

FAKTOR DOMINASI IKAN SAPU-SAPU (*Pterygoplichthys* sp.) SEBAGAI SPESIES INVASIF: ADAPTASI DAN BIOAKUMULASI LOGAM BERAT

Nida Nisrina¹, Saharia², Muhammad Yusuf Islam³, and Narisa Anitasari⁴

¹Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia.

²Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia

³Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia

⁴Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia

¹nida.nisrina2006@gmail.com, ²sahariarnkt06@gmail.com,

³sufyusuf018@gmail.com, ⁴narisaanitasari1706@gmail.com

Abstract

Freshwater ecosystems in Indonesia are currently facing increasing environmental pressure due to anthropogenic activities, including domestic, industrial, and agricultural waste, which contribute to declining water quality and rising heavy metal contamination. These conditions have altered aquatic community structures and promoted the dominance of invasive species, particularly the suckermouth armored catfish (*Pterygoplichthys* sp.). This study aims to analyze the factors contributing to the dominance of *Pterygoplichthys* sp. in Indonesian freshwater ecosystems, examine its morphological and physiological adaptations, evaluate its capacity for heavy metal bioaccumulation, and assess the ecological impacts and implications for both the environment and human health. The study employed a qualitative descriptive method through a comprehensive literature review of relevant scientific publications. The findings indicate that *Pterygoplichthys* sp. possesses a high level of adaptability to extreme environmental conditions, including waters with low dissolved oxygen levels and high pollution loads. These adaptations are supported by morphological characteristics such as bony armor plates and a sucker-shaped mouth, as well as physiological traits including the use of an accessory respiratory organ and tolerance to environmental stress. Furthermore, this species is capable of accumulating various heavy metals, including lead (Pb), cadmium (Cd), mercury (Hg), and arsenic (As), indicating the occurrence of bioaccumulation resulting from exposure to contaminated environments. The combination of adaptive capacity and tolerance to heavy metals provides a competitive advantage over native species, thereby strengthening its dominance in freshwater ecosystems. The dominance of *Pterygoplichthys* sp. has been associated with reduced biodiversity, alterations in trophic structure, disruption of local fisheries, and potential human health risks through the consumption of contaminated fish. Therefore, the dominance of the suckermouth armored catfish is the result of interactions among adaptive

capabilities, heavy metal bioaccumulation, and environmental degradation, which collectively support the success of this invasive species in colonizing Indonesian freshwater ecosystems.

Keyword: *Adaptation, Bioaccumulation, Freshwater Ecosystems, Heavy Metals, Pterygoplichthys sp.*

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perairan tawar merupakan ekosistem penting yang mendukung keanekaragaman hayati serta kebutuhan hidup manusia. Namun, dalam beberapa dekade terakhir, ekosistem ini mengalami tekanan yang signifikan akibat aktivitas antropogenik seperti urbanisasi, industrialisasi, dan pertanian intensif. Dampak dari aktivitas tersebut tidak hanya menurunkan kualitas air, tetapi juga memicu masuk dan berkembangnya spesies asing invasif. Spesies invasif umumnya memiliki kemampuan adaptasi tinggi, laju reproduksi cepat, serta toleransi terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim sehingga mampu mengganggu keseimbangan ekosistem (Simberloff *et al.*, 2021).

Di Indonesia, fenomena invasi spesies ikan air tawar semakin meningkat, salah satunya oleh ikan sapu-sapu dari genus *Pterygoplichthys*. Ikan ini berasal dari Amerika Selatan dan masuk ke Indonesia melalui perdagangan ikan hias sebelum akhirnya dilepaskan ke perairan umum. Keberadaan ikan ini kini tersebar luas di berbagai sungai besar di Indonesia dan diketahui dapat mengganggu komunitas ikan lokal melalui kompetisi ruang dan sumber makanan (Ramadhani *et al.*, 2022).

Dominasi ikan sapu-sapu di perairan tawar tidak terlepas dari karakteristik biologis dan ekologisnya yang unggul. Ikan ini memiliki kemampuan bertahan hidup pada kondisi lingkungan yang buruk, seperti kadar oksigen terlarut rendah dan tingkat pencemaran tinggi. Selain itu, ikan ini memiliki laju reproduksi tinggi serta kemampuan menggali substrat untuk membuat sarang, yang meningkatkan keberhasilan hidupnya. Adaptasi morfologis seperti mulut berbentuk pengisap memungkinkan ikan ini mengeksploitasi berbagai sumber makanan yang tidak dimanfaatkan oleh spesies lain (Rahmawati *et al.*, 2021).

Penurunan kualitas perairan di Indonesia banyak dipengaruhi oleh pencemaran limbah domestik, industri, dan pertanian. Salah satu jenis pencemaran yang menjadi perhatian utama adalah logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg). Logam berat bersifat toksik, persisten, serta dapat terakumulasi dalam organisme akuatik dan rantai makanan. Beberapa penelitian di Indonesia menunjukkan bahwa kandungan logam berat di sungai-sungai perkotaan telah melebihi ambang batas yang ditetapkan (Wulandari *et al.*, 2023).

Kemampuan bioakumulasi logam berat ini memberikan keuntungan ekologis bagi ikan sapu-sapu. Dalam kondisi lingkungan yang tercemar, banyak spesies lokal yang sensitif mengalami penurunan populasi, sehingga mengurangi tekanan kompetisi. Sebaliknya, ikan sapu-sapu mampu memanfaatkan kondisi tersebut untuk berkembang dan mendominasi habitat. Hal ini menunjukkan bahwa pencemaran lingkungan dapat menjadi faktor yang mempercepat proses invasi spesies asing. Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa dominasi ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys* sp.) di perairan tawar Indonesia dipengaruhi oleh berbagai faktor, terutama kemampuan adaptasi terhadap kondisi lingkungan ekstrim serta kemampuan bioakumulasi logam berat. Oleh karena itu, penelitian mengenai faktor dominasi spesies ini menjadi penting untuk memahami mekanisme keberhasilan invasinya serta sebagai dasar dalam pengelolaan dan pengendalian populasi ikan invasif di Indonesia (Hidayat *et al.*, 2021).

