

Pengaruh Laju Injeksi Karbondioksida terhadap Oksigen Terlarut dan Pertumbuhan *Spirulina platensis*

Aziz Al Anshori, Sri Ngabekti[✉], Andhina Putri Heriyanti, Amnan Haris

Program Studi Ilmu Lingkungan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Info Artikel

Diterima:

30 September 2024

Disetujui:

18 November 2024

Dipublikasikan:

19 November 2024

Keywords:

karbondioksida;

photobioreaktor; *spirulina*

platensis

karbondioksida;

fotobioreaktor; *spirulina*

platensis

Abstract

Indonesia has a high and continually increasing total greenhouse gas emission. Carbon dioxide absorption can be mitigated by utilizing the photosynthesis process of microalgae. *Spirulina platensis* was chosen as the sample to be cultivated in this study due to its ease of cultivation and its status as a large-scale carbon dioxide absorber. The objective of this research is to analyze the effect of varying carbon dioxide injection rates on dissolved oxygen and the growth of *S. platensis*. This research employed an experimental method involving semi-mass cultivation using a 12 L volume tube photobioreactor (PBR) as a container with three treatment variations. These variations included culture P0 (without injection/control), culture PA (0.5 L/minute), and culture PB (1 L/minute). The data analysis revealed that the variation with an increase in dissolved oxygen levels and enhanced growth of *S. platensis* was most optimal in culture PB (1 L/min). One-way ANOVA results showed significant differences between culture P0 (without injection) and classified data indicating that culture PB (1 L/min) fell into a high-level classification. The average dissolved oxygen value for culture PB (1 L/min) was 7.9 mg/L, with a cell density average of 0.651 cells/ml and a dry biomass weight of 3.8 grams. The conclusion drawn is that varying carbon dioxide injection rates significantly affect dissolved oxygen levels and the growth of *S. platensis*, as evidenced by cell density and biomass calculations. The effect on the *S. platensis* culture is a notable increase in both parameters. The application of varying carbon dioxide injection rates in the cultivation of *S. platensis* may serve as a reference for identifying the optimal carbon dioxide injection rate during semi-mass cultivation.

Abstrak

Indonesia merupakan negara dengan total emisi gas rumah kaca tinggi dan terus meningkat setiap tahun. Mitigasi penyerapan gas karbondioksida yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan proses fotosintesis mikroalga. *Spirulina platensis* dipilih sebagai sampel yang akan dikultivasi pada penelitian ini karena kemudahan dalam proses kultivasi dan termasuk mikroalga penyerap karbondioksida skala besar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi laju injeksi karbondioksida terhadap oksigen terlarut dan pertumbuhan *S. platensis*. Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan melakukan kultivasi semi massal menggunakan sistem fotobioreaktor (PBR) tabung volume 12 L sebagai wadah dengan 3 variasi perlakuan. Variasi tersebut meliputi kultur P0 (tanpa injeksi/kontrol), kultur PA (0,5 L/menit), dan kultur PB (1 L/menit). Berdasarkan analisis data didapatkan hasil bahwa variasi dengan perubahan berupa peningkatan kadar oksigen terlarut dan perubahan berupa peningkatan pertumbuhan *S. platensis* paling optimal adalah kultur PB (1 L/menit). Pengolahan data menggunakan ANOVA *one-way* menunjukkan hasil beda secara nyata dari kultur P0 (tanpa injeksi) dan ketika dilakukan klasifikasi data kultur PB (1 L/menit) tergolong dalam klasifikasi tingkat tinggi. Nilai rerata oksigen terlarut kultur PB (1 L/menit) adalah 7,9 mg/L dan nilai rerata kepadatan sel mencapai 0,651 sel/ml dan biomassa kering seberat 3,8 gram. Kesimpulan yang didapatkan adalah bahwa variasi laju injeksi karbondioksida memberikan pengaruh terhadap oksigen terlarut dan pertumbuhan *S. platensis* berdasarkan perhitungan kepadatan sel dan biomassa. Pengaruh yang diberikan kepada kultur *S. platensis* adalah berupa peningkatan yang cukup signifikan. Penggunaan variasi laju injeksi karbondioksida pada kultivasi *S. platensis* dapat bermanfaat sebagai acuan dalam penentuan laju injeksi karbondioksida yang optimal selama kultivasi skala semi massal.

© 2024 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lt.1 Jl Raya Sekaran Gunungpati, Semarang

E-mail: sri.ngabekti@mail.unnes.ac.id

p-ISSN 2252-6277

e-ISSN 2528-5009

PENDAHULUAN

Peningkatan signifikan bidang industrialisasi global sejak permulaan abad ke-20 telah menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar fosil secara tinggi yang berdampak pada pelepasan gas rumah kaca (GRK) besar-besaran dan kemudian berakibat masalah pemanasan global, yang menekankan perlunya pengembangan solusi alternatif yang lebih baik untuk lingkungan dan berkelanjutan (Choi *et al.*, 2019). Emisi CO₂ meningkat sebesar 1,1% pada tahun 2023 dan menjadi rekor emisi CO₂ tertinggi, yaitu sebesar 37,4 gigaton (*International Energy Agency*, 2024). Sebagai salah satu negara yang ikut serta dalam kesepakatan Paris, Indonesia perlu mendorong aktivitas yang menghasilkan emisi GRK yang lebih rendah (Hariyadi, 2019).

