

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perairan tawar merupakan salah satu ekosistem yang memiliki tingkat keanekaragaman hayati tertinggi di bumi, meskipun cakupannya kurang dari 1% total volume air yang ada di planet ini. Ekosistem perairan tawar memainkan peran kunci dalam menjaga keseimbangan ekologi secara global melalui berbagai fungsi seperti berbagai jasa ekosistem vital yaitu penyedia air bersih, habitat bagi organisme, serta sumber pangan bagi manusia (Thomsen & Willerslev, 2015). Manfaat yang dimiliki oleh ekosistem perairan tawar cukup banyak, namun perairan tawar ini menjadi salah satu ekosistem paling terancam di dunia. Hal ini disebabkan karena meningkatnya tekanan antropogenik yang menyebabkan penurunan drastis pada keanekaragaman hayati perairan tawar di seluruh dunia. Perubahan iklim juga turut mempengaruhi kondisi tersebut dengan mengubah pola suhu dan curah hujan sehingga mengganggu stabilitas ekosistem perairan tawar dan distribusi spesies di dalamnya. Kondisi ini menimbulkan kekhawatiran terhadap keberlanjutan fungsi ekologis dan produktivitas perairan tawar, terutama di wilayah tropis yang dikenal memiliki tingkat endemisitas yang tinggi (Knowlton & Mang, 2022).

Danau menjadi salah satu bagian dari ekosistem perairan tawar yang memiliki peranan ekologis yang penting dalam mempertahankan keseimbangan lingkungan. Danau berfungsi menjadi penyimpan air alami, pengatur iklim mikro dan menjadi habitat bagi berbagai komunitas biotik

(Bálint *et al.*, 2025). Danau juga memiliki nilai sosial dan ekonomi yang tinggi karena berperan dalam penyedia air bersih, budidaya perikanan, pertanian hingga kegiatan pariwisata yang dapat menopang kesejahteraan masyarakat sekitar. Menurut Wu *et al.* (2022), berbagai peranan yang dimiliki danau justru menjadikannya rentan terhadap ancaman ekologis yang dipicu oleh aktivitas manusia di wilayah sekitarnya. Karakteristik danau yang relatif tertutup serta memiliki waktu retensi air yang panjang menyebabkan ekosistem ini sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan. Dampak yang ditimbulkan antara lain eutrofikasi, peningkatan sedimentasi, serta pencemaran oleh bahan kimia dan logam yang pada akhirnya mengancam kelangsungan hidup organisme akuatik.

Danau tropis merupakan jenis danau yang berbeda dengan danau di wilayah beriklim sedang karena memiliki karakteristik fisik dan biologis yang unik sekaligus kompleks. Stabilitas suhu yang tinggi sepanjang tahun menyebabkan proses konveksi termal berlangsung lebih lemah dan membentuk stratifikasi yang relatif stabil sehingga pertukaran massa air antara lapisan permukaan dan dasar menjadi terbatas, distribusi oksigen dan nutrisi terhambat, lapisan anoksik mudah terbentuk, serta dinamika biogeokimia, dekomposisi bahan organik, dan distribusi organisme akuatik mengalami perubahan (Pu *et al.*, 2025; Bálint *et al.*, 2024). Suhu yang tinggi dan ketersediaan cahaya juga meningkatkan produktivitas primer yang dapat memperkuat eutrofikasi dan memicu ledakan alga, sehingga danau tropis

semakin rentan terhadap gangguan ekologis (Sajid *et al.*, 2024; Thomson & Willerslev, 2015).

Danau Buyan menjadi salah satu representasi dari karakter dan permasalahan ekologis yang umum terjadi pada danau tropis di Indonesia. Danau Buyan merupakan danau kaldera yang terletak di Desa Pancasari, Kecamatan Sukasada, Kabupaten Buleleng dengan ketinggian 1.200 mdpl dan luas sekitar 490 hektar (Sutomo, 2014). Peran ekologis dan ekonomi yang dimiliki oleh Danau Buyan meningkatkan tekanan antropogenik berupa perubahan penggunaan lahan, pertanian intensif, budidaya perikanan, penggunaan pupuk dan pestisida, serta perkembangan pariwisata dan permukiman yang menyebabkan penurunan kualitas air dan mengubah struktur ekosistem danau (Nugroho *et al.*, 2014; Purnama, 2016; Santari *et al.*, 2020). Hal ini selaras dengan studi yang dilakukan oleh Sudji (2015) yang menyatakan bahwa peningkatan nilai BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) di Danau Buyan menunjukkan penurunan kualitas perairan yang berkaitan dengan pendangkalan dan eutrofikasi akibat masukan nutrien, bahan organik, dan limbah domestik, sehingga danau ini berada pada status mesotrofik dan mengalami degradasi ekologis yang berpotensi mengancam keanekaragaman hayati perairan (Sudji, 2015; BLH Bali, 2018; Nopiantari *et al.*, 2017).