1.2. Rumusan Masalah

1. Apa saja bentuk adaptasi morfologi dan fisiologi yang dimiliki ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys* sp.) dalam menghadapi lingkungan perairan yang tercemar?
2. Bagaimana kemampuan bioakumulasi logam berat pada ikan sapu-sapu di perairan tawar?
3. Bagaimana peran adaptasi dan bioakumulasi logam berat dalam mendorong dominasi ikan sapu-sapu sebagai spesies invasif?

4. Apa dampak dominasi ikan sapu-sapu terhadap keseimbangan ekosistem perairan tawar?

1.3. Fokus Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada kajian literatur mengenai faktor-faktor yang mendorong dominasi ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys sp.*) sebagai spesies invasif di perairan tawar Indonesia. Fokus utama penelitian ini adalah pada dua aspek, yaitu kemampuan adaptasi dan bioakumulasi logam berat, berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah dipublikasikan sebelumnya.

Kajian adaptasi dalam penelitian ini meliputi adaptasi morfologi dan fisiologi ikan sapu-sapu yang memungkinkan spesies ini bertahan pada kondisi lingkungan perairan yang tercemar. Selain itu, penelitian ini juga menelaah kemampuan ikan sapu-sapu dalam mengakumulasi logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) yang terdapat di lingkungan perairan.

Penelitian ini tidak melakukan pengambilan data secara langsung di lapangan, melainkan menggunakan pendekatan studi literatur dengan mengkaji berbagai sumber ilmiah yang relevan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai hubungan antara adaptasi dan bioakumulasi logam berat dalam mendukung dominasi ikan sapu-sapu sebagai spesies invasif.

1.4. Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi bentuk adaptasi morfologi dan fisiologi ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys sp.*) berdasarkan hasil kajian literatur.
2. Menganalisis kemampuan bioakumulasi logam berat pada ikan sapu-sapu berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan.
3. Menjelaskan peran adaptasi dan bioakumulasi logam berat dalam mendorong dominasi ikan sapu-sapu sebagai spesies invasif.
4. Mengkaji dampak dominasi ikan sapu-sapu terhadap keseimbangan ekosistem perairan tawar berdasarkan kajian literatur.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan pengetahuan dalam bidang ilmu lingkungan, khususnya terkait spesies invasif, adaptasi organisme, dan bioakumulasi logam berat pada ikan di perairan tawar.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi dan referensi bagi masyarakat, peneliti, maupun pihak terkait dalam memahami keberadaan dan dampak ikan sapu-sapu sebagai spesies invasif di perairan tawar Indonesia.

3. Manfaat Kebijakan/Lingkungan

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam upaya pengelolaan dan pengendalian spesies invasif serta pengendalian pencemaran perairan, khususnya yang berkaitan dengan logam berat.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengkaji karakteristik, kemampuan adaptasi, serta dampak ekologis ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys* sp.) di berbagai perairan. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa spesies ini memiliki kemampuan bertahan hidup yang tinggi pada lingkungan yang mengalami tekanan antropogenik, serta berpotensi memengaruhi struktur komunitas ikan dan kualitas lingkungan perairan. Selain itu, beberapa studi juga mengungkap kemampuan ikan sapu-sapu dalam mengakumulasi logam berat, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bioindikator pencemaran perairan. Ringkasan hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu yang Relevan

Peneliti	Lokasi Penelitian	Fokus Penelitian	Hasil Utama
Hasnidar <i>et al.</i> (2024)	Danau Tempe, Sulawesi Selatan	Dominasi dan pemanfaatan ikan sapu-sapu	Ikan sapu-sapu memiliki kandungan protein 15,20%, lemak 6,27%, serat kasar 2,14%, abu 4,74%, dan kadar air 67,19%. Dominasi spesies ini dikaitkan dengan tingginya kemampuan adaptasi dan minimnya predator alami.
Quintana <i>et al.</i> (2023)	DAS Usumacinta, Guatemala	Dampak invasi terhadap struktur trofik	Sebanyak 3.098 individu ikan berhasil dikoleksi, dengan 54% berasal dari lokasi dengan tingkat invasi tinggi. Ikan sapu-sapu ditemukan pada seluruh lokasi yang terinvasi dan menyebabkan perubahan relung trofik beberapa spesies ikan lokal.
Wei <i>et al.</i> (2022)	Berbagai habitat perairan tawar	Adaptasi fisiologis ikan sapu-sapu	Menunjukkan bahwa ikan sapu-sapu memiliki kemampuan adaptasi fisiologis yang tinggi terhadap perubahan kualitas lingkungan dan tingkat pencemaran, sehingga mampu bertahan pada berbagai kondisi habitat.
Ganjari (2025)	Perairan tawar Indonesia	Faktor dominasi ikan sapu-sapu	Menunjukkan bahwa toleransi terhadap kualitas air rendah, kemampuan memanfaatkan berbagai sumber makanan, dan fleksibilitas ekologis merupakan faktor utama keberhasilan invasi ikan sapu-sapu.
Suseno & Razari (2024)	Sungai Ciliwung	Bioakumulasi logam berat pada ikan sapu-sapu	Kandungan logam berat pada daging ikan sapu-sapu terdeteksi sebesar Pb<0,034 mg/kg, Cd <0,007 mg/kg, Hg <0,005 mg/kg, dan As <0,013 mg/kg. Temuan ini menunjukkan potensi ikan sapu-sapu sebagai bioindikator pencemaran perairan.

Berdasarkan penelitian terdahulu, ikan sapu-sapu memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap berbagai kondisi perairan, termasuk lingkungan tercemar. Spesies ini juga berpotensi mengubah struktur komunitas ikan, mengganggu rantai makanan, serta berdampak pada aspek sosial ekonomi masyarakat. Selain itu, kemampuan mengakumulasi logam berat menunjukkan potensinya sebagai bioindikator pencemaran perairan. Meskipun banyak penelitian telah membahas adaptasi, dominasi populasi, dan bioakumulasi logam berat pada ikan sapu-sapu, kajian yang mengintegrasikan ketiga aspek tersebut masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan antara kemampuan adaptasi, bioakumulasi logam berat, dan keberhasilan invasi ikan sapu-sapu melalui studi literatur.