Salah satu bentuk upaya mitigasi yang dapat dilakukan menurut Kumar *et al.* (2011) adalah melalui pendekatan biologi seperti pemanfaatan mikroalga karena mampu menyerap dan mengubah CO₂ menjadi biomassa melalui proses fotosintesis. Menurut Anggraini *et al.* (2018) sel mikroalga dapat menghasilkan 50% karbon dengan kandungan 1.8 kg karbon yang dapat dikonversi menjadi 0.9 kg biomassa, dengan tingkat efisiensi dalam menangkap CO₂ sekitar 10-50 kali lebih cepat dibandingkan dengan tumbuhan darat. Teknologi penangkap CO₂ berbasis mikroalga menawarkan beberapa keunggulan, seperti tingkat pertumbuhan dan penyerapan yang cepat serta kemampuan untuk beradaptasi pada lingkungan sekitar mikroalga (Raposo *et al.*, 2015).

Pertimbangan dalam memilih jenis mikroalga yang efektif sebagai penyerap CO₂ salah satunya adalah menganalisa kemampuan mikroalga dalam bertahan hidup menghadapi berbagai tekanan lingkungan (Abdurrachman *et al.*, 2013). Berdasarkan penelitian Setiawan *et al.* (2014) spesies mikroalga yang sangat toleran terhadap kandungan gas pencemar adalah spesies *S. platensis* yang disebutkan memiliki toleransi terhadap gas SO_x, NO_x, dan CO₂ dengan konsentrasi lebih dari 12%. Menurut KLHK (1995), hasil dari fiksasi yang mengikat CO₂ bebas akan dilepaskan menjadi oksigen saat proses fotosintesis sehingga kadar oksigen terlarut bergantung pada CO₂ yang berada di sekitar kultur. Terkait pengaruh Injeksi CO₂ terhadap pertumbuhan *S. platensis* menurut Setiawan *et al.* (2009) Injeksi CO₂ dalam konsentrasi yang langsung besar ke dalam media tumbuh dapat menurunkan pH secara seketika dan akan mempengaruhi laju pertumbuhan alga sehingga perlu perlahan dalam melakukan injeksi.

Sinar matahari sebagai bahan energi fotosintesis *S. platensis* yang sampai ke bumi mempunyai jumlah energi yang berbeda setiap hari, sehingga perlu dilakukan pengukuran harian untuk mengetahui durasi penyinaran matahari yang masuk ke suatu tempat (Hamdi & Sumaryati, 2020). Letak Indonesia secara astronomis berada pada 6° Lintang Utara (LU) - 11° Lintang Selatan (LS) dan 95° - 141° Bujur Timur (BT), sehingga setiap tahun pada wilayah Indonesia dapat menerima paparan sinar matahari secara merata selama sekitar 10-12 jam setiap hari (Sitorus *et al.*, 2014). Keuntungan geografis tersebut tentu dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pengembangan sektor mitigasi bencana dengan pendekatan biologi yang berkaitan dengan pemanfaatan sinar matahari.

Penelitian terdahulu umumnya menggunakan teknik kultivasi dalam ruangan atau laboratorium, teknik kultivasi dalam ruangan tentu kurang sesuai dalam menjawab tantangan penyerapan CO₂ pada udara atmosfer. Pengembangan teknik kultivasi yang dapat diterapkan salah satunya adalah

pemberian variasi laju injeksi gas CO₂ seperti pada penelitian ini. Pemberian injeksi CO₂ pada *S. platensis* menghasilkan pertumbuhan yang lebih cepat dibanding dengan hanya penggunaan aerasi, peningkatan tersebut disebabkan adanya proses fiksasi yang membutuhkan CO₂ sehingga dapat menunjang aktivitas rubisco semakin besar yang menuntun pada peningkatan laju fotosintesis (Rohnke *et al.*, 2020). Penggunaan variasi laju injeksi CO₂ menurut penelitian Nugroho (2017) menyebutkan bahwa efek laju injeksi CO₂ pada kultur *S. platensis* dapat menstimulasi pertumbuhan yang dibuktikan dengan adanya peningkatan laju pertumbuhan sel *S. platensis*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi laju injeksi karbondioksida selama kultivasi sistem fotobioreaktor terhadap oksigen terlarut dan peningkatan pertumbuhan sel *S. platensis*.

