

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Secara geografis, Indonesia merupakan negara maritim dan kepulauan dengan luas perairan dua pertiga dari luas total wilayahnya. Luas wilayah perairan Indonesia mencapai 6.315.222 km² dan luas wilayah daratannya sebesar 1.890.739 km² (Amfa *et al.*, 2017). Indonesia diapit oleh dua samudra, yaitu Samudra Hindia dan Samudra Pasifik sehingga keanekaragaman hayati yang tersedia pun cukup melimpah. Sebagai negara kepulauan dengan tingkat biodiversitasnya yang tinggi, Indonesia menempati peringkat kedua sebagai negara megabiodiversitas setelah Brazil (Soraya *et al.*, 2021). Biodiversitas atau keanekaragaman hayati memegang peranan yang krusial dalam berkontribusi berbagai aspek kehidupan. Biodiversitas berperan sebagai indikator dan media dari proses ekologi serta evolusi spesies. Biodiversitas meliputi kelimpahan spesies dan ekosistem yang kompleks yang mampu memberikan dampak pada komunitas organisme, stabilitas dan dinamika perkembangan ekosistem (Safei *et al.*, 2021).

Suatu sistem ekologi antara makhluk hidup dengan lingkungannya yang memiliki hubungan timbal balik serta tak terpisahkan disebut sebagai ekosistem (Wahyuni & Rosanti, 2016). Ekosistem terbagi menjadi ekosistem alami dan buatan. Ekosistem alami sendiri, terbagi menjadi dua bagian yaitu ekosistem terestrial dan ekosistem akuatik (Ubaidillah *et al.*, 2025). Ekosistem akuatik terbagi menjadi ekosistem air tawar dan ekosistem air laut. Ekosistem

air tawar memainkan peran penting dalam menjaga keanekaragaman hayati, mengatur iklim, membersihkan air, dan mendorong sirkulasi material. Ekosistem air tawar secara umum dibagi menjadi dua, yaitu perairan lentik (perairan tenang) misalnya danau, rawa, waduk dan sebagainya serta perairan lotik (perairan berarus) misalnya sungai (Kono *et al.*, 2021).

Air Terjun Padang Bulia atau yang dikenal oleh masyarakat sebagai Air Terjun Wanaayu, Bali merupakan salah satu contoh ekosistem air tawar di Indonesia. Hilir pada air terjun tersebut merupakan aliran dari hulu air terjun Padang Bulia dengan ketinggian 35 m. Debit air yang deras dan super segar menjadi ciri khas air terjun tersebut karena alirannya berasal dari mata air pegunungan. Air terjun ini dikelilingi oleh semak-semak dan terletak tersembunyi dekat pemukiman warga di Dusun Runuh Kubu, Desa Padang Bulia, Kecamatan Sukasada, Kabupaten Buleleng (Pemerintah Dinas Pariwisata Kabupaten Buleleng, 2025).

Salah satu penyusun keanekaragaman hayati ekosistem air tawar adalah ikan. Ikan air tawar banyak menempati habitat seperti sungai, danau, maupun rawa-rawa (Soraya *et al.*, 2021). Oleh sebab itu, dapat dipahami bila keanekaragaman ikan dapat berbeda dari satu lokasi ke lokasi lain (Syafei, 2017). Pada ekosistem air tawar, ikan menjadi organisme akuatik yang paling sensitif terhadap terjadinya perubahan lingkungan. Terganggunya kualitas air dapat menyebabkan perubahan susunan struktur komunitas ikan (Juriani *et al.*, 2020). Degradasi atau kerusakan pada lingkungan habitat ikan akan membatasi distribusi ikan pada daerah tertentu saja (Harahap *et al.*, 2020). Variasi

keanekaragaman ikan yang berubah dapat menjadi penanda biologis atau bioindikator untuk mendeteksi adanya pencemaran. Tingkat kompleksitas ekosistem perairan dapat dilihat dari keanekaragaman organisme yang hidup di dalamnya. Dengan demikian, sejumlah indeks keanekaragaman diterapkan untuk mengukur keanekaragaman sebagai indikator stabilitas ekosistem (Juriani *et al.*, 2020).