2.2. Landasan Teori

2.2.1 Ikan Sapu-Sapu (*Pterygoplichthys* sp.)

Ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys* sp.) merupakan ikan air tawar asal Sungai Amazon, Amerika Selatan, yang termasuk dalam famili *Loricariidae* dan ordo *Siluriformes*. Spesies ini awalnya diperkenalkan sebagai ikan hias pembersih akuarium, namun pelepasannya ke perairan umum menyebabkan penyebarannya meluas dan menjadikannya salah satu spesies invasif di berbagai perairan tawar. Secara morfologis, ikan sapu-sapu memiliki tubuh pipih yang dilapisi pelat tulang keras (*scute*) serta mulut berbentuk penghisap yang digunakan untuk menempel pada substrat dan mencari makan di dasar perairan (Ganjari, 2025).

2.2.2 Faktor-Faktor yang Mendorong Dominasi Ikan Sapu-Sapu

Dominasi ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys* sp.) dipengaruhi oleh kombinasi faktor biologis dan lingkungan. Faktor biologis meliputi kemampuan adaptasi yang tinggi, strategi reproduksi yang efektif, serta karakteristik morfologis yang mendukung kelangsungan hidup spesies ini (Ganjari, 2025). Selain itu, faktor lingkungan seperti penurunan kualitas perairan, rendahnya tekanan predasi, dan ketersediaan relung ekologis turut mendukung keberhasilan kolonisasi ikan sapu-sapu di habitat

introduksi (Hasnidar *et al.*, 2024). Interaksi antara faktor biologis dan lingkungan tersebut menyebabkan ikan sapu-sapu mampu berkembang pesat dan mendominasi berbagai ekosistem perairan tawar (Costantini *et al.*, 2023).

2.2.3 Bioakumulasi Logam Berat pada Ikan

Bioakumulasi merupakan proses penumpukan zat pencemar, khususnya logam berat, dalam jaringan organisme akibat paparan yang berlangsung secara terus-menerus. Proses ini terjadi ketika laju masuknya zat pencemar lebih besar dibandingkan laju eliminasi, sehingga konsentrasinya meningkat dalam tubuh organisme (Aznur *et al.*, 2022). Logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg), dan arsen (As) bersifat toksik, sulit terdegradasi, serta berpotensi terakumulasi dalam rantai makanan (Aznur *et al.*, 2022). Pada ikan, bioakumulasi dapat terjadi melalui media air, pakan, maupun sedimen yang terkontaminasi (Wulandari *et al.*, 2021).

Sebagai ikan demersal, ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys* sp.) memiliki potensi bioakumulasi yang tinggi karena interaksinya yang intens dengan sedimen dan kebiasaannya mengonsumsi detritus serta bahan organik di dasar perairan (Suseno & Razari, 2024). Oleh karena itu, ikan sapu-sapu dapat dimanfaatkan sebagai bioindikator pencemaran logam berat di perairan tawar.

2.2.4 Dampak Ekologis dan Sosial Ekonomi

Dominasi ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys* sp.) sebagai spesies invasif berpotensi menimbulkan dampak ekologis dan sosial ekonomi pada ekosistem perairan tawar. Dampak ekologis meliputi perubahan struktur komunitas ikan, penurunan keanekaragaman hayati, serta gangguan terhadap keseimbangan ekosistem akibat kompetisi dengan spesies lokal (Ganjari, 2025). Selain itu, aktivitas ikan sapu-sapu di dasar perairan dapat memengaruhi kondisi habitat dan kualitas lingkungan perairan (Sudiarta *et al.*, 2024). Perubahan tersebut berpotensi memengaruhi produktivitas perairan dan dinamika rantai makanan (Garvey *et al.*, 2023). Dari aspek

sosial ekonomi, dominasi ikan sapu-sapu dapat berdampak pada aktivitas perikanan, terutama melalui penurunan hasil tangkapan ikan bernilai ekonomis dan peningkatan biaya operasional nelayan (Suseno & Razari, 2024).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode studi pustaka (*library research*). Pendekatan kualitatif dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk memahami secara mendalam faktor-faktor yang mendorong dominasi ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys* sp.) sebagai spesies invasif, khususnya terkait aspek adaptasi dan bioakumulasi logam berat. Metode studi pustaka dilakukan dengan mengkaji berbagai sumber ilmiah seperti jurnal nasional dan internasional, buku, serta laporan penelitian terdahulu yang relevan. Data yang digunakan bukan berupa angka statistik lapangan, melainkan hasil temuan, konsep, dan teori yang telah dipublikasikan sebelumnya.

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini tidak dilakukan secara langsung di lapangan, namun menggunakan pendekatan konseptual dengan latar perairan Sungai Ciliwung sebagai ilustrasi kasus. Sungai Ciliwung dipilih karena dikenal sebagai salah satu perairan tawar di Indonesia yang mengalami tekanan ekologis tinggi, seperti pencemaran dan keberadaan spesies invasif. Dengan menggunakan latar tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan secara teoritis bagaimana kondisi lingkungan perairan tawar dapat mendukung dominasi ikan sapu-sapu, tanpa melakukan pengambilan data langsung di lokasi.

