

Ecological Risk-Based Management of Aquaculture in Wadaslintang Reservoir

Wahyu Andi Susanto^{1*} & Suradi Wijaya Saputra²

¹Program Studi Magister Manajemen Perikanan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Terbuka, Indonesia;

²Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Diponegoro, Indonesia;

Article History

Received : February 23th, 2026

Revised : June 25th, 2026

Accepted : June 30th, 2026

*Corresponding Author:

Wahyu Andi Susanto,

Program Studi Magister
Manajemen Perikanan, Sekolah
Pascasarjana, Universitas
Terbuka, Indonesia;

Email:

andicadas25@gmail.com

Abstract: Wadaslintang Reservoir is a multipurpose reservoir used for power generation, irrigation, capture fisheries, and fish farming using a floating net cage (KJA) system. Intensification of this utilization has the potential to increase pressure on water quality and the sustainability of fish resources. This study aims to evaluate the condition of water quality, phytoplankton community structure, composition and size of fish catch, and their relationship to KJA cultivation activities in Wadaslintang Reservoir. The study was conducted through measuring physicochemical parameters of water at six observation stations, phytoplankton identification, analysis of fish catch composition, measurement of tilapia size, and collection of secondary data regarding KJA cultivation activities. The results showed that most water quality parameters, such as dissolved oxygen, temperature, nitrate, and ammonia, still met the quality standards for class III waters. However, the total phosphate concentration at several stations exceeded the quality standards, accompanied by relatively low clarity and the dominance of phytoplankton from the Chlorophyta and Cyanobacteria groups with a moderate diversity index ($H' = 1.78$), which indicates the presence of nutrient pressure leading to eutrophic conditions. The catch composition is dominated by tilapia (75.68%), with sizes that are generally still relatively small compared to mature gonad size. Production from marine cage cultivation is also dominated by tilapia (97.91%), potentially increasing nutrient loads if management is not adjusted to environmental carrying capacity. The results of the study indicate that Wadaslintang Reservoir is still suitable for fisheries, but requires capacity-based aquaculture management, increased feed efficiency, and regular water quality monitoring to maintain ecosystem sustainability.

Keywords: Environmental carrying capacity; Ecological risk; Floating net cages; Reservoir aquaculture; Wadaslintang Reservoir.

Pendahuluan

Perairan waduk merupakan salah satu ekosistem perairan daratan yang berfungsi sebagai penyedia sumber daya perikanan, penyedia air baku, irigasi, pembangkit listrik tenaga air, serta kawasan budidaya perikanan (Kartamihardja *et al.*, 2009). Keberadaan sumber daya ikan alami yang berasal dari sungai-sungai pemasok air waduk telah mendorong masyarakat memanfaatkan waduk sebagai lokasi penangkapan ikan dan budidaya, terutama melalui sistem keramba jaring apung (Warningsih *et al.*, 2016).

Beberapa tahun terakhir, pemanfaatan waduk untuk budidaya ikan terus meningkat

karena mampu memberikan manfaat ekonomi yang signifikan bagi masyarakat. Namun, peningkatan intensitas budidaya tanpa memperhatikan daya dukung lingkungan berpotensi meningkatkan masukan bahan organik dan nutrisi, terutama nitrogen dan fosfor, yang dapat memicu eutrofikasi, menurunkan kualitas air, mengganggu keseimbangan ekosistem, serta meningkatkan risiko kematian ikan secara massal (Jeppesen *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2021). Oleh karena itu, pengelolaan budidaya di waduk perlu didasarkan pada konsep *environmental carrying capacity* agar pemanfaatan sumber daya perairan tetap berkelanjutan (FAO, 2023). Selain itu, pendekatan *Ecological Risk*

Assessment (ERA) semakin banyak digunakan untuk mengevaluasi tingkat risiko perubahan kualitas perairan akibat aktivitas budidaya maupun tekanan antropogenik lainnya sehingga dapat menjadi dasar dalam penyusunan strategi pengelolaan waduk yang adaptif dan berkelanjutan (USEPA, 2024; Li *et al.*, 2023).

Selain kegiatan penangkapan, saat ini terdapat peningkatan pemanfaatan perairan waduk, yaitu sebagai lokasi budidaya ikan. Kegiatan budidaya ikan meliputi kegiatan pembiakan dan pembesaran, terhadap jenis-jenis kultivan budidaya tertentu. Kegiatan budidaya memiliki peranan penting dalam meningkatkan produktivitas perikanan waduk. Melalui kegiatan budidaya, produksi ikan dapat ditingkatkan, dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan pasar, sehingga dapat menjadi salah satu sektor penunjang ketahanan pangan.

Kegiatan budidaya di waduk umumnya dilakukan terhadap jenis-jenis ikan yang memiliki nilai ekonomis tinggi yang menjadi kebutuhan masyarakat. Jenis-jenis ikan budidaya yang menjadi kebutuhan masyarakat sering kali bukan jenis ikan lokal, sehingga perlu dilakukan introduksi atau pengenalan jenis ikan baru ke dalam perairan waduk. Munculnya jenis-jenis ikan baru dapat menjadi ancaman bagi keberlanjutan jenis-jenis ikan lokal. Ancaman tersebut antara lain terjadi karena kompetisi terhadap ruang dan/atau sumber makanan alami. Hal ini karena kegiatan budidaya berpotensi memunculkan ikan lepasan atau terjadinya pemijahan pada saat proses pembesaran berlangsung. Kegiatan budidaya dalam waktu yang lama berpotensi memicu terjadinya perubahan komposisi jenis ikan penghuni perairan. Akibatnya, perairan secara perlahan akan kehilangan kekhasan sumber daya ikan aslinya.

Waduk Wadaslintang yang terletak di Kabupaten Wonosobo merupakan salah satu perairan daratan yang dimanfaatkan oleh masyarakat untuk kegiatan budidaya dan penangkapan ikan (Wirabumi *et al.*, 2017). Potensi Waduk Wadaslintang untuk kegiatan budidaya antara lain ditopang oleh luas perairan yang mencapai 1.400 ha dengan kapasitas penampungan air mencapai 408 juta m³. Peruntukan utama Waduk Wadaslintang adalah sebagai pembangkit listrik dan irigasi. Suplai air Waduk Wadaslintang utamanya berasal dari Sungai Medono (Sungai Gede),

sungai Tuban, sungai Kalianget, sungai Tritis dan sungai Kumejing (Adjie *et al.*, 2012).

