

BAB 1

PENDAHULUAN

Meningkatnya konsentrasi karbon dioksida (CO_2) di atmosfer terjadi akibat aktivitas industri dan pembakaran bahan bakar fosil. Berdasarkan laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), konsentrasi CO_2 atmosfer mencapai lebih dari 420 ppm, angka tersebut melewati batas aman era pra-industri sebesar 280 ppm. Pada tingkat nasional, Indonesia tercatat sebagai negara keenam di Asia Pasifik yang menghasilkan emisi karbon lebih dari 704,4 juta ton karbon di tahun 2023 (Ardiansyah et al., 2025). Akumulasi gas rumah kaca tersebut menyebabkan peningkatan suhu rata-rata global yang terus menunjukkan tren kenaikan. World Meteorological Organization (WMO) melaporkan bahwa tahun 2024 menjadi tahun terpanas yang pernah tercatat dengan kenaikan suhu global mencapai sekitar $1,55^\circ\text{C}$ di atas rata-rata pra-industri, sedangkan periode 2025–2029 diproyeksikan memiliki peluang sebesar 70% melampaui ambang $1,5^\circ\text{C}$ secara rata-rata tahunan. Di wilayah tropis seperti Indonesia, suhu udara rata-rata ideal umumnya berada pada kisaran $26\text{--}28^\circ\text{C}$, namun Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) menunjukkan bahwa suhu udara rata-rata di Indonesia telah mengalami peningkatan sekitar $1,02^\circ\text{C}$ selama periode 1981–2024. Kondisi tersebut mendorong pemerintah Indonesia memperkuat komitmen pengurangan emisi dengan strategi *Nationally Determined Contribution* (NDC) sebagai bagian dari upaya mitigasi perubahan iklim.

Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk mengurangi emisi karbon di atmosfer, salah satunya melalui pendekatan fisika, kimia, dan biologis. Pendekatan fisika dan kimia seperti absorpsi dan adsorpsi dinilai efektif dalam menangkap CO_2 , namun umumnya memerlukan kebutuhan energi dan biaya operasional yang relatif tinggi. Oleh karena itu, pendekatan biologis mulai banyak dikembangkan karena dinilai lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Salah satu pendekatan biologis yang potensial adalah pemanfaatan mikroalga sebagai agen biofiksasi karbon melalui proses fotosintesis. Mikroalga mampu memanfaatkan karbon dioksida (CO_2) dan mengonversinya menjadi biomassa bernilai ekonomi tinggi seperti lipid,

protein, pigmen, dan eicosapentaenoic acid (EPA). Mikroalga adalah agen utama dalam proses ini karena laju fiksasi karbon mikroalga dilaporkan 10–50 kali lebih tinggi dibandingkan tanaman darat dalam satuan luas yang sama. Mikroalga menjadi pilihan efektif karena pertumbuhannya yang cepat, siklus hidup singkat, dan hanya memerlukan nutrisi untuk perkembangannya. Selain berpotensi mengurangi emisi karbon, biomassa mikroalga juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biofuel, pakan akuakultur, farmasi, kosmetik, dan pangan fungsional (Gerotto et al., 2020). Optimalisasi pertumbuhan mikroalga umumnya dilakukan menggunakan penggunaan sistem fotobioreaktor. Fotobioreaktor adalah salah satu teknologi pengolahan biologis dengan sistem terbuka atau tertutup yang menyediakan elemen cahaya, nutrisi, suhu, dan pencampuran untuk pertumbuhan mikroalga yang sehat (Ahmad et al., 2021).