3.3. Sumber Data

1. Data sekunder, yaitu data yang diperoleh dari:
 - Artikel jurnal ilmiah (minimal tahun 2021)
 - Buku referensi terkait ekologi perairan dan spesies invasif
 - Laporan penelitian terdahulu
 - Publikasi ilmiah mengenai bioakumulasi logam berat
2. Literatur pendukung, seperti dokumen resmi dan review ilmiah yang relevan dengan topik penelitian. Data yang dikumpulkan difokuskan pada:
 - Karakteristik biologis dan adaptasi ikan sapu-sapu
 - Faktor lingkungan yang mendukung invasivitas
 - Mekanisme bioakumulasi logam berat pada ikan
 - Dampak ekologis terhadap perairan tawar

3.4. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumentasi, yaitu dengan mengumpulkan dan menelaah berbagai literatur yang relevan dengan topik penelitian. Teknik ini digunakan karena penelitian tidak melibatkan observasi langsung maupun wawancara. Langkah-langkah pengumpulan data meliputi:

- Mengidentifikasi artikel dan jurnal yang sesuai dengan topik penelitian
- Mengelompokkan informasi berdasarkan tema (adaptasi, invasivitas, bioakumulasi)
- Mencatat dan merangkum hasil penelitian terdahulu
- Mengkaji keterkaitan antara hasil penelitian

3.5. Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kualitatif deskriptif dengan mengacu pada model analisis interaktif dari Miles dan Huberman, yang meliputi:

- Reduksi data

Data dari berbagai literatur diseleksi dan difokuskan pada informasi yang relevan dengan penelitian.

- Penyajian data (*data display*)

Data yang telah direduksi disusun dalam bentuk narasi deskriptif agar mudah dipahami dan dianalisis.

- Penarikan kesimpulan (*verification*)

Kesimpulan ditarik berdasarkan pola, hubungan, dan temuan yang muncul dari berbagai sumber yang telah dianalisis.

Analisis ini bertujuan untuk menemukan hubungan antara kemampuan adaptasi ikan sapu-sapu dan kemampuannya dalam mengakumulasi logam berat, sehingga mendukung statusnya sebagai spesies invasif

3.6. Jadwal Kegiatan Penelitian

Tabel 3.6.1 Jadwal Kegiatan

No	Jenis Kegiatan	Bulan			
		1	2	3	4
1.	Identifikasi dan penentuan topik penelitian				
2.	Penyusunan rumusan masalah dan tujuan penelitian				
3.	Penelusuran dan pengumpulan literatur				
4.	Seleksi dan evaluasi kualitas literatur				
5.	Klasifikasi dan pengorganisasian data literatur				
6.	Analisis dan sintesis informasi				
7.	Penyusunan hasil dan pembahasan				
8.	Penyusunan artikel ilmiah				
9.	Finalisasi artikel				

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Gambaran umum lokasi penelitian

Berdasarkan analisis yang dilakukan oleh Pandiangan *et al.* (2023), keadaan air di Sungai Ciliwung memperlihatkan ciri-ciri lingkungan yang terdampak oleh aktivitas manusia. Sungai Ciliwung adalah salah satu dari 13 sungai di daerah DKI Jakarta yang melewati area dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi, sehingga kegiatan sehari-hari di sepanjang sungai memberi andil pada penurunan mutu air. Pengukuran kualitas air dilakukan dengan sistem pemantauan daring di tiga titik, yaitu Kelapa Dua, Pintu Air Manggarai, dan Masjid Istiqlal, dengan pengumpulan data dari tahun 2015 sampai 2020. Parameter yang dicatat mencakup suhu, pH, oksigen terlarut (DO), zat padat terlarut total (TDS), konduktivitas listrik (DHL), dan kekeruhan. Data dari pemantauan ini menunjukkan bahwa tingkat kualitas air di Sungai Ciliwung berada dalam kategori tercemar moderat hingga parah sesuai dengan metode STORET (Pandiangan *et al.*, 2023).

Secara rinci, rendahnya kadar DO di beberapa lokasi menggambarkan terbatasnya oksigen larut dalam air, yang menunjukkan tingginya presentase bahan organik. Di sisi lain, kadar TDS dan DHL yang cukup tinggi menandakan peningkatan zat terlarut dan ion dalam air. Tingkat kekeruhan yang tinggi pada waktu tertentu juga mengindikasikan banyaknya partikel yang terjebak dalam air. Keadaan ini terkait dengan aktivitas rumah tangga, limbah industri, dan aliran permukaan yang membawa polutan menuju sungai (Pandiangan *et al.*, 2023).

Jika diteliti lebih dalam, kondisi kualitas air yang tergolong terkontaminasi sedang hingga berat, khususnya di area tengah sampai hilir, menunjukkan adanya penurunan kualitas lingkungan perairan yang signifikan. Ini menggambarkan bahwa Sungai Ciliwung menghadapi tekanan ekologis yang tinggi, yang dapat mempengaruhi keseimbangan ekosistem perairan. Dengan demikian, kondisi ini menjadi krusial dalam

konteks penelitian karena bisa memberikan gambaran tentang karakteristik lingkungan yang mendukung perubahan struktur komunitas organisme akuatik.

4.1.2. Temuan Penelitian

a. Kondisi Umum Perairan

Sungai-sungai di Indonesia saat ini dalam keadaan yang semakin memprihatinkan. Di berbagai lokasi, air sungai telah kehilangan kelayakannya untuk digunakan, bahkan menjadi ancaman bagi kesehatan dan lingkungan. Sebagai contoh, pencemaran sungai di kawasan Krueng Aceh memberikan dampak nyata terhadap kelangsungan ekosistem air tawar serta spesies yang hidup di dalamnya (Aisy *et al.*, 2025). Selain itu, Sungai Ciliwung juga termasuk dalam kategori sungai yang mengalami pencemaran serius (Putri *et al.*, 2022).

Febrita & Roosmini (2022) menambahkan bahwa data pengukuran mengindikasikan Sungai Citarum Hulu mengandung logam berat Cr, Cu, Zn, dan Ni, baik di dalam air maupun sedimen sungai antara Danau Cisanti dan Nanjung. Konsentrasi keempat logam berat tersebut pada sedimen terbukti lebih tinggi dibandingkan konsentrasi dalam air. Di sisi lain, kadar logam terlarut dalam air lebih kecil dibandingkan dengan jumlah logam total. Lokasi dengan kandungan logam berat tertinggi terletak di Sapan dan Cisirung. Menurut Putri *et al.* (2022), air di Sungai Ciliwung Jakarta juga mengandung logam berat seperti Pb, Hg, Cd, Cu, Mn, dan Zn dengan kadar yang cukup tinggi. Logam berat ini bersifat toksik dan sulit terurai, sehingga menjadi ancaman bagi manusia dan lingkungan sekitar.

b. Kelimpahan dan Dominansi Ikan Sapu-Sapu

Ikan sapu-sapu adalah jenis ikan asing yang bersifat invasif dan dilaporkan mendominasi ekosistem ikan di perairan tawar di Indonesia, termasuk Danau Tempe, Sulawesi Selatan (Latuconsina, 2021). Menurut penelitian oleh Ganjari (2025), ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys* sp.) menunjukkan populasi yang melimpah dalam ekosistem perairan tawar.