METODE

Bibit *S. platensis* diperoleh dari PT. Alga Bioteknologi Indonesia. Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Desember 2023–Agustus 2024. Lokasi penelitian berada di lingkup PT. Alga Bioteknologi Indonesia yang beralamatkan di Jetis Terawas, RT 03/RW 03, Cepoko, Gunung Pati, Semarang, Jawa Tengah. Variabel bebas meliputi variasi laju injeksi karbondioksida yakni sebagai berikut: tanpa injeksi (P0), 0,5 L/menit (PA), dan 1 L/menit (PB). Variabel terikat berupa jumlah oksigen terlarut dan pertumbuhan mikroalga yang diukur melalui data kepadatan sel dan biomassa basah serta kering. Sumber data terbagi menjadi dua sumber yakni data primer yang didapatkan secara langsung dari proses kultivasi hingga panen kultur *S. platensis* dan sumber data kedua berupa data sekunder yang didapatkan secara tidak langsung dari pengukuran oleh BMKG. Rancangan penelitian menggunakan rancangan acak lengkap yang dikombinasi sebanyak tiga kali ulangan. Sistem kultivasi penelitian ini menggunakan metode *photobioreactor* (PBR) jenis tabung karena dalam penerapan kultur menggunakan skala semi massal dengan penempatan pada ruangan terbuka.

Perakitan Tabung PBR

Pada penelitian ini kultivasi dilakukan pada tempat yang terjangkau sinar matahari secara langsung pada area sekitar lingkungan PT. Alga Bioteknologi Indonesia. Penyusunan PBR berjumlah sembilan tabung transparan dengan kondisi steril. Tiap tiga PBR digunakan untuk perlakuan yang sama sebagai bentuk pengulangan dengan penjelasan sebagai berikut.

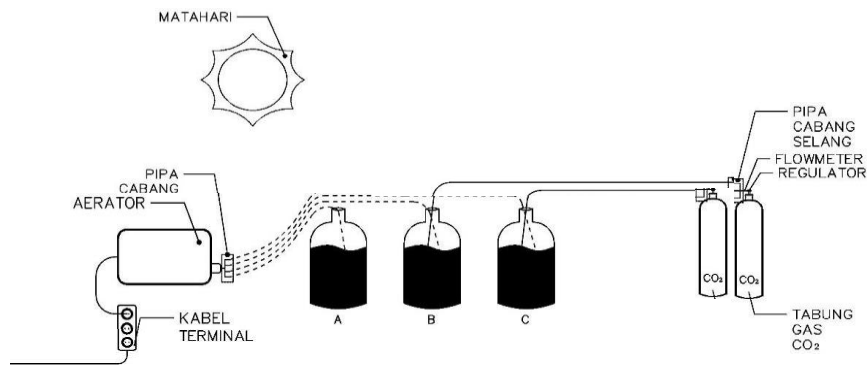
- a. PBR P0 : PBR media kultur yang tidak menerima injeksi karbondioksida
- b. PBR PA : PBR media kultur variasi laju injeksi karbondioksida sebesar 0,5 L/menit
- c. PBR PB : PBR media kultur variasi laju injeksi karbondioksida sebesar 1 L/menit

Langkah–langkah dalam merakit PBR pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membersihkan sembilan tabung wadah PBR dengan air bersih
2. Melubangi tutup tabung sejumlah tiga lubang berdiameter 1 cm
3. Mengukur panjang selang dari lokasi PBR sampai dengan lokasi tabung gas CO₂
4. Memasukkan selang ke dalam pipa cabang selang
5. Menyambungkan pipa cabang selang ke aerator

6. Memasang regulator dan *flowmeter* gas ke mulut tabung gas CO₂
7. Menyambungkan selang gas yang sudah dikaitkan ke tabung dengan pipa cabang gas CO₂
8. memastikan rangkaian aliran listrik bisa menjangkau tempat penelitian dan tidak pada daerah yang lembab
9. Menyesuaikan tekanan laju injeksi dari tabung gas CO₂ melalui *flowmeter* sesuai urutan variasi perlakuan yang akan diujikan ke setiap PBR
10. Selang injeksi CO₂ tidak dipasang pada PBR yang dijadikan sebagai kontrol
11. Menyalakan aerator dan membuka tabung gas CO₂ untuk memulai kultivasi dan perlakuan
12. Melakukan pengamatan terhadap kelancaran operasional PBR setiap hari selama kultivasi.

Desain perakitan fotobioreaktor/PBR dalam penelitian ini dapat dilihat pada ilustrasi berikut (Gambar 1).



Gambar 1. Desain Perakitan Fotobioreaktor

Keterangan:

----- = Selang aerasi

———— = Selang injeksi CO₂

A = PBR tanpa injeksi CO₂ (P0)

B = PBR variasi laju injeksi CO₂ 0,5 L/menit (PA)

C = PBR variasi laju injeksi CO₂ 1 L/menit (PB)

Inokulasi *S. Platensis* dalam PBR

Proses awal inokulasi *S. platensis* dimulai dengan memindahkan bibit *S. platensis* sebanyak 10 L ke setiap PBR. Pemandahan bibit ini mengawali proses kultivasi yang dimulai pada hari Senin, 24 Juni 2024 pukul 10.00 WIB, hal tersebut juga mengawali fase adaptasi mikroalga yang dijalankan selama tiga hari hingga hari Rabu, 26 Juni 2024. Fase selanjutnya adalah fase eksponensial yang ditandai dengan adanya kenaikan kepadatan sel mikroalga yang terjadi pada hari ke-4 atau hari Kamis, 27 Juni 2024. Pada fase ekponensial di hari ke-4 kultivasi juga mulai pemberian variasi laju injeksi karbondioksida pada dua PBR yakni PA dan PB.

