BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran akibat logam berat di perairan laut serta daerah pesisir merupakan salah satu masalah lingkungan yang perlu diperhatikan. Salah satu logam yang perlu diperhatikan dalam perairan adalah besi (Fe). Meskipun Fe adalah komponen penting bagi kehidupan organisme yang hidup di laut, keberadaannya dalam jumlah yang berlebihan dapat merusak kualitas air dan mengganggu keseimbangan ekosistem. Sumber Fe di area pesisir bisa berasal dari aliran air sungai, kegiatan industri yang terjadi di sekitarnya, atau juga dari proses alami. Oleh sebab itu, penting untuk melakukan pengelolaan terhadap air laut yang terkontaminasi Fe dengan cara yang ramah lingkungan [1]. Pengelolaan ini tidak sekadar bertujuan untuk mengurangi konsentrasi Fe dalam air, tetapi juga harus mempertimbangkan bentuk kimia atau spesiasi Fe yang dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan seperti pH, kadar garam, tingkat oksigen, jumlah bahan organik, dan senyawa kompleks. Oleh karena itu, studi mengenai pengurangan kadar Fe sangat krusial dilakukan untuk memahami seberapa efektif suatu metode pengolahan dalam menurunkan kadar Fe di bawah kondisi dan perlakuan yang spesifik [2].

Salah satu unsur yang sering ditemukan dalam air limbah dari berbagai jenis industri adalah besi (Fe). Zat ini memiliki peran krusial bagi kehidupan organisme yang ada di lingkungan air, termasuk di laut, karena terlibat dalam banyak proses biologis seperti fotosintesis dan pertumbuhan fitoplankton. Namun, jika kadar Fe terlalu tinggi, hal tersebut dapat mengurangi kualitas air, mengganggu keseimbangan ekosistem, dan berpotensi berdampak buruk bagi organisme air. Sumber dari Fe di area pesisir bisa berasal dari aliran sungai, aktivitas industri, atau proses alami seperti pengikisan batuan dan mineral. Sifat Fe dalam air tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah totalnya, tetapi juga oleh bentuk kimia atau spesiasinya serta faktor lingkungan seperti pH, salinitas, tingkat oksigen, jumlah bahan organik, dan adanya senyawa kompleks. Semua kondisi ini berpengaruh terhadap kelarutan, pergerakan, dan ketersediaan bio Fe bagi organisme di air. Jadi, pengurangan kadar Fe dalam limbah air merupakan salah satu hal penting yang perlu dinilai dalam pengelolaan lingkungan perairan. Penelitian tentang pengurangan kadar Fe sangat

penting untuk mendapatkan pemahaman mengenai efektivitas suatu metode pengolahan dalam menurunkan konsentrasi Fe dalam berbagai kondisi dan perlakuan yang dilakukan [2].

Pengolahan air yang terkontaminasi logam berat dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan metode adsorpsi menggunakan bahan seperti karbon aktif dan zeolit. Karbon aktif mempunyai struktur berpori dan luas permukaan yang sangat besar sehingga sering dimanfaatkan untuk menyerap berbagai polutan, termasuk logam berat. Di sisi lain, zeolit adalah bahan aluminosilikat yang memiliki pori dan bisa menghilangkan ion logam melalui proses pertukaran ion dan interaksi pada permukaannya. Meskipun kedua bahan ini telah banyak diteliti sebagai adsorben untuk pengolahan air kotor, efektivitasnya dipengaruhi oleh sifat bahan dan kondisi proses, seperti pH dan tingkat konsentrasi logam dalam larutan [3].

Salah satu pendekatan yang dapat dikaji untuk menurunkan kadar logam dalam air adalah pemanfaatan mikroalga. Mikroalga memiliki biomassa yang terdiri dari komponen sel yang berpotensi berinteraksi dengan ion logam berat, sehingga bisa digunakan dalam proses pengolahan air yang mengandung logam berat [4]. Kemampuan tersebut menjadikan mikroalga sebagai salah satu opsi material biologis yang bisa dikembangkan dalam pengelolaan air yang terkontaminasi logam. Salah satu jenis mikroalga yang memiliki potensi pemanfaatan adalah *Nannochloropsis oculata* [5].

