

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masyarakat global saat ini dihadapkan pada kondisi lingkungan yang semakin serius akibat meningkatnya emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia seperti pertumbuhan sektor industri, tingginya penggunaan kendaraan bermotor, pembakaran bahan bakar fosil, serta aktivitas deforestasi [1]. Gas rumah kaca yang dihasilkan dari berbagai aktivitas tersebut diantaranya karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), nitrogen oksida (NO_x), perfluorokarbon (CFC), dan air (H_2O) [2]. Meskipun gas rumah kaca terdiri atas berbagai komponen, karbon dioksida (CO_2) menjadi salah satu penyumbang terbesar terhadap gas rumah kaca karena emisinya relatif tinggi. Karbon dioksida (CO_2) dilaporkan menyumbang sekitar 68% dari seluruh emisi gas rumah kaca yang dikeluarkan ke atmosfer [3].

Menurut laporan dari *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2022), konsentrasi CO_2 di atmosfer telah mencapai level tertinggi dalam sejarah Bumi, dengan jumlah emisi CO_2 yang terus meningkat akibat pembakaran bahan bakar fosil untuk industri, transportasi, dan sektor energi. Dampak yang ditimbulkan akibat peningkatan konsentrasi CO_2 ini sangat banyak, mulai dari perubahan pola cuaca ekstrem, meningkatnya suhu global, hingga ancaman terhadap keberagaman hayati dan ketahanan pangan [4]. Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya upaya pengurangan emisi dan peningkatan penyerapan CO_2 untuk meminimalkan dampak perubahan iklim dan menjaga keberlanjutan lingkungan.

Selain di atmosfer, peningkatan konsentrasi CO_2 juga dapat terjadi pada lingkungan dalam ruangan, terutama akibat aktivitas manusia yang dilakukan dalam jangka waktu lama dan terbatasnya pertukaran udara sehingga dapat menimbulkan rasa tidak nyaman bagi orang yang beraktivitas di dalam ruangan dan berpotensi mengganggu kesehatan [5]. Pada kondisi udara segar, konsentrasi CO_2 berada pada kisaran sekitar 300 ppm hingga 600 ppm [6]. Konsentrasi CO_2 sekitar 1.000 ppm hingga 5.000 ppm tergolong berbahaya bagi kesehatan manusia, sedangkan konsentrasi yang melebihi 5.000 ppm dapat memberikan dampak yang lebih serius bagi manusia bahkan dapat menyebabkan kematian [5]. Kondisi tersebut

menunjukkan bahwa pengendalian konsentrasi CO₂ sangat penting dilakukan tidak hanya untuk mengurangi dampaknya terhadap perubahan iklim, tetapi juga untuk menjaga kualitas udara di dalam ruangan.

Upaya untuk mengurangi dampak peningkatan konsentrasi CO₂ dapat dilakukan melalui mitigasi, yaitu upaya untuk mengurangi emisi atau meningkatkan penyerapan gas rumah kaca dari berbagai sumber emisi. Salah satu upaya mitigasi emisi gas rumah kaca dapat dilakukan melalui teknologi *Carbon Capture and Storage* (CCS) yaitu teknologi mitigasi yang dikembangkan untuk penurunan dan penangkapan emisi karbon [3].

Teknologi penangkapan karbon dapat dilakukan dengan dua metode yaitu metode fisik dan metode biologis. Penangkapan karbon dengan metode fisik umumnya memerlukan energi yang besar dan biaya operasional yang relatif tinggi [3]. Sedangkan penangkapan karbon dengan metode biologis dianggap lebih hemat biaya dan ramah lingkungan karena memanfaatkan mikroalga untuk menyerap karbon dioksida melalui proses alami [7].