Meskipun Waduk Wadaslintang telah lama dimanfaatkan untuk perikanan tangkap dan budidaya ikan dengan sistem keramba jaring apung (KJA), kajian yang tersedia umumnya masih berfokus pada aspek kualitas air atau produksi perikanan secara terpisah. Hingga saat ini, belum banyak penelitian yang mengintegrasikan analisis daya dukung lingkungan, beban nutrien, struktur komunitas ikan dan plankton, serta *ecological risk assessment* sebagai dasar pengelolaan budidaya secara berkelanjutan. Selain itu, informasi mengenai hubungan antara peningkatan intensitas budidaya dengan potensi eutrofikasi, perubahan struktur komunitas biota, dan kapasitas asimilasi waduk masih terbatas.

sKeterbatasan tersebut menyebabkan belum tersedianya dasar ilmiah yang komprehensif untuk menentukan batas optimal jumlah keramba, zonasi budidaya, dan strategi mitigasi risiko lingkungan yang tetap mempertahankan fungsi Waduk Wadaslintang sebagai sumber irigasi, pembangkit listrik tenaga air, dan perikanan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi kesenjangan tersebut melalui evaluasi terpadu terhadap kualitas perairan, daya dukung lingkungan, struktur komunitas ikan dan plankton, risiko ekologis, serta penyusunan alternatif pengelolaan budidaya berbasis daya dukung dan risiko ekologis guna mendukung keberlanjutan ekosistem Waduk Wadaslintang.

Bahan dan Metode

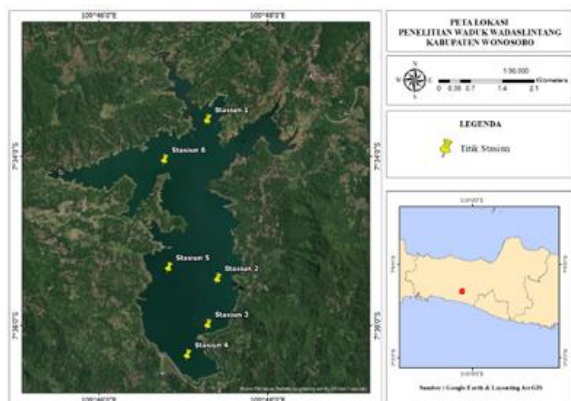
Jenis penelitian

Penelitian ini menggunakan desain **survei deskriptif kuantitatif** dengan pendekatan observasional lapangan. Desain ini dipilih karena bertujuan menggambarkan kondisi aktual kualitas perairan, struktur komunitas ikan dan plankton, serta aktivitas budidaya ikan di Waduk Wadaslintang tanpa melakukan perlakuan terhadap objek penelitian. Pendekatan survei memungkinkan pengumpulan data pada beberapa lokasi pengamatan sehingga dapat merepresentasikan variasi kondisi lingkungan akibat perbedaan intensitas pemanfaatan waduk.

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari hingga Desember 2024. Lokasi penelitian berada di Waduk Wadaslintang, Kabupaten

Wonosobo, Provinsi Jawa Tengah, yang dimanfaatkan untuk kegiatan budidaya ikan sistem karamba jaring apung. Penentuan lokasi penelitian mempertimbangkan variasi karakteristik ekologis perairan serta perbedaan intensitas kegiatan budidaya ikan. Seluruh rangkaian pengolahan dan analisis data dilakukan dengan mengacu pada baku mutu kualitas lingkungan perairan yang berlaku.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel air di Waduk Wadaslintang

Pelaksanaan Penelitian

Titik sampel yang digunakan sebanyak enam stasiun pengamatan yang dipilih secara *purposive sampling* untuk mewakili variasi kondisi ekologis dan tingkat tekanan aktivitas budidaya ikan di Waduk Wadaslintang. Setiap stasiun ditentukan berdasarkan perbedaan gradien gangguan, meliputi zona dekat keramba jaring apung (KJA), zona transisi, dan zona perairan relatif terbuka (kontrol).

Stasiun 1–2 mewakili area dengan intensitas budidaya tinggi (kepadatan KJA tinggi, jarak <100 m dari lokasi keramba utama), Stasiun 3–4 mewakili area intensitas sedang (jarak 100–300 m dari KJA), sedangkan Stasiun 5–6 merupakan area intensitas rendah atau kontrol (>300 m dari KJA dengan aktivitas budidaya minimal). Setiap stasiun juga mempertimbangkan variasi kedalaman perairan (dangkal hingga dalam) untuk menangkap heterogenitas habitat.

Pengambilan data dilakukan pada empat periode pengamatan dengan interval dua minggu untuk merepresentasikan variasi temporal kondisi perairan. Setiap stasiun dilengkapi dengan pencatatan koordinat geografis menggunakan GPS (*Global Positioning System*), pengukuran kedalaman perairan (*depth sounding*), serta dokumentasi jarak relatif terhadap lokasi KJA aktif di sekitar waduk.

Informasi koordinat dinyatakan dalam format derajat desimal (latitude dan longitude) sehingga memungkinkan replikasi lokasi penelitian oleh peneliti lain.

Kriteria pemilihan stasiun didasarkan pada kombinasi intensitas budidaya ikan, aksesibilitas lokasi, serta representasi kondisi limnologi waduk, sehingga seluruh stasiun dapat menggambarkan variasi tekanan ekologis akibat aktivitas KJA secara spasial.

Tahapan pengambilan sampel

Sampel yang dikumpulkan meliputi sampel air dan sampel ikan hasil tangkapan di perairan waduk. Pengambilan sampel air dilakukan untuk analisis parameter fisika-kimia perairan, sedangkan sampel ikan digunakan untuk identifikasi jenis, kelimpahan, dan biomassa. Peralatan yang digunakan dalam penelitian meliputi *water quality checker*, *secchi disk*, *plankton net*, botol sampel, ember takar, serta *echo-sounder*. Identifikasi jenis ikan dilakukan menggunakan buku identifikasi ikan dan perangkat lunak basis data ikan untuk memastikan ketepatan hingga tingkat genus dan spesies.

Variabel penelitian

Variabel penelitian meliputi parameter fisika dan kimia perairan, yaitu suhu, pH, oksigen terlarut (DO), kecerahan, kedalaman, nitrat, ortofosfat, dan total fosfat. Selain itu, diamati pula struktur komunitas ikan (komposisi jenis, hasil tangkapan, dan dominansi spesies), komunitas plankton (komposisi dan kelimpahan), serta aktivitas budidaya ikan dalam keramba jaring apung sebagai dasar penilaian risiko ekologis dan alternatif pengelolaan.

Pengukuran parameter kualitas air dilakukan **secara *in situ*** menggunakan alat ukur yang telah dikalibrasi sesuai petunjuk pabrik sebelum digunakan, sedangkan analisis nutrisi dilakukan terhadap sampel air di laboratorium **menggunakan metode standar yang mengacu pada APHA (2017) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater***. Identifikasi ikan mengacu pada literatur taksonomi yang relevan, sedangkan identifikasi plankton dilakukan menggunakan mikroskop berdasarkan kunci identifikasi standar.

Untuk menjamin kualitas data, seluruh pengukuran dilakukan dengan prosedur operasional yang sama pada setiap stasiun pengamatan, disertai pemeriksaan hasil pengukuran terhadap kisaran nilai yang wajar

dan pencatatan kondisi lapangan selama pengambilan sampel.

Keterbatasan penelitian

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena menggunakan pendekatan survei pada periode pengamatan tertentu sehingga hasilnya menggambarkan kondisi Waduk Wadaslintang pada saat penelitian dan belum sepenuhnya merepresentasikan variasi musiman maupun tahunan. Oleh karena itu, interpretasi hasil dilakukan dalam konteks waktu pengamatan dan karakteristik lokasi penelitian.

