung pada intensitas cahaya sama dengan rataan intensitas cahaya siklus harian yaitu sebesar 39,8 W/m².

Data yang diukur dalam eksperimen ini adalah absorbansi cahaya tampak pada panjang gelombang 680 nm (OD₆₈₀) pada penggunaan spektrofotometer, prosentase kandungan karbon dioksida pada hembusan udara yang digunakan berikut aliran udara yang keluar dari dalam fotobioreaktor kolom gelembung ini (Y_{CO₂i}; Y_{CO₂e}) menggunakan Gas Chromatografi GC-TCD, pH dan intensitas cahaya masuk dan ditransmisikan yang diukur menggunakan Lux-meter (I_i; I_T). Densitas sel (X) diperoleh dengan menggunakan kurva kalibrasi OD₆₈₀ vs X.

Data yang didapatkan dari hasil penelitian selanjutnya diolah untuk mendapatkan beberapa parameter sebagai berikut :

Laju pertumbuhan spesifik (μ)

$$\mu = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} \quad (1)$$

Konsentrasi bikarbonat dalam medium kultur [HCO₃]

$$[HCQ] = \left(\frac{K_{CO_2,0}}{H_{CO_2,0}} \right) \left(\frac{y_{CO_2} P_T}{10^{pH}} \right) \quad (2)$$

$$\left(\frac{\exp[A_k(1-T_0/T) + B_k \ln(T/T_0) + C_k(T/T_0 - 1)]}{\exp[A_H(1-T_0/T) + B_H \ln(T/T_0) + C_H(T/T_0 - 1)]} \right)$$

Di sini, A_k, B_k dan C_k adalah parameter perubahan suhu tetapan kesetimbangan CO₂; A_H, B_H dan C_H adalah parameter perubahan suhu tetapan Henri CO₂; P

adalah tekanan; T adalah suhu; HCO_{2,0} dan K_{CO_{2,0}} adalah tetapan Henri dan kesetimbangan CO₂ pada kondisi standar.

CTR (*carbon dioxide transferred rate*, laju transfer karbon dioksida dari gelembung hembusan udara ke medium kultur) dan q_{CO₂} (*microbial carbon dioxide fixation ability*, kemampuan mikroba memfiksasi karbon dioksida)

$$CTR = \Delta y_{CO_2} \cdot \alpha_{CO_2} \quad (3)$$

$$q_{CO_2} = \frac{CTR}{X} \quad (4)$$

Di sini, Δy_{CO₂} adalah selisih kandungan karbon dioksida pada aliran udara dan masuk fotobioreaktor; □_{CO₂} adalah sebuah tetapan yang mengandung bilangan tetap dari suhu dan tekanan, kecepatan superfisial hembusan udara.

Energi pembentukan biomassa (E_x)

$$E_x = \frac{\int I_T \cdot dt}{\Delta X \cdot s} \quad (5)$$

Disini, s adalah panjang lintasan cahaya melewati medium kultur; □X adalah selisih densitas sel pada akhir dan awal eksperimen.

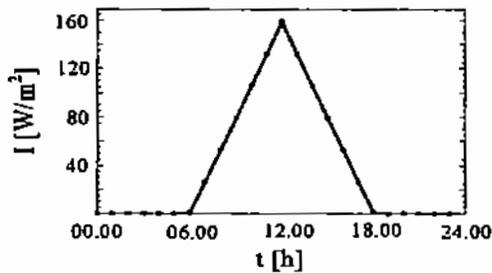
3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

3.1. Intensitas Cahaya Matahari Siklus Harian

Cahaya matahari terdiri dari sinar tampak dan sinar ultraviolet dengan panjang gelombang bervariasi dari 200-800 nm, namun sinar yang dimanfaatkan secara optimal oleh mikroalga untuk proses fotosintesis yaitu sinar dengan panjang gelombang sekitar 450 dan 680 nm.