Mikroalga merupakan salah satu organisme fotosintetik yang memiliki potensi besar dalam proses biofiksasi karbon [3]. Beberapa penelitian melaporkan bahwa kemampuan mikroalga dalam menyerap CO₂ 50 kali lebih baik dibandingkan tanaman darat, karena memiliki laju pertumbuhan yang relatif cepat dan dapat menghasilkan kepadatan sel dalam waktu yang lebih singkat [3]. Selain itu, beberapa penelitian menunjukkan bahwa mikroalga memiliki banyak kelebihan seperti produksi biomassa yang melimpah, kebutuhan lahan yang relatif kecil, serta potensi pemanfaatan biomassa untuk berbagai aplikasi, seperti pakan alami, biofuel, dan produk bioteknologi lainnya [8]. Oleh karena itu, pemanfaatan mikroalga untuk menangkap dan menyimpan karbon memiliki keunggulan yang cukup besar dibandingkan dengan metode penangkapan dan penyimpanan karbon lainnya.

Namun, untuk memaksimalkan potensi mikroalga dalam menyerap CO₂ dapat dimaksimalkan dengan pemanfaatan teknologi sistem budidaya yang dapat mendukung pertumbuhan mikroalga secara optimal yaitu fotobioreaktor. Fotobioreaktor merupakan reaktor buatan yang dirancang untuk mengoptimalkan kondisi lingkungan mikroalga [9]. Digunakan sistem fotobioreaktor tertutup karena sistem ini dapat meminimalkan risiko kontaminasi dari lingkungan luar, sehingga

dapat menghasilkan kepadatan sel lebih banyak dan lebih cepat dibandingkan dengan sistem fotobioreaktor terbuka [10]. Penelitian yang dilakukan oleh Rusdiani *et al.* (2016), menunjukkan bahwa sistem fotobioreaktor tertutup dapat meningkatkan produktivitas mikroalga hingga lima kali lipat dibandingkan dengan sistem terbuka [10]. Oleh karena itu, penggunaan fotobioreaktor sangat efektif untuk memaksimalkan potensi mikroalga dalam penangkapan CO₂ yang lebih stabil dan efisien.

Untuk mencapai potensi mikroalga dalam penangkapan CO₂, sistem fotobioreaktor perlu didukung oleh pengendalian faktor-faktor lingkungan yang sesuai, salah satunya adalah ketersediaan cahaya. Cahaya merupakan faktor yang sangat penting, karena berperan sebagai sumber energi utama dalam mendukung proses fotosintesis [11]. Untuk memenuhi kebutuhan cahaya tersebut, sistem fotobioreaktor memanfaatkan lampu LED sebagai sumber pencahayaan buatan. Lampu LED ini banyak digunakan karena memiliki efisiensi energi yang tinggi serta mampu menghasilkan spektrum cahaya yang sesuai untuk mendukung proses fotosintesis mikroalga [11].

Dalam penelitian fotobioreaktor mikroalga, salah satu spesies mikroalga yang saat ini semakin mendapatkan perhatian adalah *Chaetoceros calcitrans*. Mikroalga ini banyak ditemukan di perairan laut tropis dan subtropis serta memiliki kandungan protein dan lipid yang tinggi, sehingga sangat berguna sebagai pakan alami dalam industri perikanan dan akuakultur [11].

Berbagai penelitian terdahulu telah mengembangkan fotobioreaktor dengan berbagai desain, jenis mikroalga, dan kondisi operasional untuk meningkatkan pertumbuhan mikroalga serta efisiensi penyerapan karbon dioksida. Penelitian oleh Prasetyo *et al.* (2022) menunjukkan bahwa mampu meningkatkan pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans* dengan menghasilkan kepadatan sel tertinggi sebesar $6,7 \times 10^6$ sel/mL [11]. Selanjutnya, Hakim (2024) menunjukkan bahwa penggunaan *Chlorella vulgaris* pada fotobioreaktor portabel mampu meningkatkan kepadatan sel hingga $4,846 \times 10^6$ sel/mL dengan peningkatan kadar CO₂ terlarut hingga 33,44 mg/L [12]. Sejalan dengan penelitian tersebut, Syahidan (2025) berhasil menunjukkan penyerapan CO₂ hingga 3.037 ppm menggunakan sensor MQ-135 dan kadar CO₂ terlarut sebesar 13,376 mg/L berdasarkan metode titrasi asam-basa pada