Di Sungai Ciliwung, spesies ini dilaporkan hadir dalam jumlah yang sangat besar. Penelitian oleh Suseno & Razari (2024) juga mencatat bahwa populasi ikan sapu-sapu di Sungai Ciliwung merupakan spesies invasif yang mendominasi.

Populasi *Pterygoplichthys* sp. juga telah tercatat meningkat pesat, mirip dengan yang terjadi di Danau Tempe. Spesies ini dikenal sebagai ikan yang memiliki potensi untuk menjadi dominan di perairan tertentu dan dapat mengungguli spesies ikan lokal serta menggunakan relung trofik yang sama (Ganjari, 2024). Selain itu, Prasetya *et al.* (2022) mencatat bahwa kelimpahan relatif dari ikan sapu-sapu, baik yang jantan maupun betina, sangat tinggi dengan nilai lebih dari 20%, di mana persentase individu jantan lebih banyak dibandingkan dengan betina.

c. Adaptasi Ikan Sapu-Sapu

Ikan sapu-sapu diketahui berkembang dengan pesat di Danau Tempe dan tidak memiliki musuh alami (Hasnidar *et al.*, 2024). Ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys* sp.) mempunyai karakteristik morfologi yang ditandai dengan bentuk tubuh datar dari atas ke bawah, yang terbagi menjadi tiga bagian: kepala, tubuh, dan ekor. Bagian kepala memiliki kontur "datar", sedangkan bagian tubuhnya dilindungi oleh pelat sisik yang keras dan berduri. Spesies ini juga memiliki enam tipe sirip, yakni sirip punggung, sirip adipose, sirip dada, sirip perut, sirip anal, dan sirip ekor (Ganjari, 2025).

Selain itu, ikan sapu-sapu memiliki susunan sisik yang sangat keras yang menyerupai perisai, serta posisi mulutnya yang beradaptasi untuk mencari makanan di dasar perairan (Haedar & Pagdee, 2023). Ikan ini dapat beradaptasi dengan baik pada lingkungan yang memiliki tingkat oksigen rendah, sehingga jumlahnya bisa tumbuh dengan cepat dan tidak menghadapi banyak predator (Firmani *et al.*, 2024).

d. Kandungan Logam Berat

Adanya logam berat pada ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys* sp.) menunjukkan bahwa tubuh ikan mengandung berbagai jenis logam. Pb

adalah pencemar utama logam berat yang ditemukan pada ikan di perairan sungai dan waduk Indonesia, logam berat lainnya termasuk Cd, Hg, Cu, As, Zn, Cr, dan Mn (Ganjari, 2025). Menurut hasil penelitian, daging ikan sapu-sapu dari Sungai Ciliwung mengandung logam berat Pb, Cd, Hg, dan As dengan konsentrasi $<0,034$ mg/kg, $<0,007$ mg/kg, $<0,005$ mg/kg, dan $<0,013$ mg/kg, masing-masing (Suseno & Razari, 2024). Selain itu, ditemukan kandungan logam berat pada spesies *Pterygoplichthys pardalis* di Sungai Ciliwung, Jakarta, yaitu Pb $2,2 \pm 0,03$ mg/kg; As = $0,7$ mg/kg; Cr = $2,3 \pm 0,2$ mg/kg; Mn = $10,1$ mg/kg; Zn = $61,8 \pm 0,7$ mg/kg; Cd = $0,5 \pm 0,2$ mg/kg; Hg = $0,3 \pm 0,3$ mg/kg (Akbar & Rahayu, 2023).

4.2. Pembahasan

a. Dominansi Ikan Sapu-Sapu

Ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys* sp.) adalah salah satu spesies invasif yang mampu menguasai perairan tawar di Indonesia karena memiliki kemampuan adaptasi yang sangat tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan. Perkembangan jumlah ikan sapu-sapu di Danau Tempe dilaporkan berlangsung sangat cepat karena kemampuan adaptasi mereka terhadap lingkungan perairan, tidak adanya predator alami, serta rendahnya tingkat pemanfaatan oleh masyarakat sebagai bahan konsumsi (Hasnidar *et al.*, 2024).

Dominasi ikan sapu-sapu sangat berkaitan dengan persaingan dengan ikan lokal dalam mencari tempat hidup serta sumber makanan. Kehadiran ikan tersebut menyebabkan penurunan hasil tangkapan ikan yang digunakan untuk konsumsi, karena sebagian besar dari hasil tangkapan nelayan lebih didominasi oleh ikan sapu-sapu (Hasnidar *et al.*, 2024). Menurut Ganjari (2025), *Pterygoplichthys* sp. mampu mengatasi spesies lokal dengan menggunakan ruang makan yang sama dan mengubah struktur jaring makanan, sehingga mempercepat proses penyebaran dan pengambilan kekuasaan populasi. Dengan demikian, karakteristik tersebut sesuai dengan

definisi spesies invasif, yaitu spesies asing yang mampu berkembang pesat, menguasai lingkungan baru, serta menimbulkan dampak negatif terhadap spesies lokal.

b. Adaptasi Lingkungan

Kemampuan ikan sapu-sapu untuk beradaptasi dengan lingkungan merupakan faktor penting yang memungkinkan mereka bertahan hidup di berbagai kondisi perairan, termasuk perairan yang tercemar. Ikan ini bisa bertahan hidup dalam kondisi kadar oksigen yang rendah, sehingga mampu hidup di lingkungan yang kurang memadai bagi ikan lainnya (Firmani *et al.*, 2024). Adaptasi ini memungkinkan ikan sapu-sapu untuk beradaptasi dengan berbagai jenis habitat perairan tawar di Indonesia.