Nilai intensitas cahaya matahari harian terhadap waktu diperlihatkan pada Gambar 2. Hasil yang tersaji dalam gambar ini menunjukkan intensitas cahaya matahari akan mulai naik semenjak pukul 06.00 dan mencapai nilai intensitas maksimum pada pukul 12.00 dengan intensitas cahaya sebesar 158,6 W/m². Setelah mencapai nilai maksimum, intensitas cahaya mulai turun dan mencapai nilai minimum 0.00 pada

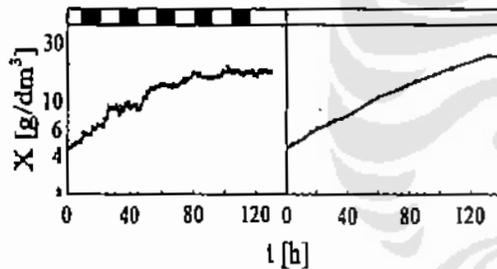
pukul 18.30 yaitu pada saat matahari tenggelam penuh.



Gambar 2.
Intensitas Cahaya Siklus Harian

3.2. Produksi Biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Gambar 3 memperlihatkan perbedaan produksi biomassa pada pencahayaan siklus harian dan pencahayaan sinambung.



Gambar 3.
Produksi Biomassa; Pencahayaan siklus harian (kiri); Pencahayaan Sinambung (kanan)
 = Kondisi Terang
 = Kondisi Gelap

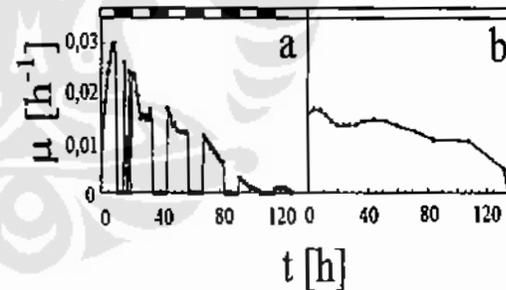
Pada Gambar ini terlihat produksi biomassa pada pencahayaan siklus harian akan meningkat pada kondisi terang dan konstan (tidak meningkat) pada kondisi gelap sedangkan produksi biomassa pada pencahayaan sinambung meningkat secara stabil hingga mencapai fasa stasioner. Pertumbuhan pada pencahayaan siklus harian cenderung lebih cepat dibandingkan dengan pencahayaan alami namun pertumbuhannya hanya terjadi pada kondisi terang. Pertumbuhan yang sesaat lebih cepat ini disebabkan karena intensitas cahaya yang diterima kultur medium saat itu sangat besar, dengan nilai maksimum

mencapai 139,5 W/m². Fasa stasioner pada pencahayaan siklus harian tercapai setelah sekitar 126 jam operasi, sedikit lebih cepat dibandingkan dengan pencahayaan sinambung yaitu pada 132 jam operasi.

Hasil perhitungan berat kering biomassa akhir (X_t) pada pencahayaan siklus harian mencapai 17,9 g/dm³ dan pencahayaan sinambung 22,7 g/dm³. Perhitungan tersebut menunjukkan produksi biomassa akhir yang dihasilkan pada pencahayaan siklus harian lebih rendah dibandingkan dengan pencahayaan sinambung. Pencahayaan sinambung menghasilkan produk biomassa 30% lebih tinggi dari perolehan pada pencahayaan siklus harian.

Laju pertumbuhan spesifik (μ) yang menunjukkan besarnya laju pertumbuhan produksi biomassa pada fasa logaritmik, nilai ini berbanding terbalik dengan waktu yang diperlukan sel untuk melakukan satu siklus duplikasi sel.

Hasil perhitungan laju pertumbuhan spesifik untuk kedua perlakuan pencahayaan tersaji dalam Gambar 4.



Gambar 4.
Laju Pertumbuhan; Pencahayaan Siklus Harian (kiri); Pencahayaan Sinambung (kanan)

Secara garis besar pada kedua perlakuan menunjukkan di awal pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg seperti pada umumnya pertumbuhan mikroorganisme lainnya, laju pertumbuhan tinggi yang kemudian perlahan menurun yang disebabkan karena pertumbuhan akan memasuki fasa stasioner. Laju pertumbuhan pada pencahayaan siklus harian menunjukkan nilai yang lebih tinggi pada awal pertumbuhan dibandingkan dengan pencahayaan sinambung, kemudian

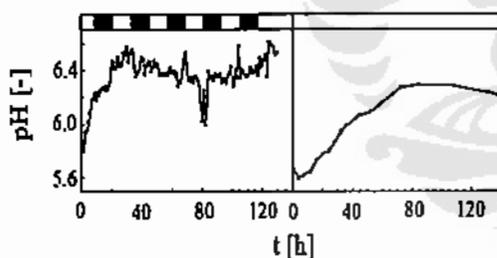
menurun drastis ketika kondisi gelap. Pencahayaan sinambung menunjukkan laju pertumbuhan yang lebih konstan, sehingga hasil produksi biomassa pada perlakuan ini lebih besar dibandingkan dengan pencahayaan siklus harian.