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUNAN GUNUNG DJATI
BANDUNG

Mikroalga *Nannochloropsis oculata* dipilih karena memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan dengan mikroorganisme lainnya. Mikroalga ini terkenal dengan pertumbuhan yang cepat, ukuran sel yang kecil disertai rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi, dan dinding sel yang kaya akan gugus fungsional seperti karboksil, hidroksil, dan amina yang secara teoritis dapat berinteraksi dengan ion logam berat melalui proses biosorpsi [6]. Karakteristik tersebut memberikan landasan teoritis yang menunjukkan bahwa biomassa *Nannochloropsis oculata* memiliki potensi untuk berinteraksi dengan ion logam melalui berbagai titik di permukaan sel. Namun, pada biomassa yang masih hidup, pengurangan konsentrasi logam tidak selalu berarti bahwa hanya biosorpsi permukaan yang berlangsung, karena proses biologis sel juga dapat berperan dalam

penghilangan logam. Di samping itu, *Nannochloropsis oculata* cukup mudah untuk dibudidayakan, mampu bertahan dalam rentang salinitas dan kondisi lingkungan yang beragam, serta memiliki potensi untuk menghasilkan biomassa yang bernilai ekonomi misalnya, sebagai pakan untuk akuakultur, menjadikannya pilihan menarik sebagai biosorben yang ramah lingkungan [7].

Beberapa studi sebelumnya menunjukkan kemampuan *Nannochloropsis oculata* sebagai alat bioremediasi untuk logam berat, meskipun belum ada fokus khusus pada Fe. Penelitian yang dipublikasikan di Journal of Marine and Coastal Science (Unair, 2019) membuktikan bahwa *Nannochloropsis oculata* dapat menyerap Cr lebih efektif hingga 47,30% dibandingkan *Chlorella vulgaris* melalui proses biosorpsi pada dinding sel, yang diukur dengan menggunakan AAS [8]. Penelitian terbaru juga menunjukkan kemampuan *Nannochloropsis oculata* dalam menghilangkan logam berat. Martínez-Macias *et al*. (2024) mengeksplorasi biosorpsi Pb^{2+} dan Cd^{2+} dengan menggunakan biomassa *Nannochloropsis oculata* dan melaporkan bahwa gugus karboksil berperan dalam proses pengikatan logam [9]. Selvan *et al*. (2024) melakukan penelitian mengenai pemanfaatan *Nannochloropsis oculata* dalam pengelolaan limbah cair dari proses penyamakan kulit yang mengandung berbagai jenis logam berat [10]. Di sisi lain, Cahyonugroho *et al*. (2025) memeriksa kemampuan *Nannochloropsis oculata* dalam mengurangi kadar Pb dari limbah buatan [11]. Serangkaian penelitian tersebut mengindikasikan bahwa *Nannochloropsis oculata* telah dieksplorasi dalam penghilangan beberapa jenis logam, baik dengan menggunakan biomassa maupun dalam sistem pengolahan limbah. Namun, jenis logam, karakteristik media, serta kondisi perlakuan dalam penelitian-penelitian tersebut tidak sama dengan kondisi pengujian Fe yang diterapkan dalam studi ini. Oleh karena itu, temuan dari penelitian tersebut menjadi dasar bahwa *Nannochloropsis oculata* memiliki potensi dalam penghilangan logam, tetapi temuan mengenai Pb, Cd, Cr, atau limbah yang mengandung campuran logam tidak dapat secara langsung digunakan untuk menjelaskan perilaku Fe dalam kondisi percobaan penelitian ini. Berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian tentang penghilangan Fe menggunakan *Nannochloropsis oculata*, khususnya dengan menjaga biomassa dalam kondisi hidup dan menguji beberapa konsentrasi awal Fe dalam sistem yang terkontrol,

masih membutuhkan pengembangan lebih lanjut. Studi ini kemudian difokuskan pada biomassa hidup *Nannochloropsis oculata* untuk mengamati perubahan konsentrasi Fe setelah perlakuan pada konsentrasi awal 5, 10, dan 15 ppm.