Analisis data

Data hasil penelitian disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan peta tematik. Analisis dilakukan secara deskriptif kuantitatif dan komparatif terhadap baku mutu kualitas air berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup serta acuan APHA (2017) untuk metode analisis kualitas air. Penilaian daya dukung dan daya tampung perairan untuk kegiatan budidaya ikan dilakukan menggunakan pendekatan asimilasi beban nutrisi (*nutrient loading capacity*) dengan mempertimbangkan konsentrasi fosfat dan nitrat sebagai parameter pembatas utama. Beban nutrisi dihitung secara sederhana menggunakan persamaan:

$$L = C \times Q \quad (1)$$

di mana L adalah beban nutrisi (kg/tahun), C adalah konsentrasi nutrisi (mg/L), dan Q adalah debit air (m³/tahun). Daya tampung kemudian ditentukan berdasarkan perbandingan antara beban aktual dan beban maksimum yang masih dapat diterima ekosistem sebelum terjadi eutrofikasi.

Status trofik perairan dianalisis menggunakan **Trophic State Index (TSI) Carlson**, dengan parameter kecerahan (Secchi depth), klorofil-*a*, dan fosfor total:

$$TSI(PT) = 14.42 \ln(PT) + 4.15$$

Interpretasi indeks adalah: $TSI < 40$ (oligotrofik), 40–50 (mesotrofik), 50–70 (eutrofik), dan >70 (hipereutrofik).

Risiko ekologis kegiatan budidaya ikan dianalisis menggunakan pendekatan Ecological Risk Assessment (ERA) dengan konsep *Risk*

Quotient (RQ):

$$RQ = \frac{MEC}{PNEC} \quad (2)$$

di mana MEC adalah konsentrasi lingkungan terukur dan $PNEC$ adalah konsentrasi tanpa efek yang diperoleh dari literatur atau baku mutu. Nilai RQ diinterpretasikan sebagai: $RQ < 0,1$ (risiko rendah), 0,1–1 (risiko sedang), dan >1 (risiko tinggi).

Indeks komunitas ikan dan plankton dihitung menggunakan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener:

$$H' = -\sum (p_i \ln p_i)$$

dengan kategori $H' < 1$ (rendah), 1–3 (sedang), dan >3 (tinggi).

Dengan pendekatan ini, analisis daya dukung, daya tampung, dan risiko ekologis dapat direplikasi secara ilmiah karena seluruh parameter input, rumus, serta ambang interpretasi telah dinyatakan secara eksplisit.

Hasil dan Pembahasan

Kondisi Umum Wilayah Penelitian

Waduk Wadaslintang merupakan salah satu waduk strategis di Provinsi Jawa Tengah yang terletak di Kecamatan Wadaslintang, Kabupaten Wonosobo. Waduk ini memiliki luas genangan sekitar 1.400 ha dengan kedalaman maksimum mencapai kurang lebih 90 m serta kapasitas tampung efektif sebesar 408 juta m³. Pengoperasian waduk dimulai pada tahun 1988 dan hingga saat ini berfungsi utama sebagai penyedia tenaga listrik dan air irigasi pertanian. Keberadaan waduk juga dimanfaatkan untuk perikanan tangkap dan budidaya, sehingga menjadikan Waduk Wadaslintang sebagai perairan multiguna dengan tingkat intensitas pemanfaatan yang relatif tinggi.

Kualitas Lingkungan Perairan

Hasil pengukuran parameter fisika-kimia menunjukkan bahwa kualitas perairan Waduk Wadaslintang secara umum masih berada dalam kisaran yang mampu mendukung kehidupan organisme akuatik. Nilai oksigen terlarut (DO) berkisar 5,1–8,9 mg/L dengan rata-rata 7,3 mg/L, yang masih berada di atas baku mutu minimal untuk perairan kelas III berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Kondisi ini

menunjukkan bahwa proses respirasi biota akuatik masih dapat berlangsung dengan baik (PP No. 22 Tahun 2021).

Suhu perairan berkisar antara 28,8–31,2°C yang masih berada dalam kisaran toleransi perairan tropis. Namun demikian, variasi suhu antar stasiun menunjukkan adanya perbedaan karakteristik habitat, terutama antara perairan dangkal dan dalam. Variasi ini memengaruhi stratifikasi termal dan distribusi oksigen di kolom

air sebagaimana umum terjadi pada ekosistem waduk (Wetzel, 2001).

Konsentrasi nitrat (0,2–0,3 mg/L) masih berada jauh di bawah ambang batas baku mutu, namun total fosfat menunjukkan variasi yang lebih tinggi (0,22–1,63 mg/L), dengan beberapa lokasi melebihi ambang 0,2 mg/L. Kondisi ini mengindikasikan adanya beban nutrisi yang cukup signifikan di beberapa zona perairan.

Tabel 1. Parameter Fisika-Kimia Perairan di Waduk Wadaslintang

Parameter Fisika - Kimia	Nilai						Rata-rata	Baku Mutu
	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Stasiun 4	Stasiun 5	Stasiun 6		
Oksigen terlarut (mg/L)	7,6	6,8	6,7	7,5	7,6	7,3	7,3	3
Suhu (°C)	31,2	30,7	29,9	29,9	30,1	30,1	30,3	Dev 3
Kecerahan (m)	1,1	1,3	1,7	1,7	1,4	1,2	1,4	4
Kedalaman (m)	2,3	16,1	23,9	34,7	34,7	14,8	24,1	-
Nitrat (mg/L)	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	20
Total Fosfat (mg/L)	0,98	0,42	0,22	0,39	0,39	0,22	0,43	0,10
Amonia	<0,005	0,006	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,005	0,2
Klorofil-a (mg/m ³)	5,854	6,469	8,386	7,784	7,829	9,074	7,566	100

Tingginya variasi fosfat di beberapa stasiun menunjukkan adanya potensi peningkatan status trofik perairan menuju kondisi eutrofik. Fosfat merupakan unsur pembatas utama dalam pertumbuhan fitoplankton di perairan tawar (Dodds & Smith, 2016). Peningkatan fosfat dalam sistem waduk umumnya berkaitan dengan aktivitas antropogenik, termasuk input dari kegiatan budidaya ikan sistem keramba jaring apung (KJA) berupa sisa pakan dan ekskresi ikan (Beveridge, 2004). Konsentrasi klorofil-a (5,85–9,07 mg/m³) menunjukkan bahwa produktivitas primer berada pada kategori sedang. Hal ini sejalan dengan adanya ketersediaan nutrisi yang cukup tinggi, khususnya fosfat. Meskipun masih berada di bawah ambang baku mutu, tren peningkatan ini perlu menjadi perhatian dalam pengelolaan waduk.