3.3. pH media kultur

Data pH medium kultur saat berlangsungnya pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dari kedua perlakuan tersebut ditunjukkan dalam Gambar 5.

Semakin tinggi kerapatan sel pada medium kultur menyebabkan kondisi medium kultur meningkat tingkat kebasaannya (pH semakin tinggi) dan hal itu menyebabkan terjadinya peningkatan spesi HCO_3^- dalam medium kultur [2].

Senyawa bikarbonat (HCO_3^-) terbentuk karena adanya reaksi antara dengan CO_2 yang dihirupkan ke dalam medium kultur. Konsentrasi HCO_3^- secara sederhana dihitung berdasarkan pada besarnya pH medium kultur yang terjadi sebagai akibat adanya aktivitas pertumbuhan sel [1].



Gambar 5.

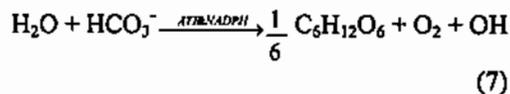
Data pH; Pencahaya-an Siklus Harian (kiri);
Pencahaya-an Sinambung (kanan)

Pada saat gas CO_2 masuk dalam kultur, proses yang terjadi adalah pembentukan senyawa bikarbonat (pada *ekstraselular*) berikut:



Senyawa bikarbonat inilah yang kemudian diserap oleh sel melalui dinding sel yang cenderung *permeable* terhadap senyawaan ionik. Proses metabolisme yang terjadi dalam sel selanjutnya adalah reaksi antara bikarbonat tersebut dan air yang

terdapat dalam sel membentuk senyawa organik seperti glukosa dan ion OH^- menggunakan energi ATP dan NADPH dari konversi cahaya pada reaksi terang [4], sebagaimana tergambar pada persamaan reaksi berikut:



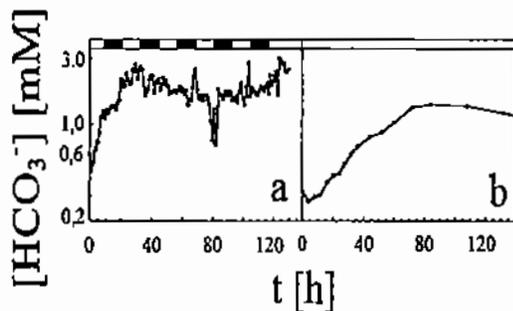
Dengan menggunakan persamaan *Henderson-Hasellbach*, dapat dicari besar konsentrasi HCO_3^- dalam medium kultur kolom gelembung tembus cahaya ini.

Karena besarnya konsentrasi spesi ion HCO_3^- berbanding lurus dengan besarnya nilai pH, maka nilai $[\text{HCO}_3^-]$ akan semakin besar dengan naiknya nilai pH dalam kultur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

Kondisi gelap dalam pencahayaan siklus harian menunjukkan nilai $[\text{HCO}_3^-]$ dari kultur medium cenderung konstan bahkan menurun. Hal ini disebabkan karena pada kondisi ini, mikroorganisme tidak melakukan proses sintesa biomassa karena ketiadaan sumber cahayanya. Pada kondisi ini untuk tujuan mempertahankan hidupnya aktivitas mikroorganisme didominasi oleh kegiatan respirasi sel yang menghasilkan CO_2 (spesi HCO_3^-) sebagai produk sampingnya dan hal ini menyebabkan utilisasi bikarbonat dalam medium kultur tidak terjadi. Akumulasi HCO_3^- yang tidak dimanfaatkan dan produk respirasi ini menyebabkan kejenuhan medium sehingga pembentukan spesi bikarbonat bergeser ke arah kebalikannya membentuk spesi CO_2 dalam fase gas di medium kultur dan terlepas ke udara secara mudah sebagai konsekuensi keseimbangan spesi $\text{HCO}_3^- - \text{CO}_2$ dalam medium kultur reaktor kolom gelembung tembus cahaya ini [3]. Sehingga, nilai pH dan $[\text{HCO}_3^-]$ dalam kolom gelembung ini menunjukkan penurunan secara perlahan perlahan dan proses ini mengurangi proses transfer gas CO_2 ke dalam kultur medium seperti yang ditunjukkan pada besarnya CTR yang akan dijelaskan pada paparan selanjutnya.