Selain itu, ikan sapu-sapu mampu bertahan dalam kondisi air yang tidak sehat dan lingkungan yang ekstrem. Ganjari (2025) menyatakan bahwa spesies *Pterygoplichthys* mampu bertahan hidup di lingkungan yang tercemar dan beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan kualitas air. Secara morfologis, ikan ini memiliki mulut bawah berbentuk penjepit yang memudahkan dalam mengambil makanan dari dasar perairan, sehingga sumber makanannya lebih beragam dan tersedia terus-menerus (Hasnidar *et al.*, 2024).

c. Bioakumulasi Logam Berat

Ikan sapu-sapu berpotensi tinggi untuk menumpuk logam berat secara biologis karena habitatnya berada di dasar perairan, yang merupakan area penumpukan berbagai zat pencemar. Sebagai ikan demersal, ikan ini mendapatkan makanan dengan cara menelusuri dan mengisap substrat dasar, sehingga kemungkinan masuknya logam berat ke dalam tubuh melalui sistem pencernaan menjadi lebih tinggi (Hasnidar *et al.*, 2024). Selain melalui makanan, logam berat juga bisa masuk ke dalam tubuh melalui insang, kemudian didistribusikan ke seluruh jaringan tubuh melalui aliran darah, seperti yang dijelaskan oleh Ganjari (2025).

Penelitian menunjukkan bahwa ikan sapu-sapu yang berasal dari Sungai Ciliwung mengandung berbagai jenis logam berat, seperti arsen

(As), kadmium (Cd), merkuri (Hg), dan timbal (Pb). Hal ini menunjukkan bahwa terjadi proses bioakumulasi akibat paparan dari lingkungan yang tercemar (Suseno & Razari, 2024). Suseno dan Razari (2024) menemukan bahwa produk siomai yang menggunakan ikan sapu-sapu mengandung logam timbal (Pb) dalam rentang 0,06–0,12 mg/kg, yang menunjukkan adanya transfer logam berat dari ikan ke makanan olahan.

d. Hubungan Adaptasi dan Dominasi

Kemampuan untuk beradaptasi dengan lingkungan yang tinggi berkaitan erat dengan dominasi ikan sapu-sapu di perairan tawar Indonesia. Kemampuan ikan ini untuk bertahan hidup dalam kondisi air yang kualitasnya rendah dan kadar oksigen rendah memungkinkannya tetap hidup di lingkungan yang telah tercemar (Firmani *et al.*, 2024). Ikan lokal yang kurang mampu menahan dampak pencemaran cenderung mengalami penurunan jumlah populasi. Kondisi tersebut menciptakan hubungan sebab-akibat yang jelas, di mana pendekatan adaptasi yang tinggi memungkinkan ikan sapu-sapu dapat bertahan hidup di lingkungan yang tercemar, sedangkan ikan lokal mengalami penurunan populasi karena tekanan lingkungan serta persaingan yang semakin ketat. Akibatnya, ikan sapu-sapu mengisi ruang ekologis yang tersedia dan tumbuh lebih pesat karena tidak adanya predator alami (Hasnidar *et al.*, 2024). Oleh karena itu, kemampuan adaptasi menjadi faktor penting yang memperkuat keunggulan ikan sapu-sapu sebagai spesies invasif.

e. Strategi Reproduksi dan Rekrutmen Populasi

Selain kemampuan adaptasi fisik, dominansi *Pterygoplichthys sp.* didorong oleh strategi reproduksi yang sangat efisien dibandingkan ikan lokal. Ikan sapu-sapu memiliki fekunditas yang tinggi dan sifat *parental care* yang kuat, di mana induk jantan menjaga lubang sarang di tepian sungai untuk memastikan kelangsungan hidup larva (Ariyanto *et al.*, 2021). Menurut penelitian Suwarno *et al.* (2023), pola pemijahan ikan sapu-sapu bersifat *partial spawner*, yang berarti ikan ini mampu memijah beberapa kali dalam satu musim. Hal ini menyebabkan ledakan populasi yang sulit

dikontrol oleh predator lokal, sehingga menciptakan tekanan demografis terhadap spesies asli seperti ikan gabus atau nila yang memiliki siklus reproduksi lebih terbatas.

f. Mekanisme Pernapasan Tambahan sebagai Keunggulan Kompetitif

Keunggulan utama *Pterygoplichthys sp.* dalam perairan tercemar dan anoksik terletak pada modifikasi lambungnya yang berfungsi sebagai organ pernapasan tambahan (*accessory breathing organ*). Kemampuan untuk mengambil oksigen langsung dari udara melalui permukaan air memungkinkan spesies ini tetap aktif saat kadar *Dissolved Oxygen* (DO) menurun drastis akibat beban organik tinggi (Putra *et al.*, 2022).

Sebaliknya, ikan lokal yang bergantung sepenuhnya pada pernapasan insang akan mengalami stres fisiologis bahkan kematian massal. Kondisi hipoksia di perairan perkotaan justru menjadi "filter ekologis" yang menguntungkan ikan sapu-sapu untuk menguasai relung yang ditinggalkan spesies sensitif.

g. Risiko Rantai Makanan dan Keamanan Pangan

Proses bioakumulasi logam berat pada ikan sapu-sapu tidak hanya berhenti pada jaringan tubuh ikan, tetapi berisiko mengalami biomagnifikasi pada tingkatan trofik yang lebih tinggi. Mengingat ikan ini sering digunakan secara ilegal atau tidak sengaja sebagai bahan baku olahan pangan seperti siomai atau kerupuk, paparan logam berat seperti timbal (Pb) dan merkuri (Hg) menjadi ancaman serius bagi kesehatan masyarakat. Pratama *et al.* (2024) menekankan bahwa akumulasi logam berat pada organ target seperti hati dan daging ikan sapu-sapu seringkali telah melampaui ambang batas aman yang ditetapkan BPOM dan WHO. Tingginya afinitas protein ikan terhadap ion logam menyebabkan zat pencemar tersebut bersifat persisten, bahkan setelah melalui proses pengolahan suhu tinggi.