Langkah–langkah dalam memulai inokulasi *S. platensis* ke dalam PBR diawali dengan memastikan operasional PBR untuk kultivasi, melakukan inokulasi bibit *S. platensis* ke dalam ember untuk dipindahkan ke PBR, mengoperasikan PBR, melakukan pengecekan faktor pengaruh lingkungan sebelum dilakukan pemindahan untuk menghindari stres pada *S. platensis* yang dapat berakibat kematian sel, memberikan nutrisi untuk membantu proses pertumbuhan pada fase adaptasi.

Pengecekan Pengaruh Faktor Lingkungan

Prosedur *monitoring* parameter lingkungan *S. platensis* selama kultivasi adalah sebagai berikut.

1. Prosedur pengecekan suhu

Pengecekan diawali dengan menyalakan termometer, mencelupkan ujung termometer ke dalam media kultur, menunggu selama 3 menit dalam keadaan masih tercelup hingga mendapatkan nilai konstan, mencatat nilai suhu pada tabel data pengamatan.

2. Prosedur pengecekan pH

Pengecekan diawali dengan menyalakan *pH meter*, mencelupkan *detector* ke dalam media kultur, menunggu selama 3 menit dalam keadaan masih tercelup hingga mendapatkan nilai konstan, mencatat nilai pH pada tabel data pengamatan.

3. Prosedur pengecekan intensitas cahaya

Pengecekan diawali dengan menyalakan *luxmeter* sebagai pengukur intensitas cahaya pada luar ruangan, pengukuran dilakukan dengan mengarahkan *detector* putih ke arah atas untuk menerima panjang gelombang sinar matahari, menunggu selama 2 menit dalam posisi yang masih sama hingga mendapatkan nilai konstan, mencatat nilai intensitas cahaya pada tabel data pengamatan.

4. Prosedur pengecekan salinitas.

Pengecekan diawali dengan membuka dan membersihkan kaca preparat pada ujung *refraktometer*, mengambil satu tetes sampel kultur dari kuvet, meneteskan sampel ke permukaan kaca *refraktometer* dan ditutup perlahan, mengarahkan ujung kaca *refraktometer* ke arah sumber cahaya, melihat dari lensa nilai salinitas, mencatat nilai salinitas pada tabel data pengamatan.

5. Prosedur pengecekan lama penyinaran matahari

Pengecekan diawali dengan mengakses *website* BMKG, memilih wilayah stasiun iklim yang mencakup tempat penelitian, memilih data parameter lama penyinaran matahari, memilih waktu sesuai dengan pelaksanaan kultivasi, mengunduh data dalam bentuk pdf, mencatat data pada tabel data pengamatan.

Nutrisi dan Pupuk Cair

Pembuatan dan pemberian nutrisi pendukung pertumbuhan *S. platensis* diawali dengan menyiapkan soda kue dan garam untuk menyesuaikan nilai pH dan salinitas masing-masing sebanyak 15 gram, Melarutkan kedua bahan tersebut dengan air 100 ml dengan diaduk, pemberian kedua larutan tersebut dilakukan setiap 3 hari sekali (diberikan di luar jadwal tersebut apabila terjadi penurunan drastis pada nilai pH atau salinitas mikroalga), menyiapkan nutrisi cair berupa pupuk Walne, menakar

pupuk cair sebanyak 15 ml menggunakan alat suntik, pemberian larutan nutrisi ini dilakukan setiap 2 kali selama kultivasi.

Perhitungan Kepadatan Sel *S. platensis*

Langkah-langkah dalam menghitung kepadatan sel pada *S. platensis* diawali dengan mengatur spektrofotometer pada panjang gelombang 720 nm, menempatkan kuvet berisi air jernih sebagai kalibrator, menempatkan tiga kuvet yang diberi perlakuan berbeda pada setiap ulangan, kalibrasi kuvet pertama (air jernih), menarik tuas dengan memposisikan tiap kuvet sejajar arah cahaya, menunggu angka pada monitor hingga mendapatkan nilai konstan dari tiap pengamatan, mencatat data pada tabel pengamatan.

Perhitungan Biomassa *S. platensis*

Langkah-langkah dalam mengetahui berat bersih pada mikroalga dengan menggunakan metode oven diawali dengan menyaring *S. platensis* saat panen, menimbang berat *S. platensis* yang telah disaring sebagai berat basah, menyiapkan *aluminium foil* sebagai tempat *S. platensis* basah, memasukan *aluminium foil* pada oven dengan suhu 70⁰ C, setelah 8 jam *S. platensis* dikeluarkan dari oven, menimbang *S. platensis* yang sudah menjadi bubuk sebagai berat kering, analisis menggunakan rumus biomassa bersih.