Salah satu mikroalga yang potensial digunakan adalah *Nannochloropsis oculata* yang dikenal memiliki produktivitas biomassa tinggi serta kandungan karbon yang signifikan dalam selnya. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *N. oculata* mampu menghasilkan produktivitas biomassa sebesar 0,088 g/L/hari pada konsentrasi CO₂ 4-8% dalam sistem fotobioreaktor (Razzak et al., 2015). Hal ini menunjukkan bahwa mikroalga ini berpotensi dikembangkan sebagai agen fiksasi karbon sekaligus sumber biomassa bernilai tinggi. Namun, produktivitas biomassa dan kemampuan biofiksasi CO₂ *N. oculata* masih belum mencapai kondisi optimum karena dipengaruhi oleh kondisi kultur dan lingkungan pertumbuhan. Faktor yang mempengaruhi kondisi kultur mikroalga adalah intensitas cahaya dan fotoperiode. Intensitas cahaya yang terlalu rendah dapat membatasi aktivitas fotosintesis sehingga pertumbuhan sel dan penyerapan CO₂ menjadi tidak optimal. Sebaliknya, intensitas cahaya yang terlalu tinggi dapat menyebabkan fotoinhibisi akibat kerusakan sistem fotosintesis dan meningkatnya stres oksidatif pada sel mikroalga (Yustinadiar et al., 2020). Pada *Nannochloropsis oculata*, peningkatan intensitas cahaya hingga kondisi optimum umumnya mampu meningkatkan pembentukan biomassa dan efisiensi pemanfaatan karbon dalam sistem fotobioreaktor.

Fotoperiode atau siklus terang-gelap juga memengaruhi metabolisme mikroalga. Fase terang digunakan untuk fotosintesis, sedangkan fase gelap berperan dalam respirasi dan pembentukan biomassa. Fotoperiode yang terlalu panjang dapat memicu stres cahaya, sementara fase gelap yang terlalu lama dapat menurunkan produktivitas fotosintesis (Tamburic et al., 2014). Oleh karena itu, kombinasi intensitas cahaya dan fotoperiode yang tepat diperlukan untuk meningkatkan pertumbuhan mikroalga serta efisiensi biofiksasi CO₂ pada sistem fotobioreaktor.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas pengaruh cahaya terhadap pertumbuhan *Nannochloropsis*, namun kajian mengenai kombinasi variasi intensitas cahaya dan fotoperiode terhadap biofiksasi CO₂ pada *Nannochloropsis oculata* dalam sistem fotobioreaktor masih terbatas. Sebagian penelitian lebih berfokus pada produksi biomassa tanpa menghubungkannya secara spesifik dengan kemampuan penyerapan CO₂, khususnya dalam pendekatan faktorial untuk menentukan kinetika pertumbuhan dan biofiksasi CO₂. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi intensitas cahaya dan fotoperiode terhadap pertumbuhan mikroalga serta kemampuan biofiksasi CO₂ oleh *Nannochloropsis oculata* pada sistem fotobioreaktor.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah penelitian ini sebagai berikut.

1. Berapa intensitas cahaya dan fotoperiode optimal dalam meningkatkan laju pertumbuhan dan produktivitas biomassa mikroalga *Nannochloropsis oculata* pada media kultur?
2. Bagaimana pengaruh variasi intensitas cahaya dan fotoperiode terhadap laju pertumbuhan dan produktivitas biomassa mikroalga *Nannochloropsis oculata* pada media kultur?
3. Bagaimana pengaruh pertumbuhan terhadap potensi fiksasi karbon oleh mikroalga *Nannochloropsis oculata*?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan kombinasi intensitas cahaya dan fotoperiode yang menghasilkan laju pertumbuhan dan produktivitas biomassa mikroalga *Nannochloropsis oculata* optimum pada media kultur.
2. Menganalisis pengaruh variasi intensitas cahaya dan fotoperiode terhadap laju pertumbuhan dan produktivitas biomassa mikroalga *Nannochloropsis oculata* pada media kultur.
3. Menganalisis potensi fiksasi karbon berdasarkan produktivitas biomassa mikroalga pada setiap perlakuan.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi ilmiah dan referensi mengenai pengaruh variasi intensitas cahaya dan fotoperiode terhadap pertumbuhan mikroalga *Nannochloropsis oculata* dalam sistem fotobioreaktor, serta menambah kajian terkait optimalisasi kondisi kultur mikroalga untuk fiksasi karbon.

1.5 Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian atau batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Objek penelitian ini akan berfokus pada spesies mikroalga *Nannochloropsis oculata*.
2. Penelitian ini menggunakan variasi intensitas cahaya serta fotoperiode.
3. Penelitian akan menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan mengukur kepadatan sel, biomassa kering serta penyerapan CO₂ dalam fotobioreaktor dengan kondisi yang dikontrol.
4. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium, sehingga hasil yang diperoleh mungkin perlu disesuaikan untuk aplikasi skala besar dalam kondisi alami atau industri.