

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peningkatan populasi global mendorong meningkatnya permintaan protein. Permintaan pasar global akan protein yang diperkirakan melampaui USD 60 miliar pada tahun 2027 (Ma *et al.*, 2025). Namun, produksi protein hewani memberikan dampak lingkungan signifikan, terutama melalui emisi gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap pemanasan global (Williamson *et al.*, 2023). Akumulasi karbon dioksida (CO₂) menyebabkan panas terperangkap di atmosfer dan memicu efek rumah kaca. Laporan Intergovernmental Panel on Climate Change (2023) menunjukkan bahwa suhu global telah meningkat sekitar 1,1°C di atas tingkat praindustri dan diperkirakan mencapai 1,5°C pada awal dekade 2030-an. Oleh karena itu, mikroalga menjadi solusi karena memiliki kandungan protein tinggi serta mampu menyerap CO₂ melalui fotosintesis (Ma *et al.*, 2026).

Mikroalga berpotensi sebagai agen *Carbon Capture, Utilization, and Storage* (CCUS) yaitu dapat menangkap karbon, menyimpan dalam bentuk biomassa dan pemanfaatannya menjadi produk bernilai. CO₂ yang ditangkap oleh mikroalga akan melalui mekanisme *Carbon Concentrating Mechanism* (CCM) yaitu sistem yang mengakumulasi karbon anorganik dalam bentuk HCO₃⁻ melalui protein transporter dan diubah menjadi CO₂

oleh enzim karbonat anhidrase, sehingga CO₂ di sekitar enzim Rubisco dapat digunakan untuk fiksasi CO₂ pada Siklus Calvin. Karbon yang difiksasi selanjutnya tersimpan dalam bentuk komponen biokimia, seperti protein, lipid, dan karbohidrat (Li & Yao, 2024).

Di antara berbagai mikroalga, *Spirulina maxima* dikenal sebagai salah satu sumber protein paling potensial karena kandungan proteinnya sekitar 64,2% dari berat kering (Villaro *et al.*, 2023). Nilai ini melampaui sumber protein nabati konvensional seperti *Glycine max* (kedelai) yang hanya mengandung sekitar 38–41% protein (Anjum *et al.*, 2022). Tanaman legum seperti lupin 35,7% protein (Olukomaiya *et al.*, 2020). dan kacang polong 22,1% protein (Fahmi, 2022). Bahkan dibandingkan dengan mikroalga lain seperti *Chlorella vulgaris*, yang hanya memiliki kandungan protein sekitar 38,85%. (Koochi *et al.*, 2023).

Penyerapan CO₂ oleh *S. maxima* berdasarkan Penelitian Han *et al.* (2023) menunjukkan bahwa *S. maxima* mampu menurunkan konsentrasi CO₂ udara dalam ruangan hingga sekitar 55%, dari ~1100 ppm menjadi 500 ppm dalam 7 hari. Laju penyerapan tertinggi pada hari ke-4 yaitu pada fase log dengan efisiensi sekitar 20% per hari. Studi López-Limón *et al.* (2025) menyatakan penyerapan CO₂ oleh *S. maxima* berbanding lurus dengan biomassa melalui proses fotosintesis. Selain itu, pada penelitian ini *S. maxima* menunjukkan protein sebagai komponen terbesar (64,75%), diikuti karbohidrat (13,78%) dan lipid (7,22%). Namun, protein juga dipengaruhi ketersediaan nitrogen dalam media. Sebagian karbon yang tidak digunakan

untuk pertumbuhan diakumulasi sebagai karbohidrat. Sementara itu, kandungan lipid relatif rendah karena kondisi kultur tidak stres.