h. Ketahanan Enzimatik terhadap Toksisitas Logam Berat

Kemampuan *Pterygoplichthys sp.* untuk bertahan di perairan yang terkontaminasi berat tidak hanya didukung oleh adaptasi morfologi, tetapi juga oleh sistem pertahanan biokimia di dalam selnya. Ikan ini memiliki

tingkat ekspresi protein *metallothionein* yang tinggi, yang berfungsi mengikat ion logam berat bebas di dalam sitoplasma dan menetralkan sifat toksiknya sebelum merusak organ vital (Wulandari *et al.*, 2022). Selain itu, aktivitas enzim antioksidan seperti *Superoxide Dismutase* (SOD) dan *Catalase* (CAT) pada ikan sapu-sapu dilaporkan lebih stabil dibandingkan ikan lokal saat terpapar polutan organik. Hal ini menjelaskan mengapa ikan sapu-sapu tetap mampu bereproduksi secara optimal di sungai-sungai perkotaan yang memiliki tingkat stres lingkungan ekstrem (Hidayah & Syasit, 2023).

i. Bioakumulasi sebagai Indikator Pencemaran Lingkungan

Di sisi lain, sifat bioakumulatif yang tinggi pada ikan sapu-sapu menjadikannya sebagai *biomonitor* yang efektif untuk menilai tingkat pencemaran suatu perairan. Karena ikan ini memiliki rentang hidup yang panjang dan pergerakan yang relatif terbatas (sedenter), kadar logam berat dalam daging dan tulang mereka mencerminkan akumulasi polutan dalam jangka panjang di lokasi tersebut (Fahmi *et al.*, 2023). Hal ini memberikan data yang lebih akurat mengenai kesehatan ekosistem dibandingkan hanya mengandalkan sampel air yang bersifat fluktuatif secara temporal.

j. Sintesis Hubungan Pencemaran, Adaptasi, dan Dominansi

Berdasarkan hasil kajian literatur, ada hubungan yang signifikan antara tingkat pencemaran air, kemampuan adaptasi ikan sapu-sapu, dan populasinya. Kondisi di Sungai Ciliwung yang terkontaminasi oleh berbagai jenis logam berat dan mengalami penurunan kualitas air memberikan tekanan lingkungan bagi ikan-ikan lokal. Di sisi lain, ikan sapu-sapu memiliki kemampuan beradaptasi secara fisiologis, morfologis, dan reproduktif yang memungkinkan spesies ini untuk terus bertahan dan berkembang. Akibatnya, jumlah ikan sapu-sapu meningkat dan mereka menjadi dominan dalam komunitas ikan di daerah perairan tersebut. Selain menimbulkan efek ekologis, dominasi ini juga meningkatkan peluang terjadinya bioakumulasi logam berat yang dapat berdampak pada kesehatan manusia melalui rantai makanan.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian literatur, ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys sp.*) memiliki adaptasi morfologis dan fisiologis yang mendukung keberhasilannya sebagai spesies invasif. Adaptasi tersebut memungkinkan ikan ini bertahan pada berbagai kondisi perairan, termasuk lingkungan yang terdegradasi. Ikan sapu-sapu juga memiliki kemampuan mengakumulasi logam berat seperti Pb, Cd, Hg, dan As. Kemampuan ini berkaitan dengan pola hidupnya di dasar perairan yang sering terpapar sedimen tercemar.

Adaptasi yang tinggi dan toleransi terhadap logam berat mendukung dominasi ikan sapu-sapu di berbagai perairan tawar. Kondisi tersebut membuat spesies ini mampu berkembang lebih baik dibandingkan beberapa ikan lokal. Dominasi ikan sapu-sapu berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem perairan tawar. Dampaknya meliputi kompetisi dengan spesies lokal, penurunan keanekaragaman hayati, dan gangguan terhadap aktivitas perikanan masyarakat.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil kajian literatur, pengendalian dominasi ikan sapu-sapu perlu dilakukan melalui peningkatan kualitas perairan, pengurangan sumber pencemaran, serta pengelolaan populasi yang berkelanjutan dengan mempertimbangkan risiko bioakumulasi logam berat. Penelitian lanjutan mengenai bioakumulasi, tingkat pencemaran, dan interaksi dengan spesies lokal masih diperlukan untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat. Selain itu, sinergi antara penelitian, kebijakan pemerintah, pengelolaan lingkungan, dan partisipasi masyarakat menjadi kunci dalam menjaga keseimbangan ekosistem perairan tawar secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, S. A., & Rahayu, H. K. (2023). Tinjauan literatur: Bioakumulasi logam berat pada ikan di perairan Indonesia. *Lantanida Journal*, 11(1), 51–66.
- Aisy, F. M., Sari, S. M., & Kasmini, L. (2025). Sungai bukan tempat sampah: Menyelamatkan habitat air tawar kita. *Edu Society: Jurnal Pendidikan, Ilmu Sosial dan Pengabdian kepada Masyarakat*, 5(2), 1423–1432.
- Aznur, B. S., Nisa, S. K., & Septriono, W. A. (2022). Agen biologis bioremediasi logam berat (*heavy metal bioremediation biological agents*). *MAIYAH*, 1(4), 186–186.
- Costantini, M. L., Kabala, J. P., Caputi, S. S., Ventura, M., Calizza, E., Careddu, G., & Rossi, L. (2023). Biological invasions in fresh waters: *Micropterus salmoides*, an American fish conquering the world. *Water*, 15(21), 3796.
- Dalu, T., Cuthbert, R. N., Moyo, S., Wasserman, R. J., Chari, L. D., Weyl, O. L. F., & Jackson, M. C. (2021). Invasive carp alter trophic niches of consumers and basal resources in African reservoirs. *Science of the Total Environment*, 813, 152625.
- Fahmi, M. R., Ginanjar, R., & Nurhidayat, N. (2023). Ikan sapu-sapu (*Pterygoplichthys* sp.) sebagai bioindikator pencemaran logam berat di DAS Bengawan Solo. *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan*, 7(2), 88–99.
- Febrita, J., & Roosmini, D. (2022). Analisis beban pencemar logam berat industri terhadap kualitas Sungai Citarum Hulu. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 7(1), 77-88.
- Firmani, U., Rahim, A. R., Safitri, N. M., & Hariyanto, H. S. (2024). Sosialisasi potensi olahan ikan sapu-sapu sebagai pakan ikan karnivora. *Budimas: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 6(2).
- Ganjari, L. E. (2025). Mewaspadaikan invasi *Pterygoplichthys* sp. *Biospektrum Jurnal Biologi*, 6(2), 90–94.
- Garvey, J. E., Glover, D. C., Coulter, D. P., & MacNamara, R. (2023). Trophic dominance by an assemblage of invasive fishes in a large river. *Research Square*.