Perairan tawar diperkaya dengan lebih dari 10.000 spesies ikan yang mencakup sekitar 40% komunitas ikan global dan 1/4 populasi vertebrata yang beragam dalam skala global (Sitaram, 2021). Berdasarkan koleksi yang terdapat di Museum Zoologi Bogor, tercatat jumlah jenis ikan air tawar Indonesia mencapai sekitar 1300 jenis dengan jumlah ikan Asia Tenggara yang berada di Indonesia mencapai hampir 44%. Sementara itu, terdapat perbedaan jumlah jenis ikan pada pulau-pulau besar di Indonesia. Sejumlah sekitar 394 jenis ikan dengan jenis endemik (38%) ada di Kalimantan, 272 jenis dengan 30 jenis endemik (11%) berada di Sumatera, dan 52 jenis endemik (76%) berada di Jawa (Soraya *et al.*, 2021). Meskipun begitu, kawasan biologis air tawar kurang mendapat perhatian dibandingkan zona daratan serta informasi mengenai keanekaragaman spesies total di sumber daya air tawar masih terbatas (Sitaram, 2021). Sementara itu, laju kepunahan spesies air tawar lebih tinggi daripada spesies darat dengan lebih dari 5.000 spesies ikan air tawar yang dievaluasi oleh Uni Konservasi Dunia *The International Union Conservation of Nature* (IUCN) sebanyak lebih dari 40% diklasifikasikan sebagai terancam punah (Hitt *et al.*, 2015).

Identifikasi dan inventarisasi jenis ikan menjadi langkah awal dalam pengelolaan dan pelestarian keanekaragaman ikan. Identifikasi sangat penting dilakukan karena keberhasilan pengelolaan sumberdaya dan penelitian-penelitian yang dilakukan di kemudian hari sangat bergantung dari hasil identifikasi yang benar dari suatu spesies (Sitaram, 2021). Identifikasi jenis ikan juga sangat penting dilakukan karena nama lokal sering tidak terdokumentasi dengan baik. Komposisi dan keanekaragaman jenis ikan sangat dipengaruhi berbagai faktor seperti faktor makanan, kondisi fisik-kimia perairan, kompleksitas habitat yang tersedia, perubahan genetik akibat eksploitasi berlebih serta tekanan antropogenik. Selain itu, introduksi spesies asing yang bersifat invasif (SAI) juga menjadi salah satu ancaman utama terhadap keanekaragaman hayati dan ekosistem alam (Saleky *et al.*, 2021). Sejumlah 20 spesies ikan telah ditetapkan oleh Pemerintah Indonesia merupakan spesies yang dilindungi di Indonesia. Melalui gambaran status tersebut, penyelamatan sumber daya ikan perlu dilakukan dengan harapan mampu memberikan manfaat untuk generasi sekarang maupun generasi yang akan datang (Iskandar *et al.*, 2020).

Identifikasi spesies dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan cara pengamatan beberapa karakter atau ciri morfologi terhadap spesies tersebut kemudian dibandingkan dengan ciri-ciri yang ada pada kunci determinasi (Fitrah *et al.*, 2016) ataupun menggunakan identifikasi spesies secara cepat, baik dalam bentuk segar, beku, awetan, maupun spesimen menggunakan metode *DNA-Metabarcoding* (Fietri *et al.*, 2021). Identifikasi spesies

berdasarkan karakter morfologi memiliki banyak keterbatasan karena kemiripan antarspesies yang tinggi serta ciri khas yang seharusnya menjadi penanda dapat hilang akibat penyesuaian terhadap lingkungan (Mahrus dan Syukur, 2020). Salah satu metode analisis DNA *Metabarcoding* yang dapat diperoleh langsung dari lingkungan yang dikenal sebagai eDNA atau *Environmental DNA*. eDNA adalah metode untuk mendeteksi berbagai organisme hidup (prokariotik atau eukariotik) yang meninggalkan jejak DNA mereka melalui sel, kulit, atau bagian tubuh hidup lainnya yang mengandung materi genetik. Jejak DNA ini tertinggal di lingkungan, seperti tanah, air, dan sedimen. eDNA tidak menyebabkan kerusakan lingkungan karena hanya mengambil bahan-bahan lingkungan seperti air tanpa menyentuh organisme yang terdapat di lingkungan tersebut. eDNA juga berpotensi digunakan untuk memberikan identifikasi baru yang sebelumnya tidak terdeteksi melalui sensus visual (Al Malik *et al.*, 2025).