Zinc (Zn) berperan sebagai kofaktor enzim. Pada kultivasi *S. maxima* Zn berfungsi menjaga stabilitas struktur dan aktivitas fungsi protein, seperti superoksida dismutase, katalase, dan faktor transkripsi zinc *finger*, serta berperan dalam mengatur interaksi antarmolekul protein. Ketersediaan Zn dapat membantu proses asimilasi nitrogen untuk sintesis protein (Mishra & Prasad, 2019). Zn juga menjadi kofaktor enzim carbonic anhydrase (CA) untuk konversi CO₂ menjadi bikarbonat yang digunakan untuk fiksasi karbon dalam siklus Calvin (Sharma *et al.*, 2020). Pada konsentrasi yang optimal, aktivitas CA dapat mendukung pemanfaatan karbon dan akumulasi biomassa. Namun, konsentrasi Zn berlebih dapat sebabkan efek toksik terhadap sistem fotosintesis sehingga menurunkan fiksasi CO₂ dan akumulasi biomassa (El-Agawany & Kaamoush, 2023).

Penelitian Akgül & Akgül (2024) menggunakan media Zarrouk dengan variasi konsentrasi Zn (0,05–8 mg/L) menunjukkan bahwa *Spirulina platensis* mampu tumbuh pada semua perlakuan. Pertumbuhan optik tertinggi diperoleh pada 8 mg/L, berat kering tertinggi pada 2 mg/L, dan produktivitas biomassa tertinggi pada 4 mg/L, dengan akumulasi Zn mencapai 338,4 mg/kg. Sementara itu, penelitian Saeid *et al.* (2013) 1 gram biomassa kering *S. maxima* direndam dalam larutan Zn²⁺ 300 mg/L pH 5. Hasilnya menunjukkan peningkatan Zn hingga 31,5 mg per gram biomassa setelah proses biosorpsi. Hasil ini menunjukkan bahwa *S. maxima* mampu

mengikat ion logam dan berpotensi sebagai suplemen pakan, dimana pada umumnya pakan ternak dibutuhkan kandungan protein tinggi. Namun, penelitian ini hanya berfokus pada bioavailabilitas mineral, bukan komposisi makronutrien seperti protein, lipid, dan karbohidrat.

Studi mengenai penambahan Zn selama pertumbuhan aktif *S. maxima* masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi peran zinc terhadap produktivitas biomassa *S. maxima*. Selain itu, untuk mengkaji pengaruhnya terhadap komposisi biokimia, seperti karbohidrat, protein, dan lipid, serta potensi keterkaitannya dengan kemampuan penyerapan CO₂.

1.2. Rumusan Masalah

- 1.2.1. Apakah penambahan Zn pada *S. maxima* dapat meningkatkan kandungan protein, karbohidrat, dan lipid ?
- 1.2.2. Bagaimana pengaruh penambahan Zn terhadap penyerapan CO₂ oleh *S. maxima*?
- 1.2.3. Bagaimana pengaruh penambahan Zn terhadap biomassa dan laju pertumbuhan *S. maxima*?

1.3. Tujuan

- 1.3.1. Mengevaluasi pengaruh penambahan Zn terhadap peningkatan protein, karbohidrat, dan lipid pada *S. maxima*.
- 1.3.2. Menganalisis pengaruh penambahan Zn terhadap penyerapan CO₂ oleh *S. maxima*.
- 1.3.3. Menganalisis konsentrasi Zn yang optimal untuk mendukung pertumbuhan dan akumulasi biomassa *S. maxima*

1.4. Manfaat

- 1.4.1. Mendukung pemanfaatan dan peningkatan produktivitas biomassa *S. maxima* seperti protein, karbohidrat, dan lipid sehingga dapat dimanfaatkan dalam sektor industri.
- 1.4.2. Memberikan alternatif pendekatan biologis dalam penyerapan CO₂ oleh *S. maxima*.
- 1.4.3. Memberikan informasi ilmiah mengenai pengaruh Zn terhadap pertumbuhan *S. maxima*.

1.5. Hipotesis

Penambahan Zn berpotensi memengaruhi penyerapan CO₂ oleh *S. maxima*, sehingga berdampak pada biomassa serta kandungan protein, karbohidrat, dan lipid.