fotobioreaktor portabel berbasis *Tetraselmis chuii* [7].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk merancang dan mengevaluasi kinerja fotobioreaktor sistem tertutup berbasis *Chaetoceros calcitrans*. Evaluasi dilakukan melalui pengukuran kepadatan sel menggunakan metode *haemocytometer* dan spektrofotometri UV-Vis, penentuan konsentrasi CO₂ menggunakan metode titrasi asam-basa dan sensor SCD-41, serta pengamatan terhadap suhu dan pH selama proses kultivasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai hubungan antara pertumbuhan mikroalga, kondisi lingkungan kultivasi, dan kemampuan penyerapan CO₂, serta menjadi referensi dalam pengembangan teknologi biofiksasi karbon berbasis mikroalga yang lebih efektif, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang perlu dirumuskan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kepadatan sel mikroalga *Chaetoceros calcitrans* pada fotobioreaktor sistem tertutup berdasarkan metode *haemocytometer*?
2. Bagaimana konsentrasi CO₂ yang terserap pada fotobioreaktor sistem tertutup dalam ruangan berdasarkan metode titrasi asam-basa dan sensor SCD-41?
3. Bagaimana perubahan pH dan suhu selama proses kultivasi mikroalga *Chaetoceros calcitrans* pada fotobioreaktor sistem tertutup?
4. Bagaimana efisiensi fotobioreaktor berbasis mikroalga *Chaetoceros calcitrans* dalam menyerap CO₂ pada sistem tertutup?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan, penelitian ini akan dibatasi pada beberapa masalah berikut:

1. Kultur mikroalga yang digunakan adalah jenis *Chaetoceros calcitrans* yang didapatkan dari BBPBAP (Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau) Jepara.
2. Nutrien yang digunakan berupa pupuk yang didapatkan dari BBPBAP yaitu pupuk walne f/2 dan air laut.

3. Fotobioreaktor yang digunakan berbentuk tabung silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 40 cm.
4. Lampu yang digunakan menggunakan lampu LED sebagai sumber sinar matahari buatan.
5. Pengukuran kepadatan sel menggunakan metode *haemocytometer* dan metode spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 680 nm.
6. Pengukuran kadar CO₂ yang diserap oleh mikroalga pada fotobioreaktor menggunakan metode sensor SCD-41 dan metode titrasi asam basa.
7. Parameter yang diamati meliputi kepadatan sel, kadar CO₂, suhu, dan pH selama proses kultivasi.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang diajukan, tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kepadatan sel mikroalga *Chaetoceros calcitrans* pada fotobioreaktor tertutup berdasarkan metode *haemocytometer*.
2. Menentukan konsentrasi CO₂ yang terserap oleh fotobioreaktor berbasis mikroalga *Chaetoceros calcitrans* berdasarkan metode titrasi asam-basa dan sensor SCD-41.
3. Menganalisis perubahan pH dan suhu selama proses kultivasi mikroalga *Chaetoceros calcitrans* pada fotobioreaktor sistem tertutup.
4. Menganalisis efisiensi fotobioreaktor berbasis mikroalga *Chaetoceros calcitrans* dalam penyerapan CO₂ pada sistem tertutup.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan informasi mengenai kemampuan mikroalga *Chaetoceros calcitrans* dalam memanfaatkan dan menyerap CO₂ melalui proses fotosintesis pada fotobioreaktor sistem tertutup. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans* berdasarkan perubahan kepadatan sel serta keterkaitannya dengan perubahan konsentrasi CO₂, pH, dan suhu selama proses kultivasi. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi bidang pendidikan,

penelitian selanjutnya, serta bidang lain yang berkaitan dengan pemanfaatan mikroalga dan teknologi fotobioreaktor sebagai salah satu alternatif dalam penyerapan CO₂ dan penanganan permasalahan lingkungan.