Nilai kecerahan perairan berkisar antara 1,1–1,7 m yang menunjukkan kondisi transparansi rendah. Berdasarkan klasifikasi Secchi depth, nilai tersebut mengindikasikan kondisi perairan yang cenderung eutrofik (Carlson, 1977). Rendahnya kecerahan ini tidak dapat dikaitkan dengan satu faktor tunggal, melainkan merupakan hasil interaksi berbagai faktor lingkungan. Secara ekologis, kecerahan dipengaruhi oleh total suspended solid (TSS),

biomassa fitoplankton, serta bahan organik tersuspensi. Dalam penelitian ini, TSS tidak diukur, namun konsentrasi fosfat yang relatif tinggi serta nilai klorofil-a yang sedang mengindikasikan bahwa fitoplankton kemungkinan berkontribusi terhadap penurunan transparansi air. Selain itu, aktivitas budidaya ikan sistem KJA juga dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan kekeruhan melalui sisa pakan dan feses ikan yang meningkatkan partikel organik di kolom air (Beveridge, 2004). Dengan demikian, rendahnya kecerahan merupakan indikator adanya tekanan ekologis gabungan dari proses alami dan aktivitas antropogenik.

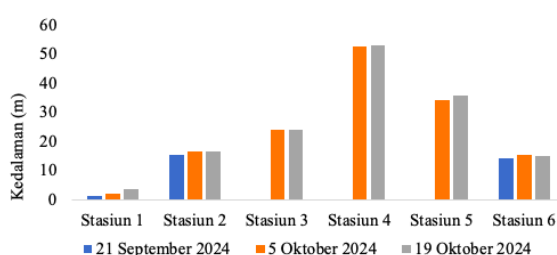
Kedalaman perairan Waduk Wadaslintang menunjukkan variasi yang cukup tinggi, yaitu dari perairan dangkal hingga lebih dari 50 m. Variasi ini berpengaruh terhadap dinamika fisika-kimia perairan, termasuk distribusi oksigen, suhu, dan nutrisi. Perairan dangkal lebih rentan mengalami resuspensi sedimen dan akumulasi nutrisi, terutama akibat aktivitas budidaya dan limpasan dari daerah tangkapan air. Sebaliknya, perairan dalam cenderung memiliki stratifikasi yang lebih stabil namun dapat mengalami hipoksia pada lapisan dasar apabila terjadi akumulasi bahan organik (Wetzel, 2001). Secara umum, sebagian besar parameter kualitas air

masih memenuhi baku mutu kelas III berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021, terutama DO, nitrat, suhu, dan amonia. Namun demikian, parameter fosfat

dan kecerahan menunjukkan adanya penyimpangan dari kondisi ideal.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kualitas Air Waduk Wadaslintang

Sabtu, 21 September 2024						
Parameter	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Stasiun 4	Stasiun 5	Stasiun 6
DO (mg/l)	8	5,7	5,1	6,0	6,2	5,9
pH	8,8	8,9	8,6	8,8	8,8	8,8
Nitrat (mg/l)	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
Otofostat (mg/l)	0,59	1,23	0,10	0,78	1,48	0,06
Total fosfat (mg/l)	0,19	0,40	0,03	0,25	0,48	0,02
Kecerahan (cm)	12,7	14,6	2,0	14,1	14,8	12,2
Kedalaman (cm)	13,5	15,38	-	-	-	14,3
Suhu (°C)	31,1	28,8	29,0	29,0	29,2	29,1
Sabtu, 05 Oktober 2024						
Parameter	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Stasiun 4	Stasiun 5	Stasiun 6
DO (mg/l)	8,4	8,5	8,2	8,4	8,1	8,5
pH	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4
Nitrat (mg/l)	0,78	0,40	0,18	0,16	0,15	0,51
Otofostat (mg/l)	0,25	0,13	0,06	0,05	0,05	0,17
Total fosfat (mg/l)	1,20	1,29	1,63	1,48	1,49	1,25
Kecerahan (cm)	16,0	16,38	23,84	52,64	33,94	15,38
Kedalaman (cm)	31,4	30,4	30,2	30,0	30,2	30,6
Suhu (°C)	8,4	8,5	8,2	8,4	8,1	8,5
Sabtu, 05 Oktober 2024						
Parameter	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Stasiun 4	Stasiun 5	Stasiun 6
DO (mg/l)	8,4	8,5	8,2	8,4	8,4	8,9
pH	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0
Nitrat (mg/l)	0,10	0,25	0,20	0,42	0,06	0,03
Otofostat (mg/l)	0,03	0,08	0,07	0,14	0,02	0,01
Total fosfat (mg/l)	0,79	0,95	1,59	1,61	1,38	1,09
Kecerahan (cm)	3,5	16,48	23,98	52,75	35,51	14,86
Kedalaman (cm)	31,1	30,5	30,6	30,6	30,2	30,6
Suhu (°C)	8,4	8,5	8,2	8,4	8,4	8,9



Gambar 2. Kedalaman perairan di Waduk Wadaslintang

Kondisi ini menunjukkan bahwa Waduk Wadaslintang masih dapat dimanfaatkan untuk kegiatan budidaya ikan, namun telah berada pada kondisi tekanan ekologis sedang hingga tinggi pada beberapa zona. Apabila beban nutrisi tidak dikendalikan, maka sistem waduk berpotensi mengalami pergeseran menuju kondisi eutrofik yang lebih dominan.

Komposisi Plankton

Dominansi fitoplankton di Waduk Wadaslintang yang didominasi oleh *Chlorella sp.*, *Anabaena sp.*, *Oscillatoria sp.*, dan *Scenedesmus sp.* mencerminkan kondisi perairan dengan ketersediaan nutrisi sedang hingga tinggi. Dominasi kelompok Chlorophyta dan Cyanobacteria merupakan pola umum pada ekosistem perairan yang mengalami eutrofikasi akibat peningkatan nitrogen dan fosfor (Paerl & Otten, 2016; Huisman *et al.*, 2018). Cyanobacteria seperti *Anabaena* dan *Oscillatoria* sering digunakan sebagai indikator perairan eutrofik karena mampu berkembang pada kondisi kaya fosfat, suhu tinggi, serta memiliki kemampuan adaptasi metabolik termasuk fiksasi nitrogen (Paerl *et al.*, 2018; Smith *et al.*, 2015).

Tabel 3. Komposisi fitoplankton di Waduk Wadaslintang

No	Spesies	Kelimpahan (sel/liter)	Proporsi (%)
1	Anabaena	43.004	20,36
2	Anabaenopsis	2.321	1,10
3	Chlorella	79.992	37,88
4	dictyosphaerium	1.818	0,86
5	merismopedia	15.147	7,17
6	navicula	793	0,38
7	oocysts	348	0,16
8	Oscillatoria	31.242	14,79
9	Peridinium	1.354	0,64
10	raphidiopsis	3.907	1,85
11	Scenedesmus	25.071	11,87
12	staurastrum	290	0,14
13	synedra	2.379	1,13
14	ceratium	155	0,07
15	melosira sp.	909	0,43
16	pediastrum	2.457	1,16
Kelimpahan Total		211.187	100
Jumlah Spesies		16	
H'		1,78	
E		0,64	

Struktur komunitas fitoplankton dengan nilai H' 1,78 menunjukkan kondisi keanekaragaman sedang yang umum ditemukan pada sistem perairan dengan tekanan nutrien antropogenik (Reynolds, 2012). Dominansi sebagian kecil taksa menunjukkan adanya seleksi lingkungan yang menguntungkan spesies oportunistik. Kondisi ini berkaitan dengan peningkatan beban fosfor yang sering dikaitkan dengan aktivitas budidaya ikan sistem keramba jaring apung (KJA), melalui input pakan dan ekskresi ikan yang tidak dimanfaatkan (Huo *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2020; Beveridge, 2004). Selain nutrien, ketersediaan cahaya juga berperan penting dalam mengatur struktur komunitas fitoplankton. Penurunan transparansi air dapat membatasi pertumbuhan fitoplankton tertentu dan mengubah kompetisi antar spesies (Morison *et al.*, 2020; Wetz *et al.*, 2016). Variabilitas cahaya juga diketahui memengaruhi komposisi fitoplankton secara temporal (Agarin *et al.*, 2020).