Pada fasa stasioner kedua siklus pencahayaan terlihat $[\text{HCO}_3^-]$ mencapai

nilai maksimum. Hal ini disebabkan terjadinya akumulasi spesi HCO_3^- dalam reaktor sebagai akibat dari menurunnya laju fiksasi CO_2 oleh mikroalga. Nilai maksimum $[\text{HCO}_3^-]$ pada pencahayaan siklus harian adalah 2,94 mM dan pada pencahayaan sinambung adalah 1,41 mM.



Gambar 6.

Hasil Perhitungan $[\text{HCO}_3^-]$; Pencahayaan Siklus Harian (kiri); Pencahayaan Sinambung (kanan)

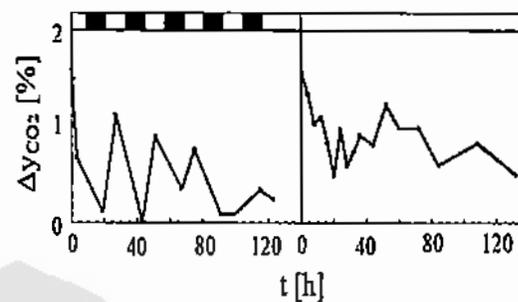
Data tersebut sepiantas menunjukkan bahwa aktivitas sel *Chlorella vulgaris* Buitenzorg pada pencahayaan siklus harian jauh lebih tinggi dibandingkan pada pencahayaan sinambung, namun jika dianalisa berdasarkan perubahan nilai pH pada awal masa kultivasi yang menunjukkan trend yang berbeda untuk kedua pencahayaan, dapat disimpulkan aktivitas sel untuk kedua perilaku pencahayaan tidak terlalu berbeda.

3.4. Fiksasi CO_2 oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Fiksasi CO_2 yang ditunjukkan oleh adanya perbedaan konsentrasi pada *inlet* dan *outlet* gas CO_2 dan hal ini mengindikasikan terjadinya proses transfer gas CO_2 ke dalam kultur medium pada saat berlangsungnya pertumbuhan mikroorganisme. Selain itu, nilai selisih konsentrasi CO_2 (Δy_{CO_2}) juga menandakan terjadinya konsumsi gas CO_2 sebagai substrat/*carbon source* oleh *Chlorella vulgaris* Buitenzorg dalam bentuk HCO_3^- . Besarnya Δy_{CO_2} pada kedua perilaku pencahayaan tersaji dalam Gambar 7.

CTR (*Carbon Transfer Rate*) menunjukkan banyaknya gas CO_2 yang ditransferkan dalam suatu volum medium

yang dibutuhkan oleh metabolisme sel selama satu satuan waktu tertentu, sedangkan laju transfer CO_2 spesifik (q_{CO_2}) adalah laju gas CO_2 yang ditransfer dalam suatu volume medium karena adanya aktivitas kehidupan biologi dalam satu satuan waktu tertentu. Data perubahan konsentrasi dapat digunakan untuk perhitungan CTR dan q_{CO_2} .



Gambar 7.

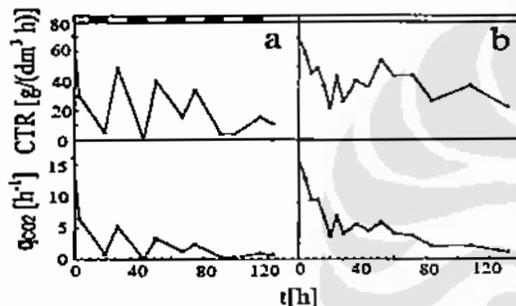
Δy_{CO_2} ; Pencahayaan Siklus Harian (kiri); Pencahayaan Sinambung (kanan)

Kurva kecenderungan q_{CO_2} dan CTR terhadap waktu diperlihatkan pada Gambar 8 berikut ini.