Pada biomassa yang masih hidup, penghilangan Fe secara teoritis dapat melibatkan lebih dari satu mekanisme. Proses biosorpsi dapat terjadi melalui interaksi antara ion logam dengan komponen atau kelompok fungsi yang terdapat pada permukaan biomassa, sementara bioakumulasi berhubungan dengan aktivitas biologis dan transportasi logam ke dalam sel. Kedua mekanisme tersebut bisa terjadi pada mikroalga hidup, tetapi keberadaan dan kontribusi masing-masing mekanisme dalam percobaan tidak dapat ditentukan hanya dengan mengamati perubahan konsentrasi Fe dalam media [12].

Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan biomassa hidup *Nannochloropsis oculata* untuk menilai penghilangan Fe sebelum dan sesudah perlakuan. Penelitian difokuskan pada penghilangan Fe serta efisiensinya, tanpa menentukan mekanisme interaksi secara spesifik karena tidak dilakukan karakterisasi gugus fungsi maupun analisis Fe di dalam sel.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pola pertumbuhan *Nannochloropsis oculata* selama tahap kultivasi sebelum dilakukan uji biosorpsi dengan Fe?
2. Berapa besarnya efisiensi penghilangan Fe oleh biomassa hidup *Nannochloropsis oculata* pada kosentrasi sebesar 5, 10, dan 15 ppm?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, maka penelitian yang dilakukan dibatasi pada masalah berikut:

1. Penelitian ini hanya fokus pada logam berat besi (Fe), tanpa mempertimbangkan logam berat lainnya seperti Pb, Cd, Cu, dan sebagainya.
2. Mikroalga yang digunakan hanya *Nannochloropsis oculata* dalam kondisi hidup.

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUNAN GUNUNG DJATI
BANDUNG

3. Media pengujian menggunakan larutan Fe dengan konsentrasi awal yang bervariasi, yakni 5, 10, dan 15 ppm. Sebagai sumber Fe, digunakan $FeSO_4.7H_2O$ yang mengandung Fe^{2+} pada fase awal, sementara hasil pengukuran serta efisiensi penghilangan dilaporkan sebagai Fe, dikarenakan bentuk kimia Fe setelah proses perlakuan tidak dijelaskan secara khusus..
4. Parameter utama yang diperhatikan mencakup konsentrasi Fe terlarut sebelum dan setelah perlakuan, serta pertumbuhan mikroalga; parameter kualitas air lainnya (pH, suhu, dan salinitas) dijaga dalam batas optimum dan tidak dianalisis secara rinci.
5. Metode analisis untuk menentukan konsentrasi Fe dilakukan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS), tanpa membahas perbandingan dengan metode analisis lainnya.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang serta rumusan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Mengidentifikasi pola pertumbuhan *Nannochloropsis oculata* selama tahap kultivasi sebelum dilakukan uji biosorpsi dengan Fe
2. Menganalisis besarnya efisiensi penghilangan Fe dengan menggunakan biomassa hidup *Nannochloropsis oculata* pada tiga variasi konsentrasi yaitu 5, 10, dan 15 ppm

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan pemahaman ilmiah tentang potensi mikroalga *Nannochloropsis oculata* dalam kondisi hidup untuk menghilangkan Fe dalam media cair, sehingga dapat menjadi acuan dalam pemilihan bentuk biomassa yang lebih efisien untuk diterapkan dalam teknologi pengolahan logam berat. Selanjutnya, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memperluas kajian fitoremediasi dan mendukung pengembangan sistem pengelolaan limbah cair yang ramah lingkungan serta berkelanjutan.

UIN SUNAN GUNUNG DJATI BANDUNG