Komposisi dan Keragaman Jenis Ikan Hasil Tangkapan

Komposisi jenis ikan hasil tangkapan di Waduk Wadaslintang menunjukkan keberadaan 12 jenis ikan dengan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) sebagai spesies yang paling dominan, dengan proporsi mencapai 75,68% dari total tangkapan. Dominansi ikan nila ini menunjukkan

tingginya kontribusi spesies tersebut dalam hasil tangkapan, namun tidak secara langsung dapat diinterpretasikan sebagai penurunan atau penekanan terhadap ikan asli (*native species*). Dominasi ikan nila pada perairan waduk juga dilaporkan di beberapa waduk Indonesia, terutama pada perairan yang memiliki aktivitas budidaya keramba jaring apung (KJA) yang intensif. Penelitian oleh Syandri *et al.*, (2021) menunjukkan bahwa tingginya kelimpahan ikan nila di Danau Maninjau berkaitan erat dengan aktivitas budidaya yang menyebabkan meningkatnya peluang ikan budidaya lepas ke perairan umum serta tingginya intensitas penebaran benih.

Tabel 4. Komposisi jenis ikan hasil tangkapan di Waduk Wadaslintang

No.	Jenis Ikan	Proporsi (2020 – 2024)
1	Nila	75,68%
2	Patin	7,91%
3	Red devil	1,07%
4	Palung	2,26%
5	Beong	0,89%
6	Betutu	0,43%
7	Tawes	2,05%
8	Lobster	0,25%
9	Sruwet/bilih	1,32%
10	Mas	4,58%
11	Udang tawar	1,99%
12	Kerapu tawar	1,57%

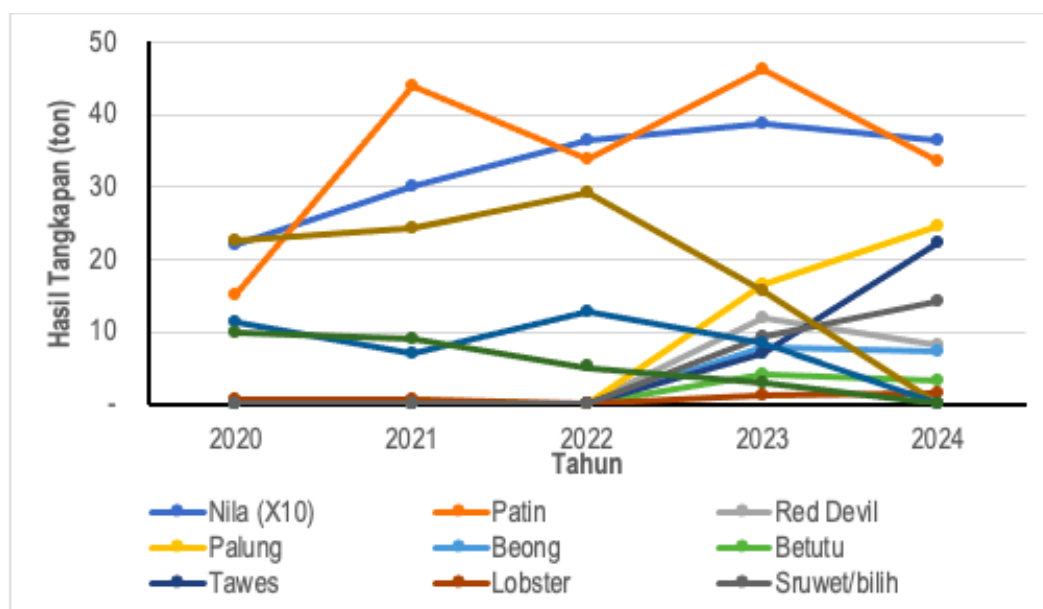
Dominansi ikan nila tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan, antara lain potensi bias alat tangkap yang digunakan, perbedaan preferensi dan selektivitas penangkapan, intensitas penebaran ikan nila dalam kegiatan budidaya KJA, serta kemungkinan ikan nila yang lepas dari sistem budidaya dan berkontribusi terhadap populasi di perairan waduk. Selain itu, ketiadaan data historis mengenai komposisi ikan sebelum berkembangnya budidaya KJA menyebabkan perubahan struktur komunitas ikan belum dapat dievaluasi secara komprehensif. Kondisi serupa juga dilaporkan oleh Rahman *et al.* (2022), yang menyatakan bahwa dominasi spesies introduksi di perairan waduk tidak selalu mencerminkan penurunan populasi ikan lokal, melainkan dapat dipengaruhi oleh tingginya propagule pressure, keberhasilan adaptasi spesies introduksi, serta karakteristik metode pengambilan sampel.

Oleh karena itu, dominansi ikan nila dalam hasil tangkapan lebih tepat dipandang sebagai indikator keberlimpahan relatif spesies tersebut

dalam sistem perikanan saat ini, bukan sebagai bukti langsung terjadinya penurunan komunitas ikan asli. Interpretasi perubahan struktur komunitas memerlukan analisis tambahan berbasis data jangka panjang, metode sampling yang lebih representatif, serta pengendalian bias alat tangkap. Pendekatan ini sejalan dengan rekomendasi Kementerian Kelautan dan Perikanan (2023), yang menyatakan bahwa evaluasi status sumber daya ikan di waduk harus mempertimbangkan data kelimpahan, struktur ukuran, upaya penangkapan (*fishing effort*), dan kondisi habitat secara terpadu.

Indeks keanekaragaman ikan yang berkisar antara 0,69–1,08 menunjukkan tingkat keanekaragaman yang relatif rendah. Nilai

tersebut termasuk kategori keanekaragaman rendah hingga sedang menurut indeks Shannon-Wiener, yang mengindikasikan bahwa komunitas ikan didominasi oleh beberapa spesies tertentu. Distribusi individu antarjenis juga tidak merata yang tercermin dari nilai indeks keseragaman sekitar 0,44. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur komunitas ikan belum berada pada kondisi yang stabil. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Haryono *et al.*, (2021), yang melaporkan bahwa ekosistem waduk dengan dominasi spesies introduksi dan tekanan aktivitas budidaya cenderung memiliki nilai keanekaragaman lebih rendah dibandingkan perairan yang masih didominasi spesies asli.