CTR pada kedua pencahayaan ini memiliki nilai yang tinggi pada awal masa pertumbuhan karena konsentrasi CO_2 di dalam medium kultur masih di bawah ambang kejenuhan, sehingga gas CO_2 lebih mudah larut dalam medium kultur. Selain itu, kenaikan jumlah sel yang sangat besar mempertinggi penyerapan gas yang terlarut dalam bentuk HCO_3^- oleh mikroalga. CTR kemudian akan cenderung menurun seiring dengan waktu karena terjadinya ketidaksetimbangan antara peningkatan jumlah sel dengan besarnya fiksasi CO_2 . Pada kondisi ini, transfer CO_2 dari aliran CO_2 masukan ke kolom gelembung ini menurun karena proses respirasi mikroalga meningkat seiring dengan terjadinya peningkatan densitas sel dalam medium kultur.

Nilai CTR rata-rata untuk pencahayaan siklus harian adalah sebesar 19,9 $\text{g/dm}^3\text{h}$ dan pencahayaan

sinambung sebesar 37,5 g/dm³h. Nilai CTR untuk kedua perilaku pencahayaan berbeda jauh karena pada kondisi gelap dalam pencahayaan siklus harian, mikroorganisme seperti halnya *Chlorella vulgaris* Buitenzorg tidak mengalami siklus pertumbuhan secara utuh sementara itu proses respirasi intra sel dominan terjadi, sehingga pengambilan sumber karbon dari aliran CO₂ masuk reaktor sangat berkurang. Peristiwa ini menyebabkan proses transfer gas CO₂ ke dalam kultur medium pada pencahayaan siklus harian lebih sedikit dibandingkan dengan pencahayaan sinambung [6],[7].



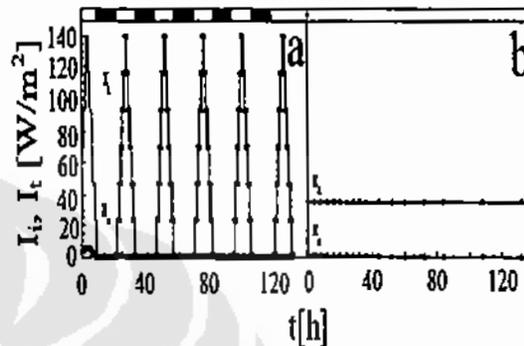
Gambar 8.
CTR dan q_{CO2}; Pencahayaan Siklus Harian (kiri); Pencahayaan Sinambung (kanan)

Disebabkan nilai q_{CO2} berbanding terbalik dengan nilai X selama masa kultivasi, semakin tinggi pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg menunjukkan nilai q_{CO2} yang semakin kecil. Hal ini dikarenakan produksi biomassa yang meningkat mengakibatkan karbondioksida yang tersedia untuk setiap sel semakin sedikit. Karena itu fiksasi CO₂ semakin kecil. Nilai q_{CO2} rerata untuk pencahayaan siklus harian adalah sebesar 2,11 h⁻¹ dan pencahayaan sinambung sebesar 4,19 h⁻¹. Perbedaan nilai q_{CO2} untuk kedua pencahayaan ini disebabkan karena mikroorganisme ini tidak mengambil sumber karbon dari

aliran CO₂ masuk reaktor pada kondisi gelap pencahayaan siklus harian [6],[7].

3.5. Energi pembentukan biomassa

Besarnya energi yang dikonsumsi untuk pembentukan biomassa dihitung berdasarkan pengolahan nilai intensitas cahaya masuk I_i dan intensitas cahaya yang ditransmisikan I_T pada pencahayaan siklus harian maupun sinambung (Gambar 9).



Gambar 9.
Data I_i dan I_T; Pencahayaan Siklus Harian (kiri); Pencahayaan Sinambung (kanan)

Dari gambar tersebut terlihat terjadinya penurunan I_T seiring dengan bergulirnya waktu. Hal ini disebabkan terjadinya juga peristiwa *self-shading* akibat terjadinya peningkatan kerapatan sel dalam kultur medium ketika memasuki fasa stasioner pertumbuhan [3]-[5],[8] dan [9]. Hasil perhitungan E_X dari masing-masing perlakuan pencahayaan dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari tabel 2 nampak terlihat secara signifikan besarnya energi cahaya yang diserap untuk pembentukan biomassa (E_X) pada pencahayaan siklus harian 70% lebih tinggi dibandingkan dengan pencahayaan sinambung.