Perubahan ekosistem Danau Buyan tidak hanya dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan aktivitas antropogenik tetapi juga oleh dominasi spesies ikan invasif yang dapat beradaptasi pada lingkungan yang ekstrem. Spesies invasif

ini menjadi salah satu tekanan utama yang berpengaruh pada kondisi perairan di Danau Buyan. Taradhipa *et al.* (2018) mencatat sedikitnya tujuh spesies ikan di Danau Buyan dengan tingkat keanekaragaman sedang, tetapi komposisi komunitasnya didominasi oleh spesies *non-native*, seperti *Oreochromis niloticus*, *Cyprinus carpio*, dan *Xiphophorus helleri*. Hasil tersebut didukung oleh Pertami *et al.* (2020), yang menunjukkan bahwa proporsi ikan *non-native* invasif dua kali lebih tinggi dibandingkan ikan *native*. Dominasi spesies invasif berpotensi menekan populasi ikan *native*, seperti *Rasbora lateristriata* dan *Osteochilus vittat*. Keadaan ini menunjukkan bahwa spesies invasif menjadi perhatian penting pada perairan Danau Buyan karena dominasinya dapat mengindikasikan terjadinya pergeseran struktur komunitas akibat kompetisi sumber daya, predasi, dan potensi hibridisasi antarspesies. Oleh sebab itu, diperlukan metode deteksi dan pemantauan yang efektif untuk mendukung pengelolaan dan pelestarian ekosistem secara berkelanjutan.

Pemantauan dan deteksi spesies ikan khususnya spesies invasif secara konvensional masih seringkali digunakan misalnya, penangkapan langsung, survei visual, atau identifikasi morfologi. Meskipun metode ini telah lama digunakan namun efektivitasnya sering kali terbatas oleh beberapa faktor yaitu populasi spesies yang rendah, perwarnaan kriptik, area yang sulit diakses dan keterbatasan keahlian taksonomi (Bylemans *et al.*, 2019). Keterbatasan tersebut menyebabkan kemampuan deteksi spesies menjadi kurang optimal, khususnya pada tahap awal keberadaannya di suatu perairan.

Akibatnya banyak spesies termasuk spesies invasif baru terdeteksi ketika populasinya telah berkembang pesat sehingga dampaknya terhadap ekosistem menjadi sulit dikendalikan. Berdasarkan hal tersebut diperlukan teknologi untuk mengatasi keterlambatan dalam proses deteksi.

Teknologi *Environmental* DNA (eDNA) menjadi salah satu metode modern dalam proses deteksi spesies ikan. Metode eDNA berkembang sebagai metode biomonitoring yang lebih sensitif, cepat, dan non-invasif (Wu *et al.*, 2022). Teknologi eDNA *metabarcoding* bekerja dengan mendeteksi fragmen DNA yang dilepaskan oleh organisme ke lingkungan air melalui lendir, urin, kulit, atau jaringan tubuh lainnya. Fragmen ini kemudian dianalisis menggunakan sekuensing dengan *throughput* yang tinggi untuk mengidentifikasi berbagai spesies secara simultan dalam satu sampel. Metode ini dalam konteks deteksi spesies invasif terbukti mampu mendeteksi keberadaan organisme dengan populasi yang sangat kecil (Mahon *et al.*, 2022). Potensi besar sebagai sistem deteksi dini (*early warning system*) dimiliki oleh eDNA *metabarcoding*, yang berperan penting dalam pengelolaan serta pencegahan penyebaran spesies invasif di ekosistem air tawar.

Seiring dengan kemajuan teknologi genomik, metode eDNA kini dapat dikombinasikan dengan *Oxford Nanopore Technology* (ONT) yaitu sebuah platform sekuensing generasi terbaru yang memungkinkan pembacaan DNA dalam bentuk *long-read* secara *real-time* dan *portable* (Samarakoon *et al.*, 2025). Dalam penelitian Philip *et al.* (2025) ONT terbukti efisien dalam

mendeteksi variasi genetik dan keanekaragaman mikroba serta organisme akuatik di berbagai lingkungan. Oleh karena itu, penerapan eDNA *metabarcoding* berbasis ONT diharapkan mampu meningkatkan efektivitas deteksi spesies ikan, termasuk spesies invasif, di danau tropis seperti Danau Buyan.

1.2 Rumusan Masalah

1.2.1 Bagaimana tingkat keanekaragaman spesies ikan yang terdapat di Danau Buyan, Bali berdasarkan analisis eDNA?

1.2.2 Apakah metode eDNA *metabarcoding* memiliki kemampuan untuk mendeteksi keberadaan spesies ikan invasif, termasuk potensi kehadiran spesies invasif baru di Danau Buyan, Bali?

1.3 Tujuan

1.3.1 Menganalisis keanekaragaman spesies ikan di Danau Buyan, Bali dengan pendekatan metabarcoding eDNA.

1.3.2 Mendeteksi keberadaan spesies ikan invasif, termasuk potensi kehadiran spesies invasif baru di Danau Buyan, Bali.

1.4 Manfaat

1.4.1 Menyediakan *baseline* data tentang keanekaragaman spesies ikan di Danau Buyan, Bali sebagai acuan untuk kebijakan konservasi dan pengelolaan perairan.

1.4.2 Memberikan informasi awal mengenai spesies invasif potensial di Danau Buyan, Bali sehingga dapat mendukung tindakan mitigasi atau pengendalian oleh pihak pengelolaan lingkungan dan pemerintah daerah.

1.4.3 Mendorong pemanfaatan teknologi eDNA dan *Oxford Nanopore Technology* dalam kegiatan monitoring lingkungan terutama wilayah perairan tropis.