

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Emisi CO₂ merupakan kontributor utama gas rumah kaca yang menyumbang sekitar 80% dari total emisi global, sehingga berperan signifikan dalam pemanasan global dan perubahan iklim akibat peningkatan aktivitas antropogenik (Abbas *et al.*, 2025). Indonesia tercatat menghasilkan 812,22 juta ton CO₂ atau sekitar 2,1% dari total emisi global dengan tren peningkatan sebesar 18,64% pada periode 2020–2024 (Ritchie & Rosado, 2025). Peningkatan emisi tersebut berkorelasi erat dengan meningkatnya kebutuhan transportasi dan mobilitas manusia yang dipicu oleh pertumbuhan populasi, perkembangan ekonomi, serta peningkatan kepemilikan kendaraan hingga 60% (Ritchie, 2020). Ketergantungan yang tinggi terhadap bahan bakar fosil pada sektor transportasi mendorong peningkatan konsumsi energi serta pelepasan CO₂ ke atmosfer secara terus-menerus. Kondisi ini tidak hanya mempercepat degradasi sumber daya fosil yang bersifat tidak terbarukan tetapi juga mengarahkan peradaban manusia menuju potensi krisis energi global (Banković–Ilić *et al.*, 2017). Bahan bakar masih menjadi komponen fundamental bagi keberlangsungan hidup dan pembangunan masyarakat modern. Berbagai kajian memperkirakan terjadinya lonjakan signifikan kebutuhan energi pada tahun 2030 sementara ketersediaan bahan bakar fosil diprediksi akan habis pada sekitar tahun 2060 (Brahma *et al.*, 2022). Situasi

tersebut menegaskan urgensi penerapan strategi *Carbon Capture, Utilization, and Storage* (CCUS) sebagai upaya penangkapan CO₂ secara langsung dari udara ambien sekaligus pemanfaatannya sebagai bahan baku dalam pengembangan sumber energi terbarukan.

Teknologi *Direct Air Capture* (DAC) merupakan salah satu teknologi penangkapan karbon yang mengekstraksi CO₂ langsung dari udara ambien yang memiliki konsentrasi relatif rendah. Kondisi tersebut menuntut pengolahan volume udara yang sangat besar serta rasio gas cair yang tinggi untuk mencapai jumlah CO₂ terlarut yang memadai. Teknologi DAC secara umum terbagi ke dalam dua kategori utama, yaitu sistem absorpsi padat dan sistem absorpsi cair. Sistem absorpsi padat umumnya memanfaatkan material penyerap berupa membran berbasis dimetil eter polietilen glikol, N-metil-pirolidon, dan propilen karbonat yang memiliki afinitas tinggi terhadap CO₂. Sebaliknya, sistem absorpsi cair menggunakan alkaloamina cair, seperti monoetanolamina, dietanolamina, dan metildietanolamina sebagai media untuk menangkap CO₂ dari udara ambien (Mennitto *et al.*, 2025). Pelarut yang umum digunakan dalam industri merupakan monoetanolamina (MEA) yang memiliki penyerapan, regenerasi, serta kemurnian CO₂ yang tinggi. Akan tetapi, MEA memiliki keterbatasan krusial seperti potensi terjadinya korosi pada sistem, serta tingginya kebutuhan energi pada tahap regenerasi pelarut menjadi faktor utama yang menurunkan kinerja proses secara keseluruhan (Hong *et al.*, 2022). Sebagai alternatif, pelarut alkali seperti hidroksida dan karbonat logam alkali dikembangkan untuk menangkap CO₂ melalui

pembentukan karbon anorganik yang lebih stabil secara termodinamika, yaitu bikarbonat dan karbonat. Di antara pelarut tersebut, NaOH menunjukkan kinerja yang lebih efisien dan ekonomis dengan kebutuhan sekitar 0,9 ton pelarut untuk menyerap 1 ton CO₂, lebih rendah dibandingkan MEA yang memerlukan sekitar 1,39 ton pelarut (Gunnarsson *et al.*, 2018). CO₂ yang dihasilkan dari proses penangkapan dalam skema DAC selanjutnya dapat dimanfaatkan oleh mikroalga sebagai sumber karbon untuk menghasilkan biomassa dan biomolekul bernilai tambah (Hong *et al.*, 2022). Mikroalga memiliki berbagai macam manfaat seperti kandungan karotenoid yang berfungsi sebagai antioksidan dan penghasil listrik melalui *microbial fuel cell* (MFC) (Herida *et al.*, 2020; Fauzan *et al.*, 2022). *N. oculata* memiliki laju fiksasi CO₂ sebesar 0,204 g/L/hari dan kandungan lipid mencapai 47,68%, sehingga berpotensi sebagai agen penangkapan karbon sekaligus sumber lipid potensial untuk biodiesel (Ruangsomboon & Chonudomkul, 2022).

Pemanfaatan CO₂ sebagai karbon anorganik oleh mikroalga melalui mekanisme *carbon concentrating mechanism* (CCM) yang memungkinkan penggunaan bikarbonat sebagai sumber karbon ketika konsentrasi CO₂ bebas dalam medium relatif rendah (Gee *et al.*, 2017). Ketersediaan karbon anorganik yang memadai diketahui dapat meningkatkan produktivitas biomassa dan mendukung proses fiksasi karbon pada mikroalga (Zhou *et al.*, 2017), sedangkan perubahan kondisi lingkungan dapat memengaruhi alokasi karbon antara pertumbuhan dan sintesis lipid (Ye *et al.*, 2024). Selain itu, *Nannochloropsis* dilaporkan memiliki kemampuan yang baik dalam

memanfaatkan karbon untuk menghasilkan biomassa dan lipid sehingga berpotensi dikembangkan sebagai agen *carbon capture utilization* (Chiu *et al.*, 2009). Meskipun potensi *N. oculata* sebagai agen *carbon capture utilization* telah banyak dilaporkan, informasi mengenai pemanfaatan karbon hasil penangkapan CO₂ pada media alkali dengan variasi pH menggunakan NaOH yang berbeda masih terbatas.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana kondisi media alkali yang optimum dalam menghasilkan produktivitas biomassa, efisiensi penyerapan karbon, dan produksi lipid pada *N. oculata*?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi media alkali yang optimum untuk meningkatkan produktivitas biomassa, efisiensi penyerapan karbon, dan produksi lipid pada *N. oculata*.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah mengenai kondisi media alkali yang optimum dalam mendukung efisiensi penyerapan karbon dan produksi lipid pada *N. oculata*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperluas pemahaman mengenai hubungan antara pemanfaatan karbon anorganik dan akumulasi lipid pada mikroalga, serta menjadi referensi bagi pengembangan penelitian *carbon capture and utilization* (CCU) berbasis mikroalga.