Uji Oksigen Terlarut Kultur *S. platensis*

Pengujian oksigen terlarut pada penelitian ini diawali dengan menyiapkan alat *DO meter*, meneteskan cairan kalibrasi yang sudah tersedia sebanyak 3 tetes, melakukan kalibrasi dengan menekan tombol mode/cal sampai persentase oksigen di udara 100%, mencelupkan *pen detector* pada *DO meter* ke dalam media kultur, menunggu selama 3 menit dalam keadaan masih tercelup hingga mendapatkan nilai konstan, mencatat nilai DO pada tabel data pengamatan.

ANALISIS DATA

Data yang diperoleh dari penelitian ini dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (Anova) satu arah dan dilanjutkan dengan uji lanjutan Tukey HSD (*Honest Significant Difference*) dengan taraf signifikansi 5%. Analisis data menggunakan bantuan perangkat lunak SPSS 25.0 for Windows.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran oksigen terlarut kultur melalui uji statistik dan klasifikasi nilai rata-rata dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil uji statistik dan rerata oksigen terlarut pada kultur *S. Platensis*

Variasi perlakuan	PBR	Rerata pada fase adaptasi (mg/L)	Rerata pada fase eksponensial (mg/L)	ANOVA	Peningkatan
Perlakuan 1 (tidak injeksi)	P0	5,7	6,1	0,02	Rendah
Perlakuan 2 (0,5 L/menit)	PA	5,7	7,1	0,64	Sedang
Perlakuan 3 (1 L/menit)	PB	5,8	7,9	0,64	Tinggi

Keterangan: 1) Data warna kuning menandakan terdapat perbedaan secara nyata pada uji lanjutan Tukey HSD, 2) Peningkatan digolongkan melalui perhitungan interval dari data terendah ke data tertinggi (Tabel 2)

Tabel 2. Klasifikasi interval peningkatan

Interval Kelas	Rataan data terpilih	Klasifikasi Tingkat
6 – 6,6	6,1 (P0)	Rendah
6,6 – 7,3	7,1 (PA)	Sedang
7,3 – 8	7,9 (PB)	Tinggi

Berdasarkan data di atas terdapat peningkatan yang cukup signifikan pada kultur PA dan PB apabila dibandingkan dengan kultur P0 yang merupakan kultur kontrol dengan peningkatan terendah ketika memasuki fase eksponensial yang juga setelah diberikan variasi laju injeksi karbondioksida (Tabel 1 dan Tabel 2). Hasil tersebut menandakan bahwa karbondioksida yang diinjeksikan berhasil diserap dengan optimal selama proses fotosintesis.

Ketersediaan oksigen di dalam media kultur merupakan faktor penting untuk *S. platensis*, karena secara langsung dipakai sebagai bahan untuk membentuk molekul-molekul organik ketika proses fotosintesis (Astiani *et al.*, 2016). Menurut Tambunan *et al.* (2022) oksigen terlarut minimum dalam mendukung peningkatan kepadatan sel *S. platensis* adalah berkisar 4 - 6 mg/L. Rata-rata nilai oksigen terlarut yang didapatkan pada penelitian ini jika mengacu pada batas nilai terendah penelitian tersebut masih di atas batas minimum, dibuktikan pada kultur P0 yang merupakan kultur dengan rata-rata oksigen terlarut terendah sebesar 6,1 mg/L.

Perhitungan pertumbuhan *S. platensis* dilakukan dengan menerapkan metode *turbidimetri* yaitu dengan mengukur tingkat kerapatan sel dengan cara melewatkan cahaya pada larutan menggunakan spektrofotometer (Hidayati, 2020). Hasil pengukuran kepadatan sel kultur melalui uji statistik dan klasifikasi nilai rerata peningkatan dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil uji statistik dan rerata kepadatan sel *S. platensis*

Variasi perlakuan	PBR	Rerata pada fase adaptasi (sel/ml)	Rerata pada fase eksponensial (sel/ml)	ANOVA	Peningkatan
Perlakuan 1 (tidak injeksi)	P0	0,475	0,586	0,14	Sedang
Perlakuan 2 (0,5 L/menit)	PA	0,459	0,610	0,69	Sedang
Perlakuan 3 (1 L/menit)	PB	0,481	0,651	0,86	Tinggi

Keterangan: 1) Data warna kuning menandakan terdapat perbedaan secara nyata pada uji lanjutan Tukey HSD, 2) Peningkatan digolongkan melalui perhitungan interval dari data terendah ke data tertinggi (Tabel 4)

Tabel 4. Klasifikasi interval peningkatan

Interval kelas	Rataan data terpilih	Klasifikasi tingkat
5 – 5,6	0,586 (P0)	Sedang
5,6 – 6,3	0,610 (PA)	Sedang

6,3 – 7

0,650 (PB)

Tinggi

Berdasarkan hasil dan keterangan pada tabel di atas didapatkan hasil yang cenderung datar pada kultur P0 jika dibandingkan dengan peningkatan pada kultur PA dan kultur PB (Tabel 3 dan Tabel 4). Menurut Elystia *et al.* (2020), perlakuan kontrol atau hanya aerasi saja akan menghasilkan jumlah kepadatan sel yang rendah dan jika dilihat dari keseluruhan nilai rata-rata kepadatan sel akan cenderung datar, hal ini juga disebabkan oleh tidak adanya penambahan gas karbondioksida sebagai sumber karbon yang merupakan makronutrien pada pertumbuhan *S. platensis*.