Tabel 2.
Data E_X Masing Masing Perlakuan

Pencahayaan	E _X (kJ/g)
Sinambung	0,0141
Siklus harian	0,0239

Walaupun jumlah total fluks energi cahaya yang masuk relatif sama, akibat adanya siklus gelap selama masa pertumbuhan berlangsung mengakibatkan produksi biomassa yang dihasilkan pada pencahayaan siklus harian lebih rendah secara signifikan. Kondisi ini didukung oleh kenyataan besarnya \square , selama selang waktu pertumbuhan yang menunjukkan nilai yang lebih rendah disebabkan proses pertumbuhan yang terjadi lebih cepat memasuki fase stasionernya dibandingkan pada pencahayaan sinambung.

4. Kesimpulan

1. Intensitas cahaya rerata siklus harian $39,8 \text{ W/m}^2$ yang diperoleh dengan pengukuran intensitas cahaya matahari mulai terbit hingga terbenamnya matahari yang menunjukkan intensitas cahaya mendekati 0 W/m^2 dengan nilai intensitas cahaya maksimum pada tengah hari sebesar $158,6 \text{ W/m}^2$.
2. Perlakuan pencahayaan siklus harian dalam produksi biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg secara signifikan menunjukkan hasil akhir produksi biomassa dan laju fiksasi CO_2 yang lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan pencahayaan sinambung.
3. Energi yang digunakan untuk produksi biomassa (E_x) pada perlakuan pencahayaan siklus harian 70% lebih besar dibandingkan dengan perlakuan pencahayaan sinambung.

Daftar Acuan

[1]. Ohtaguchi K and A. Wijanarko, *Elevation of the efficiency of cyanobacterial carbon dioxide removal by mono ethanol amine solution*, Technology, 8 (2002) pp. 267 – 286

[2]. Wijanarko A., K. Asami and K. Ohtaguchi, "The Kinetics of Growth and the CO_2 Concentrating Mechanism of the Filamentous Cyanobacterium *Anabaena cylindrica* in a Bubble Column", Journal of Chemical Engineering of Japan, 37 (2004) pp. 1019-1025

[3]. Wijanarko A., Dianursanti, Heidi, R. W. Soemantojo and K. Ohtaguchi, "Effect of Light illumination alteration on *Chlorella vulgaris* Buitenzorg's CO_2 fixation in bubble column photobioreactor", International Journal for Algae, 8 (2006) 1, pp. 53-60

[4]. Wijanarko A., Dianursanti, M. Gozan, S. M. K. Andika, P. Widiastuti, H. Hermansyah, A. B. Witarto, K. Asami, R. W. Soemantojo, K. Ohtaguchi, S. K. Song, "Enhancement of carbon dioxide fixation by alteration of illumination during *Chlorella vulgaris* Buitenzorg's growth", Biotechnology and Bioprocess Engineering, 11 (2006) pp. 484-488

[5]. Wijanarko A. and K. Ohtaguchi, Carbon dioxide Utilization for Global Sustainability: "Carbon dioxide removal and biomass production by *Anabaena cylindrica* IAM M1 using reactor in series", Studies in Surface Science and Catalysis, 153 (2004) pp. 461-468

[6]. Wijanarko A., Dianursanti, A. B. Witarto and R. W. Soemantojo (2004), "Effect of photoperiodicity on CO_2 fixation by *Chlorella vulgaris* Buitenzorg in bubble column photobioreactor for food supplement production", Makara, 8(2), pp. 35-44

[7]. Ogbonna, J. C., H. Yada and H. Tanaka (1995), *Kinetics study on light-limited batch cultivation of photosynthetic cell*, Journal Fermentation and Bioengineering, 80, pp. 259-264

[8]. Falkowsky P. G. and T. G. Owens (1980), *Light-Shade Adaptation*, Plant Physiol., 66, 592-595

[9]. Oquist G., Anderson J. M., S. McCaffery and W. S. Chow (1992), *Mechanistic difference in photoinhibition of sun and shade plants*, Planta, 188, 422-431