Gambar 3. Fluktuasi hasil tangkapan ikan di Waduk Wadaslintang. Sumber: Data diolah, 2025

Analisis temporal hasil tangkapan ikan periode 2020–2024 menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Wonosobo serta catatan statistik perikanan Waduk Wadaslintang yang dihimpun dari unit pengelola perikanan setempat. Data tersebut merupakan rekapitulasi hasil tangkapan nelayan dan aktivitas perikanan tangkap di wilayah waduk yang telah terdokumentasi secara periodik.

Untuk menjamin validitas data, dilakukan proses verifikasi melalui triangulasi dengan laporan statistik perikanan tahunan, wawancara terbatas dengan pelaku perikanan, serta pengecekan konsistensi antar tahun pengamatan. Meskipun demikian, data sekunder ini memiliki keterbatasan, terutama terkait ketidakseragaman metode pencatatan antarperiode, potensi *under-*

reporting hasil tangkapan, serta tidak tersedianya informasi rinci mengenai upaya penangkapan (*fishing effort*) dan lokasi spesifik penangkapan. Keterbatasan tersebut juga menjadi perhatian dalam penelitian oleh FAO (2022), yang menegaskan bahwa interpretasi tren hasil tangkapan akan lebih akurat apabila dilengkapi dengan data CPUE (*catch per unit effort*), distribusi spasial, dan ukuran ikan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa jenis ikan tertangkap secara konsisten selama periode pengamatan, sedangkan beberapa jenis lainnya tidak lagi tercatat pada periode akhir. Ketidaktertangkapan tersebut tidak dapat secara langsung diartikan sebagai hilangnya populasi, melainkan dapat mencerminkan fluktuasi kelimpahan, pergeseran distribusi spasial, perbedaan upaya penangkapan, maupun

perubahan selektivitas alat tangkap. Selain itu, kemunculan jenis ikan baru pada periode akhir pengamatan mengindikasikan adanya dinamika struktur komunitas ikan yang dapat dipengaruhi oleh perubahan kondisi habitat, tekanan ekologis, maupun pelepasan ikan dari kegiatan budidaya. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Britton *et al.*, (2023), yang menyatakan bahwa perubahan komunitas ikan di waduk tropis umumnya merupakan hasil interaksi antara introduksi spesies, perubahan kualitas habitat, dan tekanan antropogenik sehingga memerlukan pemantauan jangka panjang sebelum dapat disimpulkan sebagai perubahan permanen pada struktur komunitas.

Ukuran Ikan yang Tertangkap

Ukuran ikan yang tertangkap di Waduk Wadaslintang didominasi oleh ikan nila dengan panjang 15-17 cm (Tabel 5, Gambar 4). Ukuran ikan yang tertangkap di Waduk Wadaslintang didominasi oleh ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan panjang rata-rata sekitar 16 cm. Untuk interpretasi biologis, ukuran tersebut perlu dibandingkan dengan panjang pertama kali matang gonad (Lm) ikan nila yang dilaporkan

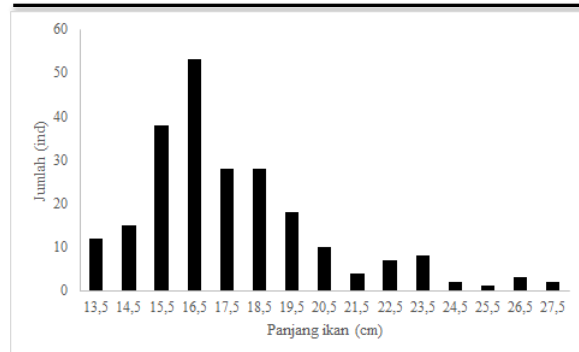
berkisar $\pm 18\text{--}20$ cm pada kondisi perairan tropis (Beveridge & McAndrew, 2000; FAO, 2022). Dengan demikian, sebagian besar ikan yang tertangkap masih berada pada ukuran sub-dewasa hingga awal dewasa.

Jika dibandingkan dengan ukuran konsumsi umum ikan nila yang berkisar $\geq 20\text{--}25$ cm, maka hasil tangkapan menunjukkan dominasi individu berukuran relatif kecil. Namun demikian, kondisi ini tidak dapat secara langsung diartikan sebagai indikasi tekanan penangkapan berlebih, karena struktur ukuran ikan juga dapat dipengaruhi oleh faktor lain seperti selektivitas alat tangkap, intensitas penebaran benih dari kegiatan keramba jaring apung, serta dinamika pertumbuhan populasi di perairan waduk.

Oleh karena itu, dominasi ukuran ikan kecil lebih tepat diinterpretasikan sebagai kombinasi antara karakteristik populasi ikan nila yang cepat tumbuh dan kemungkinan adanya tekanan selektif terhadap ukuran tertentu, sehingga diperlukan kajian lanjutan berbasis struktur umur dan analisis eksploitasi stok untuk memastikan status keberlanjutan perikanan di Waduk Wadaslintang.

Tabel 5. Ukuran Ikan Nila di Waduk Wadaslintang

Kisaran Panjang (cm)	Nilai Tengah (cm)	Waktu Sampling			
		05/09/2024	21/05/2024	05/10/2024	19/10/2024
13,1 – 14	13,5	0	3	4	12
14,1 – 15	14,5	1	4	7	15
15,1 – 16	15,5	12	7	17	38
16,1 – 17	16,5	18	13	19	53
17,1 – 18	17,5	5	14	4	28
18,1 – 19	18,5	8	5	6	28
19,1 – 20	19,5	10	1	1	18
20,1 – 21	20,5	1	2	0	10
21,1 – 22	21,5	2	2	0	4
22,1 – 23	22,5	3	0	2	7
23,1 – 24	23,5	0	3	0	8
24,1 – 25	24,5	1	0	0	2
25,1 – 26	25,5	1	0	0	1
26,1 – 27	26,5	1	2	0	3
27,1 – 28	27,5	0	1	0	2
28,1 – 29	28,5	0	0	0	0
29,1 - 30	29,5	1	0	0	1
Jumlah		64	57	60	230



Gambar 4. Distribusi ukuran ikan nila yang tertangkap selama penelitian di Waduk Wadaslintang

Kegiatan Budidaya dan Daya Dukung Lingkungan

Kegiatan budidaya ikan di Waduk Wadaslintang dilakukan melalui sistem keramba jaring apung (KJA) yang dikelola oleh pembudidaya lokal dengan jumlah sekitar 100 rumah tangga perikanan (RTP) dan luas area budidaya kumulatif mencapai $\pm 46.134 \text{ m}^2$. Informasi ini diperoleh dari data sekunder Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Wonosobo (2020–2024) serta verifikasi lapangan terhadap sebaran unit KJA aktif di wilayah waduk.