Kenaikan nilai rata-rata kepadatan sel tertinggi adalah pada kultur PB dan kedua kultur PA yang kedua kultur tersebut menerima perlakuan laju injeksi karbondioksida, sedangkan kenaikan nilai rata-rata kepadatan sel terendah adalah pada kultur P0 yang tidak menerima perlakuan laju injeksi karbondioksida. Perbedaan hasil ini menurut Bahagia & Viena (2019), perbandingan pertumbuhan mikroalga hijau antara yang hanya diberikan aerasi dengan penambahan karbondioksida akan memberikan perbedaan hasil.

Kultur dengan rata-rata kepadatan sel tertinggi penelitian ini adalah pada perlakuan laju injeksi karbondioksida sebesar 1 L/menit dan mengalami kenaikan puncak pada hari ke-6 fase eksponensial atau setelah pemberian variasi laju injeksi karbondioksida. Hal ini sesuai dengan hasil yang juga diperoleh pada penelitian Pertiwi & Wardani (2019), kenaikan laju pertumbuhan berdasarkan kepadatan sel tertinggi dengan mencapai 0,720 sel/ml pada hari ke-6 fase eksponensial atau setelah pemberian variasi laju injeksi karbondioksida dengan laju injeksi CO₂ sebesar 0,5 - 1 L/menit.

Pertumbuhan mikroalga dapat diukur dari biomassa yang diperoleh dengan cara menghitung berat basah dan berat kering (Ginasti *et al.*, 2020). Hasil pengukuran berat bersih dan berat kering serta kadar biomassa kultur dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji statistik dan pengukuran biomassa *S. platensis*

Variasi perlakuan	PBR	Rerata berat basah-kering (gram)	Kadar air (gram)	Kadar biomassa (%) (Ginasti <i>et al.</i> , 2020)	Peningkatan
Perlakuan 1 (tidak injeksi)	P0	10,4 - 2,2	8,2	21,15	Rendah
Perlakuan 2 (0,5 L/menit)	PA	12,7 - 2,8	9,9	22,05	Sedang
Perlakuan 3 (1 L/menit)	PB	18,9 - 3,8	15,1	20,11	Tinggi

Keterangan: 1) Kadar air merupakan pengurangan berat basah-kering, 2) Peningkatan digolongkan melalui perhitungan interval dari data terendah ke data tertinggi 3) tanda (-) merupakan pemisah antara rerata berat basah dengan berat kering 4) Peningkatan digolongkan melalui perhitungan interval dari data terendah ke data tertinggi (Tabel 6)

Tabel 6. Klasifikasi interval peningkatan

Interval kelas	Rataan data terpilih (Berat kering)	Klasifikasi tingkat
2 – 2,6	2,2 (P0)	Rendah
2,6 – 3,3	2,8 (PA)	Sedang

Berdasarkan hasil dan keterangan pada tabel di atas menunjukkan rentang peningkatan yang berurutan mulai dari kultur PB, kemudian kultur PA, terakhir kultur P0 (Tabel 5 dan Tabel 6). Hasil biomassa yang searah dengan hasil kepadatan sel ini sesuai dengan hasil yang juga diperoleh Pertiwi & Wardani (2019), kepadatan sel tinggi akan memberikan hasil biomassa yang tinggi serta biomassa yang rendah dihasilkan dari kepadatan sel rendah. Hasil ini juga sejalan dengan hasil penelitian Nugroho (2017), adanya injeksi gas karbondioksida yang diberikan mampu menstimulasi laju pertumbuhan mikroalga *S. platensis*.

Pemberian gas karbondioksida pada laju alir yang optimal akan memberikan berat basah yang tinggi secara signifikan (Sathakit *et al.*, 2020). Pernyataan tersebut sejalan dengan nilai rata-rata berat basah pada penelitian ini yakni pada kultur dengan laju injeksi karbondioksida tertinggi sebesar 1 L/menit. Hal ini juga sesuai dengan pernyataan Zandrato (2019), semakin banyak kelimpahan sel hasil penyerapan makronutrien (dalam penelitian ini berupa CO₂) maka biomassa yang dihasilkan juga akan semakin banyak. Menurut Hadiyanto & Nur (2012) peningkatan laju gas karbondioksida akan menghasilkan peningkatan laju pertumbuhan yang pada hasil akhir juga akan searah dengan kandungan biomassa *S. platensis*.

Pengamatan pengaruh faktor lingkungan pada media kultur dilakukan untuk mengetahui tidak adanya perbedaan signifikan dari faktor lingkungan yang diterima oleh setiap kultur. Secara keseluruhan nilai rata-rata dari faktor lingkungan dirangkum dalam Tabel 7.