Identifikasi molekuler terbagi ke dalam beberapa generasi di antara lain adalah sekuensing generasi pertama yang meliputi Sanger *Sequencing* dan Maxam-Gilbert, generasi kedua (*Next-Generation Sequencing/Second Generation Sequencing*) terdiri dari platform Illumina, Roche/454 *Sequencing*, *Sequencing by Oligonucleotide Ligation and Detection (SOLiD) System*, *Compact Personal Genome Machine (PGM) Sequencers* (Mandlik *et al.*, 2024). Generasi ketiga (*Third Generation Sequencing*) meliputi SMRT PacBio dan MinION dari *Oxford Nanopore Technologies*. Sekuensing generasi keempat (*Fourth Generation Sequencing*) yang merupakan evolusi dari

generasi ketiga (Satam *et al.*, 2023). Salah satu cara identifikasi molekuler yang populer digunakan yaitu metode TGS atau *Third Generation Sequencing*. Teknologi sekuensing generasi ketiga mewakili kemajuan terbaru dalam sekuensing DNA dengan menawarkan pendekatan baru yang mengatasi keterbatasan generasi sebelumnya. Teknologi ini menyediakan kemampuan sekuensing dengan panjang bacaan yang lebih panjang, memungkinkan sekuensing fragmen DNA yang jauh lebih besar dibandingkan metode sebelumnya, contohnya termasuk PacBio *Sequencing*, yang menggunakan pendekatan *Single Molecular Real Time* (SMRT) dengan nukleotida yang diberi label fluoresensi sehingga memungkinkan sekuensing fragmen DNA dengan panjang hingga puluhan kilobase. Teknologi lain adalah *Oxford Nanopore Sequencing*, yang didasarkan pada teknologi *nanopore*, di mana molekul DNA untai tunggal melewati nanopore, dan perubahan arus listrik diukur untuk menentukan urutan DNA (Satam *et al.*, 2023). Teknologi sekuensing ONT memiliki keunggulan kualitas pembacaan yang tinggi, tingkat kesalahan kecil, biaya lebih rendah, serta adanya kemampuan untuk memberi *barcode* pada urutan DNA memungkinkan sekuensing simultan dari beberapa sampel. Selain itu, platform sekuensing portabel skala penuh dari ONT hanya memerlukan laptop dan koneksi internet (Schacksen *et al.*, 2024).

Identifikasi spesies hewan terutama ikan menggunakan metode *Oxford Nanopore Technologies* (ONT) belum banyak digunakan dibandingkan menggunakan metode molekuler lainnya, seperti metode Sanger ataupun metode NGS. Selain itu, penelitian mengenai identifikasi keanekaragaman

ikan di Sungai Padang Bulia menggunakan metode eDNA belum pernah dilakukan. Dengan demikian, studi identifikasi spesies ikan menggunakan metode *Oxford Nanopore Technologies* (ONT) yang diambil dari sampel air tawar pada Air Terjun Padang Bulia, Bali menjadi suatu kesempatan yang penting dilakukan untuk mengetahui keanekaragaman jenis ikan sebagai penyusun struktur ekologi Air Terjun Padang Bulia.

1.2. Rumusan Masalah

- 1.2.1. Apa saja spesies ikan air tawar yang berhasil diidentifikasi menggunakan metode pendekatan eDNA serta manfaat dan peran dalam ekosistem?
- 1.2.2. Bagaimana nilai keanekaragaman spesies ikan air tawar yang dianalisis menggunakan Indeks Shannon Wiener dan Indeks Keanekaragaman Simpson pada ekosistem Air Terjun Padang Bulia?

1.3. Tujuan

- 1.3.1. Mengetahui jenis spesies ikan air tawar yang berhasil diidentifikasi menggunakan pendekatan eDNA serta manfaat dan peran dalam ekosistem
- 1.3.2. Mengetahui nilai indeks keanekaragaman spesies ikan air tawar yang dianalisis menggunakan Indeks Shannon Wiener dan Indeks Keanekaragaman Simpson pada ekosistem Air Terjun Padang Bulia

1.4. Manfaat Penelitian

- 1.4.1. Bagi Mahasiswa

- a. Mendapatkan wawasan dan pengalaman baru yang didapatkan langsung dari orang yang profesional di bidangnya
- b. Mendapatkan arsip data molekuler jenis ikan yang didapatkan dari hasil analisis sehingga mempermudah untuk penelitian selanjutnya

1.4.2. Bagi Instansi

- a. Memberikan kesempatan bagi mahasiswa untuk belajar dan mengenal lebih luas mengenai Laboratorium Ekologi dan Biosistematika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro serta Laboratorium Diponegoro Biodiversity Project
- b. Menambah arsip data analisis molekuler spesies ikan air tawar di Laboratorium Ekologi dan Biosistematika Fakultas Sains dan Matematika serta Laboratorium Diponegoro Biodiversity Project

1.4.3. Bagi Masyarakat

- a. Berkontribusi untuk menjaga lingkungan, kualitas air, dan penyusun ekosistem melalui edukasi dan kebijakan lingkungan yang tepat
- b. Mendukung ketersediaan sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan.
- c. Meningkatkan pertumbuhan ekonomi di wilayah setempat sebagai tempat pariwisata dan sumber pangan bagi warga sekitar