Sistem budidaya didominasi oleh ikan nila (*Oreochromis niloticus*) sebagai komoditas utama, diikuti oleh ikan lele (*Clarias sp.*), patin (*Pangasius nasutus*), mas (*Cyprinus carpio*), dan gurame (*Osphronemus goramy*). Rata-rata kepadatan tebar ikan nila pada sistem KJA berkisar 50–100 ekor/ m^3 dengan frekuensi pemberian pakan 2–3 kali per hari menggunakan pakan komersial berkadar protein 25–30%. Kepadatan tersebut masih termasuk kategori budidaya intensif yang umum diterapkan pada perairan waduk tropis, namun peningkatan kepadatan harus diimbangi dengan pengelolaan kualitas air dan evaluasi daya dukung lingkungan agar produktivitas tetap berkelanjutan (Marsela et al., 2023).

Estimasi rasio konversi pakan (*Feed Conversion Ratio/FCR*) pada sistem budidaya intensif berkisar antara 1,5–2,0, yang menunjukkan bahwa setiap 1 kg ikan yang diproduksi memerlukan sekitar 1,5–2,0 kg pakan. Efisiensi pakan merupakan faktor utama yang menentukan besarnya limbah nutrisi yang dilepaskan ke lingkungan. Penelitian Syandri et al. (2021) menunjukkan bahwa semakin tinggi penggunaan pakan pada budidaya KJA, semakin besar pula pelepasan karbon, nitrogen, dan fosfor ke badan air sehingga mempercepat proses eutrofikasi.

Berdasarkan pendekatan neraca nutrisi, sebagian nitrogen dan fosfor dari pakan tidak dimanfaatkan oleh ikan dan akan terlepas ke kolom air dalam bentuk limbah terlarut maupun partikulat. Oleh karena itu, aktivitas KJA berpotensi meningkatkan beban nutrisi (nutrient loading) yang menjadi faktor utama dalam penurunan kualitas air. Hasil penelitian ini sejalan dengan tinjauan Aïzonou et al., (2021) yang menyatakan bahwa pakan merupakan sumber utama masukan nitrogen dan fosfor pada sistem keramba jaring apung, sehingga penentuan daya dukung perairan harus didasarkan pada estimasi beban nutrisi dan kapasitas asimilasi ekosistem.

Dengan demikian, aktivitas KJA di Waduk Wadaslintang berpotensi memberikan tambahan beban nitrogen dan fosfor yang dapat dihitung berdasarkan input pakan, jumlah unit KJA, serta retensi nutrisi oleh ikan. Pendekatan tersebut banyak digunakan dalam evaluasi daya dukung budidaya waduk di Indonesia. Marsela et al., (2023) pada Waduk Jatigede menunjukkan bahwa peningkatan produksi budidaya hanya dapat dilakukan apabila masih tersedia kapasitas asimilasi fosfor, sedangkan Sutjinurani dan Suharyanto (2016) di Waduk Cirata melaporkan bahwa kelebihan beban nutrisi dari KJA menjadi penyebab utama eutrofikasi sehingga jumlah keramba perlu disesuaikan dengan daya tampung beban pencemaran.

Tabel 6. Proporsi tingkat produktivitas ikan budidaya KJA di Waduk Wadaslintang

No.	Jenis Ikan	Nama Latin	Proporsi
1	Gurame	<i>Osphronemus goramy</i>	0,07%
2	Patin	<i>Pangasius nasutus</i>	0,88%
3	Lele	<i>Clarias sp.</i>	2,05%
4	Mas	<i>Cyprinus carpio</i>	0,72%
5	Nila	<i>Oreochromis niloticus</i>	97,91%

Tingkat produktivitas ikan nila mencapai lebih dari 97% dari total produksi budidaya sehingga menunjukkan ketergantungan yang sangat tinggi terhadap satu komoditas. Dominasi tersebut menunjukkan bahwa sistem budidaya di Waduk Wadaslintang menerapkan pola monokultur yang berorientasi pada ikan nila karena memiliki pertumbuhan cepat, tingkat kelangsungan hidup tinggi, dan permintaan pasar yang stabil. Kondisi serupa juga ditemukan pada budidaya KJA di Waduk Jatigede, di mana ikan nila menjadi komoditas dominan akibat nilai

ekonominya yang tinggi (Marsela et al., 2023).

Namun demikian, dominasi satu komoditas meningkatkan risiko ekologis apabila terjadi penurunan kualitas air, serangan penyakit, maupun fluktuasi harga pasar. Selain itu, tingginya intensitas pemberian pakan untuk budidaya ikan nila berpotensi meningkatkan pelepasan nitrogen dan fosfor ke perairan sehingga mempercepat eutrofikasi apabila jumlah KJA melebihi daya dukung lingkungan (Syandri et al., 2021).

Hasil penelitian ini juga konsisten dengan kajian Firayani (2024) yang menyatakan bahwa keberlanjutan budidaya KJA sangat ditentukan oleh keseimbangan antara intensitas produksi dan daya dukung lingkungan. Oleh karena itu, pengembangan KJA di Waduk Wadaslintang perlu dilakukan melalui pengendalian kepadatan budidaya, peningkatan efisiensi pemberian pakan, serta evaluasi daya dukung perairan secara berkala untuk menjaga produktivitas sekaligus mempertahankan kualitas ekosistem waduk.

Kesimpulan

Kondisi kualitas perairan Waduk Wadaslintang secara umum masih mampu mendukung kehidupan organisme akuatik, yang ditunjukkan oleh nilai oksigen terlarut, suhu, nitrat, dan amonia yang masih berada dalam kisaran baku mutu. Namun demikian, tingginya konsentrasi total fosfat pada beberapa lokasi pengamatan, rendahnya kecerahan perairan, serta dominasi fitoplankton dari kelompok Chlorophyta dan Cyanobacteria menunjukkan adanya peningkatan beban nutrisi yang mengarah pada kondisi eutrofik ringan hingga sedang.

Komunitas ikan didominasi oleh ikan nila (*Oreochromis niloticus*), baik pada hasil tangkapan (75,68%) maupun produksi budidaya KJA (97,91%). Dominasi tersebut mencerminkan tingginya kontribusi kegiatan budidaya terhadap sistem perairan, namun belum dapat diinterpretasikan sebagai penurunan populasi ikan asli tanpa dukungan data historis, data catch per unit effort (CPUE), dan pemantauan jangka panjang. Sebagian besar ikan nila yang tertangkap juga memiliki ukuran relatif kecil sehingga diperlukan evaluasi lebih lanjut mengenai status eksploitasi sumber daya ikan. Secara keseluruhan, aktivitas budidaya KJA berpotensi meningkatkan masukan nitrogen dan fosfor ke perairan melalui sisa pakan dan ekskresi ikan. Oleh karena itu, pengelolaan Waduk

Wadaslintang perlu menerapkan pendekatan berbasis daya dukung lingkungan, meliputi pengendalian jumlah dan kepadatan KJA, peningkatan efisiensi pemberian pakan, serta pemantauan kualitas air dan komunitas biota secara berkala. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengintegrasikan analisis beban nutrisi, kapasitas asimilasi waduk, data CPUE, serta pemodelan daya dukung guna mendukung pengelolaan perikanan dan budidaya yang berkelanjutan.