Tabel 7. Pengamatan Faktor Lingkungan

Faktor Lingkungan	P0 (tanpa injeksi)	PA (0,5 L/menit)	PB (1 L/menit)
Suhu (°C)	30,3 – 32,2	30,3 – 32,2	30,3 – 32,2
pH	9	9	9
Salinitas (ppt)	3,3 – 4	4	3,3 – 4
Intensitas (lux)	7489 – 9069	7489 – 9069	7489 – 9069
LPM (jam)	5,4 – 10,2	5,4 – 10,2	5,4 – 10,2

Berdasarkan tabel di atas diketahui bahwa dari ketiga PBR kultur *S. platensis* tidak mengalami yang signifikan selama kultivasi berjalan (Tabel 7). Soni *et al.* (2019) menyatakan, *S. platensis* yang dikultivasi pada lingkungan luar dapat lebih optimal karena mendapatkan suhu optimum berkisar pada 25-34 °C. Terkait pH dan salinitas menurut Ismaiel *et al.* (2016) *S. platensis* mengalami pertumbuhan optimal pada pH 9 dan akan mengalami penurunan pertumbuhan secara signifikan ketika pH di bawah 8,5 serta salinitas rendah (nol/netral) dapat menurunkan produktivitas biomassa, pertumbuhan sel, fotosintesis, dan aktivitas metabolisme.

Rerata intensitas cahaya selama kultivasi mencapai 8593 lux dan rerata lama penyinaran matahari sekitar 498 menit atau 8,3 jam perhari (Tabel 7). Adanya perubahan berupa naik-turun intensitas dan lama penyinaran matahari harian tidak sampai memengaruhi pertumbuhan *S. platensis* pada penelitian ini. Hasil nilai rerata faktor lingkungan berupa cahaya matahari yang optimal pada

penelitian ini adalah karena pemilihan skala kultivasi berupa semi massal. Menurut Buwono & Nurhasanah (2018), nilai oksigen terlarut dan pertumbuhan biomassa kultur skala semi massal akan lebih tinggi jika dibandingkan dengan kultur skala laboratorium yang tidak mendapat sinar matahari langsung.

Penelitian ini mengalami kendala pada pengoperasian sistem PBR dengan tabung gas CO₂ sehingga sewaktu kultivasi sedang berjalan muncul beberapa kendala lanjutan pada kultur *S. platensis* berupa penurunan dari prakiraan kenaikan kepadatan sel harian pada fase eksponensial. Kendala yang terjadi selama kultivasi dapat ditangani sehingga penelitian ini dapat berjalan sampai selesai. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan sedikit kontribusi dalam pengembangan ilmu terkait mitigasi dampak pemanasan global dengan mengurangi emisi gas CO₂ menggunakan pendekatan biologi berupa kultivasi *S. platensis*.

SIMPULAN

Variasi laju injeksi karbondioksida memberikan pengaruh berupa peningkatan terhadap oksigen terlarut pada kultur dan pertumbuhan *S. platensis*. Dibuktikan dengan kultur PB yang merupakan PBR variasi laju injeksi karbondioksida tertinggi memperoleh peningkatan oksigen terlarut dan pertumbuhan *S. platensis* paling tinggi dan berbeda signifikan dibandingkan kultur P0 yang merupakan PBR tanpa injeksi karbondioksida dengan rata-rata oksigen terlarut dan peningkatan pertumbuhan *S. platensis* terendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrachman, O., Mutiara, M., & Buchori, L. (2013). Pengikatan Karbondioksida dengan Mikroalga (*Chlorella vulgaris*, *Chlamydomonas* sp., *Spirulina* sp.) dalam Upaya untuk Meningkatkan Kemurnian Biogas. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2(4), 212–216.
- Anggraini, R. C. P. K., Kuntjoro, Y. D., & Sasongko, N. A. (2018). Potensi Pemanfaatan Mikroalga untuk Mitigasi Emisi CO₂ (Studi Kasus di PLTU Cilacap). *Ketahanan Energi*, 4(1), 12-18.
- Astiani, F., Dewiyanti, I., Mellisa. (2016). Pengaruh Media Kultur yang Berbeda terhadap Laju Pertumbuhan dan Biomassa *Spirulina* sp. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*, 1(November), 441–447.
- Bahagia, B., & Viena, V. (2019). Analisis CO₂ Pertumbuhan Mikroalga Hijau dengan Menggunakan Fermentor dalam Tanki Tertutup. *Jurnal Serambi Engineering*, 4(1), 464–470.
- Buwono, N. R., & Nurhasanah, R. Q. (2018). Studi Pertumbuhan Populasi *Spirulina* sp. pada Skala Kultur yang Berbeda. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 10(1), 26–33. <https://doi.org/10.20473/jipk.v10i1.8516>
- Choi, Y. Y., Patel, A. K., Hong, M. E., Chang, W. S., & Sim, S. J. (2019). Microalgae Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS): An Emerging Sustainable Bioprocess for Reduced CO₂ Emission and Biofuel Production. *Bioresource Technology Reports*, 7, 100270. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100270>
- De Jesus Raposo, M. F., De Morais, A. M. B., & De Morais, R. M. S. C. (2015). Marine Polysaccharides from Algae with Potential Biomedical Applications. *Marine Drugs*, 13(5), 2967-3028. <https://doi.org/10.3390/md13052967>.
- Elystia, S., Amelia, M. D., & Muria, S. R. (2020). Pengaruh Variasi laju Alir Gas CO₂ terhadap Penyisihan COD dan Penyerapan CO₂ oleh *Chlorella* sp. Menggunakan *flat-photobioreactor* pada POME. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 24(1), 43–53. <https://doi.org/10.25077/jtpa.24.1.43-53.2020>