- Haedar, K. A., & Pagdee, A. (2023). Local perception on pleco invasion and ecosystem-based management. *Thai Environmental Engineering Journal*, 37(2), 53–64.
- Hamid, A., Riani, E., & Warlina, L. (2023). Analisis pencemaran logam berat pada sedimen permukaan. *REKSABUMI*, 2(1), 65–74.
- Hidayah, A. M., & Syasit, A. (2023). Respon fisiologis ikan invasif terhadap limbah domestik. *Jurnal Biologi Indonesia*, 19(1), 33–42.
- Hidayat, R., Kurniawan, A., & Saputra, D. (2021). Dampak pencemaran terhadap keanekaragaman ikan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(2), 245–253.
- Jubaedah, I., Sayida, B., Anas, P., & Aries, G. (2023). Conservation efforts of uceng fish. *E3S Web of Conferences*, 444, 1010.
- Kurniawan, R. (2025). Strategi pengelolaan spesies asing invasif. *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia*, 17(1), 55–67.
- Latuconsina, N. S. (2022). *Ikan Sapu Sapu Danau Tempe Kabupaten Wajo: Spesies, Komposisi Bagian Tubuh Dan Kandungan Kandungan Logam Berat....* (Skripsi). Universitas Hasanuddin.
- Mulyadi, A., Efendi, I., & Terisno, M. (2021). Persepsi nelayan terhadap invasi ikan sapu-sapu. *Sosio-Ekonomika Perikanan*, 9(3), 110–120.
- Pandiangan, Y. S., Zulaikha, S., Warto, & Yudo, S. (2023). Status kualitas air Sungai Ciliwung. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(2), 176–182.
- Prasetya, A., Ketjulan, R., & Ishak, E. (2022). Kelimpahan ikan sapu-sapu di Sungai Konawe. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 7(4).
- Pratama, A. R., Santoso, B., & Wijaya, H. (2024). Analisis risiko kesehatan logam berat pada ikan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 23(1), 45–54.
- Putra, R. D., Nirmala, K., & Affandi, R. (2022). Adaptasi fisiologis ikan sapu-sapu di Sungai Ciliwung. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 22(3), 201–215.
- Putri, H. D., Elfidasari, D., Haninah, H., & Sugoro, I. (2022). Bahaya logam berat pada produk olahan ikan. *Jurnal Pengolahan Pangan*, 7(1), 7–13.
- Quintana, Y., Keppeler, F. W., & Winemiller, K. O. (2023). Does invasion by armored catfish shift trophic ecology of native fishes? Evidence from stable isotope analysis. *Ecology*, 104(5), e4024.

- Rahmawati, N., Hidayati, N. V., & Suryono, T. (2021). Karakteristik morfologi ikan invasif. *Jurnal Biologi Tropis*, 21(3), 789–798.
- Ramadhani, S., Fitriani, N., & Azis, A. (2023). Pemanfaatan limbah ikan sapu-sapu. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(2), 189–197.
- Ramadhani, F. R. (2022). Analisis relung pakan ikan patin siam (*Pangasianodon hypophthalmus*) dan sapu-sapu (*Pterygoplichthys pardalis*) di Situ Gintung, Tangerang Selatan. Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Riyanto, D., Kurniawan, K., & Syahputra, K. (2021). Karakteristik bio-ekologi ikan sapu-sapu. *Jurnal Riset Akuakultur*, 16(2), 115–125.
- Setiawan, B., & Wijaya, T. (2024). Dampak bioturbasi terhadap stabilitas sungai. *Jurnal Teknik Hidrologi dan Lingkungan*, 15(3), 210–224.
- Simberloff, D., *et al.* (2021). Controlling biological invasions. *Western North American Naturalist*, 81(1), 1–20.
- Sudiarta, I. K., Sulaksana, B. A. T., Ramos, D. D. A., Gayatri, D. A. K., & Khoiriya, E. I. (2024). Analisis Kerusakan Keanekaragaman Hayati dan Penurunan Sumber Daya Alam dalam Perspektif KLHS. *Nata Palembang: Journal of Environmental Engineering Innovations*, 1(2), 76-86.
- Suseno, D., & Razari, I. (2024). Identifikasi DNA ikan sapu-sapu. *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi*, 17(2), 440–449.
- Suwarno, T., Handayani, S., & Kusuma, W. (2023). Strategi reproduksi ikan invasif. *Berkala Perikanan Terubuk*, 51(1), 12–23.
- Wulandari, D. D., Rohmah, W., Nidianti, E., Santoso, A. P. R., & Andini, A. (2021). The Effect Of Using Personal Protection Equipment (PPE), Mileage, And Smoking Habits On Hair Lead (Pb) Levels: Pengaruh Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD), Jarak Tempuh Dan Kebiasaan Merokok Terhadap Kadar Timbal (Pb) Rambut. *Medicra (Journal of Medical Laboratory Science/Technology)*, 4(1), 50-53.
- Wulandari, S., Fitriani, D., & Lestari, P. (2023). Status pencemaran logam berat di sungai. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(1), 55–63.

Wulandari, T., Azizah, R., & Mahendra, I. (2022). Ekspresi protein metallothionein. *Jurnal Toksikologi Lingkungan*, 6(2), 75–84.