Referensi

- Adjie, S., Utomo, A. D., Fatah, K., Aprianti, S., Harmila, E. D., Bintoro, A., & Gautama, S. (2012). *Laporan Teknis Penelitian: Penelitian Bioekologi Populasi Ikan Ekonomis untuk Perikanan Berbasis Budidaya di Beberapa Waduk Provinsi Jawa Tengah*.
- Agarin, O. J., Davies, I. C., & Akankali, J. A. (2020). Effect of water quality on the distribution of phytoplankton in Tin Can Island Creek of the Lagos Lagoon, Nigeria. *International Journal of Agriculture and Earth Science*, 6(1), 59–76. <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/lo2.10156>
- Aïzonou, R., Achoh, M. E., Hountcheme, I. A. C., Agadjihouédé, H., Ahouanssou-Montcho, S., & Montchowui, E. (2021). Zootechnical Knowledge of floating cage aquaculture in freshwaters ecosystems and load capacity determination. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 47(1), 81–86. 10.1016/j.ejar.2020.10.013
- Beveridge, M. C. M. (2004). *Cage aquaculture* (3rd ed.). Blackwell Publishing.
- Britton, J. R., Gozlan, R. E., & Copp, G. H. (2023). *Managing non-native fishes in freshwater ecosystems: Ecological impacts and monitoring approaches. Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 33(2), 357–379. 10.1111/j.1467-2979.2010.00390.x
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361–369.
- Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Wonosobo. (2024). *Data statistik budidaya perikanan Waduk Wadaslintang tahun 2020–2024*.
- Dodds, W. K., & Smith, V. H. (2016). Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams.

- Inland Waters*, 6(2), 155–164.
10.5268/IW-6.2.909
- FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Food and Agriculture Organization.
- Firayani, F. (2024). Daya Dukung Lingkungan Perairan terhadap Pengembangan Budidaya Keramba Jaring Apung Berkelanjutan. *Aquapolis*, 1(2), 34-41.
<https://doi.org/10.62872/a.v1i2.529>
- Food and Agriculture Organization. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Government of Indonesia. (2021). *PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- Haryono, H., Kartamihardja, E. S., & Tjahjo, D. W. H. (2021). Struktur komunitas ikan pada waduk tropis Indonesia sebagai indikator kesehatan ekosistem. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 21(2), 101–114.
- Huisman, J., Codd, G. A., Paerl, H. W., Ibelings, B. W., Verspagen, J. M., & Visser, P. M. (2018). Cyanobacterial blooms. *Nature Reviews Microbiology*, 16(8), 471-483.
<https://doi.org/10.1038/s41579-018-0040-1>
- Huo, S., et al. (2018). Nutrient loading and algal dynamics in reservoir ecosystems. *Water Research*, 144, 297–308.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.012>
- Kartamihardja, E. S., Purnomo, K., & Umar, C. (2009). Sumber daya ikan perairan umum daratan di Indonesia—terabaikan. *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia*, 1(1), 1–15.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2023). *Pedoman pengelolaan perikanan perairan darat berbasis ekosistem*. Direktorat Jenderal Perikanan Tangkap.
- Marsela, K., Sumiarsa, D., & Kurniadie, D. (2023). Determination of trophic status and carrying capacity of floating net cages in Jatigede Reservoir. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 22(2), 147–155.
<https://doi.org/10.19027/jai.22.2.147-155>
- Morison, F., Franzè, G., Harvey, E., & Menden-Deuer, S. (2020). Light fluctuations are key in modulating plankton trophic dynamics and their impact on primary production. *Limnology and Oceanography Letters*, 5(5), 346–353.
<https://doi.org/10.1002/lol2.10156>
- Morison, H. R., et al. (2020). Light availability controls phytoplankton community structure in freshwater systems. *Freshwater Biology*, 65(7), 1234–1248.
<https://doi.org/10.1111/fwb.13456>
- Paerl, H. W., & Otten, T. G. (2016). Harmful cyanobacterial blooms: Causes, consequences, and controls. *Microbial Ecology*, 71(4), 1–19.
<https://doi.org/10.1007/s00248-015-0719-y>
- Paerl, H. W., Hall, N. S., & Calandrino, E. S. (2018). Controlling harmful cyanobacterial blooms in a human- and climatically-impacted world. *Limnology and Oceanography*, 63(4), 188–203.
<https://doi.org/10.1002/lno.10758>
- Rahman, M. M., Hasan, M. R., & Hossain, M. Y. (2022). Introduced fish dominance in tropical reservoirs: Ecological implications and fisheries management. *Fisheries Management and Ecology*, 29(5), 425–437.
- Reynolds, C. S. (2006). *The ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press.
- Reynolds, C. S. (2012). Environmental control of phytoplankton composition. *Hydrobiologia*, 698, 3–26.
<https://doi.org/10.1007/s10750-012-1089-9>
- Smith, V. H., Joye, S. B., & Howarth, R. W. (2015). Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. *Limnology and Oceanography*, 60(5), 1309–1331.
<https://doi.org/10.1002/lno.10110>
- Sutjinurani, T., & Suharyanto. (2016). Analisis daya tampung beban pencemaran air (DTBPA) dalam pengelolaan kegiatan budidaya ikan intensif (Studi kasus: Keramba jaring apung Waduk Cirata). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 22(1), 101–112.
<https://doi.org/10.5614/j.tl.2016.22.1.10>
- Syandri, H., Azrita, A., Junaidi, J., et al. (2021). Nutrient loading and farm characteristics of giant gourami fish aquaculture systems in Lake Maninjau, Indonesia: Basic knowledge of production performance. *F1000Research*, 10, 747.
- Syandri, H., Azrita, A., Junaidi, J., et al. (2021). Nutrient loading and farm characteristics of giant gourami fish aquaculture systems in Lake Maninjau, Indonesia: Basic

- knowledge of production performance. *F1000Research*, 10, 747.
- Warningsih, T., Djokosetiyanto, D., Fahrudin, A., & Adrianto, L. (2016). Analisis kelayakan finansial penangkapan ikan di Waduk Koto Panjang Kabupaten Kampar Provinsi Riau. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 21(1), 18–24.
- Wetz, M. S., Hayes, K. C., Fisher, K. V. B., Price, L., & Sterba-Boatwright, B. (2016). Water quality dynamics in an urbanizing subtropical estuary (Oso Bay, Texas). *Marine Pollution Bulletin*, 104(1–2), 44–53.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.02.013>
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems* (3rd ed.). Academic Press.
- Winder, M., & Sommer, U. (2012). Phytoplankton response to a changing climate. *Hydrobiologia*, 698, 5–16.
- Wirabumi, P., Sudarsono, & Suhartini. (2017). Struktur komunitas plankton di perairan Waduk Wadaslintang Kabupaten Wonosobo. *Jurnal Prodi Biologi*, 6(3), 174–184.
- Yamamichi, M., Kazama, T., Tokita, K., Katano, I., Doi, H., Yoshida, T., Hairston, N. G., & Urabe, J. (2018). A shady phytoplankton paradox: when phytoplankton increases under low light. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1882), 20181067.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1067>
- Zhang, M., et al. (2020). Nutrient enrichment and phytoplankton shifts in reservoir systems. *Science of the Total Environment*, 712, 136–145.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136145>