- Ginasti, U. D., Dono, D., & Sunarto, T. (2020). The Effect of Neem Seed Oil (*Azadirachta indica*) and Clove Leaf Oil (*Syzygium aromaticum*) Mixture on Cabbage Head Caterpillars (*Crocidolomia pavonana*). *Cropsaver*, 3, 49. <https://doi.org/10.24198/cropsaver.v3i2.29855>
- Hamdi, S., & Sumaryati, S. (2020). Pola Lama Penyinaran Matahari dalam 20 tahun Pengamatan di Sumedang. *Jurnal Sains Dirgantara*, 17(2), 81–94. <https://doi.org/10.30536/J.JSD.2020.V17.A3111>
- Hariyadi, H. (2019). Terobosan Global Energi Terbarukan: Pembelajaran dan Implikasinya bagi Indonesia. *Kajian*, 22(1), 33–44.
- Hidayati, S. (2020). *Potensi Ekstrak Mikroalga Spirulina platensis Sebagai Antidiabetes pada Drosophila melanogaster yang Diinduksi Sukrosa*. [Skripsi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung]. Campus Repository. <https://digilib.uinsgd.ac.id/34691/>
- International Energy Agency. (2024). *CO2 Emissions in 2023*. 4-5.
- Ismail, M. M. S., El-Ayouty, Y. M., & Piercey-Normore, M. (2016). Role of pH on Antioxidants Production by *Spirulina (Arthrospira) platensis*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47(2), 298–304. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.01.003>
- Kumar, K., Dasgupta, C. N., Nayak, B., Lindblad, P., & Das, D. (2011). Development of Suitable Photobioreactors For CO₂ Sequestration Addressing Global Warming Using Green Algae and Cyanobacteria. *Bioresour Technol.* 102(8):4945-53. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.01.054>.
- Nugroho, A. P. (2017). Efek laju karbondioksida (CO₂) terhadap Morfologi dan Laju Pertumbuhan Populasi *Spirulina platensis* (Gomont). *Journal Penelitian Kehutanan FALOKA*, 1(2), 75–84.
- Pertiwi, I., & Wardani, A. K. (2019). Pengaruh Penambahan Karbondioksida (CO₂) terhadap Pertumbuhan Isolat Mikroalga *Spirulina platensis* Skala Semi Massal. [Thesis, Universitas Brawijaya]. Campus Repository. <https://repository.ub.ac.id/id/eprint/211111/>
- Sathakit, R., Ruangchuay, R., Luangthuvapranit, C., & Bovornruangroj, N. (2020). Effect of Carbon dioxide (CO₂) Concentration on Growth of *Ulva intestinalis* in Photobioreactor. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 416(1), 12020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/416/1/012020>
- Setiawan, Y., Surachman, A., & Asthary, P. B. (2014). Pemanfaatan Emisi Gas CO₂ untuk Budidaya *Spirulina platensis* dalam Upaya Penurunan Gas Rumah Kaca (GRK). *Journal of Industrial Research (Jurnal Riset Industri)*, 8(2), 83-89.
- Sitorus, T. B., Napitupulu, F. H., & Ambarita, H. (2014). Korelasi Temperatur udara dan Intensitas Radiasi Matahari terhadap Performansi Mesin Pendingin Siklus Adsorpsi Tenaga Matahari. *Cylinder: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1(1), 8–17. <https://ejournal.atmajaya.ac.id/index.php/cylinder/article/view/4276>
- Soni, R. A., Sudhakar, K., & Rana, R. S. (2019). Influence of Temperature and Light Intensity on the Growth Performance of *Spirulina platensis*. *International Journal on Emerging Technologies*, 10(2), 19–22.
- Tambunan, A. L., Yuniar, I., & Trisyani, N. (2022). Kultur Pertumbuhan Mikroalga *Spirulina* sp. pada Media Asam, Netral dan Alkaline Skala Laboratorium. *Fisheries: Jurnal Perikanan dan Ilmu Kelautan*, 4(1), 28–37. <https://doi.org/10.30649/fisheries.v4i1.62>
- Zendrato, T. S. (2019). *Pemanfaatan Limbah Lindi terhadap Kelimpahan Chlorella sp* [Skripsi, Universitas Islam Riau]. Campus Repository. <https://repository.uir.ac.id/8479/1/144310095.pdf>