

Penilaian Kualitas Air Waduk Saguling untuk Budidaya Keramba Jaring Apung

Eka Wardhani^{1,2}, Muhammad Faris Imam Khasani^{1*}, Athaya Zahrani Irmansyah³, Kancitra Pharmawati^{1,2}, Siti Ainun^{1,2}, Muhammad Hafizh Shidqi⁴

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

²Pusat Kolaborasi Riset Daya Dukung Lingkungan Berkelanjutan (PKR-DDLB) BRIN-ITENAS, Bandung, Indonesia

³Program Studi Matematika, Universitas Kebangsaan Republik Indonesia, Indonesia

⁴Degree Program in Pure and Applied Science, Graduate School of Science and Technology, University of Tsukuba, Japan

*Koresponden email: farisimamk@gmail.com

Diterima: 5 Agustus 2026

Disetujui: 11 Agustus 2026

Abstract

Floating-net-cage aquaculture is an important use of Saguling Reservoir, but its sustainability depends on the intensity of reservoir-space use and ambient water quality. This study describes historical changes around six monitoring stations, evaluates fisheries activity intensity (Kpi) and Pollution Index (PI), assesses water-quality suitability for cultured fish, and describes farmers' experiences of water-related disturbances. Historical satellite images from 2006, 2011, 2016, 2021, and 2025 were interpreted visually. Water-quality monitoring data from 2004-2025 and cage counts were analyzed using Kpi and PI. Composite-depth samples collected at Maroko and Ciminyak on 23 July 2026 were compared with Indonesian standards for tilapia, common carp, and striped catfish, while responses from 45 farmers were summarized descriptively. Kpi increased from 0.671% in 2004 to 4.045% in 2025, exceeding the 1% threshold. Of 264 PI values, 14 met the standard, 113 indicated light pollution, 132 moderate pollution, and five heavy pollution. Ammonia did not meet aquaculture criteria at either primary site, and dissolved oxygen was unsuitable at Ciminyak. Furthermore, 75.6% of respondents reported fish mortality during their most severe disturbance event.

Keywords: *aquaculture; floating net cages; pollution index; saguling reservoir; water quality*

Abstrak

Budidaya Keramba Jaring Apung (KJA) merupakan salah satu pemanfaatan penting Waduk Saguling, tetapi keberlanjutannya bergantung pada intensitas pemanfaatan ruang waduk dan kondisi kualitas air. Penelitian ini mendeskripsikan perubahan historis sekitar enam stasiun, menilai Intensitas Kegiatan Perikanan (Kpi) dan Indeks Pencemaran (IP), mengevaluasi kesesuaian kualitas air bagi ikan budidaya, serta mendeskripsikan pengalaman petani terhadap gangguan kondisi perairan. Citra historis tahun 2006, 2011, 2016, 2021, dan 2025 diinterpretasikan secara visual. Data kualitas air periode 2004-2025 dan jumlah KJA dianalisis menggunakan Kpi dan IP. Sampel komposit kedalaman yang diambil di Maroko dan Ciminyak pada 23 Juli 2026 dibandingkan dengan SNI untuk ikan nila, ikan mas, dan ikan patin siam, sedangkan jawaban 45 petani dianalisis secara deskriptif. Kpi meningkat dari 0,671% pada 2004 menjadi 4,045% pada 2025 dan melampaui ambang 1%. Dari 264 nilai IP, 14 memenuhi baku mutu, 113 termasuk cemar ringan, 132 cemar sedang, dan lima cemar berat. Amonia belum memenuhi persyaratan budidaya di kedua lokasi primer dan DO belum sesuai di Ciminyak. Selain itu, 75,6% responden melaporkan kematian ikan pada kejadian gangguan terparah.

Kata Kunci: *budidaya ikan; indeks pencemaran; keramba jaring apung; kualitas air; waduk saguling*

1. Pendahuluan

Waduk Saguling merupakan salah satu infrastruktur sumber daya air yang membendung aliran Sungai Citarum. Fungsi utama waduk ini adalah sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang berperan dalam memenuhi kebutuhan beban puncak serta menjaga kestabilan sistem interkoneksi kelistrikan Jawa dan Bali. Selain itu, Waduk Saguling juga dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai jalur transportasi air, kawasan wisata, dan lokasi budidaya perikanan [1].

Pemanfaatan yang paling dominan di waduk ini adalah kegiatan budidaya ikan dengan sistem Keramba Jaring Apung (KJA). Namun, dalam dua dekade terakhir jumlah KJA terus meningkat hingga melampaui daya dukung perairan. Berdasarkan data Dinas Peternakan dan Perikanan Kabupaten Bandung Barat, jumlah KJA pada tahun 2004 tercatat sebanyak 7.272 petak dan meningkat menjadi 43.815 petak pada tahun 2025. Jumlah tersebut jauh melebihi estimasi kapasitas tampung Waduk Saguling, yaitu sekitar 22.141 unit pada tahun kering, 25.500 unit pada tahun normal, dan 27.284 unit pada tahun basah [2]. Kondisi tersebut juga tidak sesuai dengan ketentuan Peraturan Gubernur Jawa Barat Nomor 96 Tahun 2022 yang menetapkan batas maksimal 3.282 petak KJA di Waduk Saguling. Peningkatan jumlah KJA yang berlangsung selama bertahun-tahun menyebabkan akumulasi limbah organik di perairan semakin meningkat [3].

Meskipun kegiatan KJA merupakan salah satu tekanan penting di Waduk Saguling, perubahan kualitas air tidak hanya dipengaruhi oleh aktivitas tersebut. Waduk Saguling juga menerima masukan pencemar dari hulu DAS Citarum yang berasal dari kegiatan domestik, industri, pertanian, peternakan, dan pertambangan [4], [2]. Oleh karena itu, KJA dalam penelitian ini ditempatkan sebagai kegiatan budidaya yang berpotensi menambah beban organik melalui sisa pakan dan feses, sekaligus sebagai kegiatan yang keberhasilannya bergantung pada kondisi kualitas air waduk. Penilaian intensitas KJA dan kualitas air secara bersamaan diperlukan untuk menggambarkan tekanan kegiatan budidaya serta menilai kelayakan perairan dalam mendukung keberlanjutan budidaya ikan.

Beban pencemaran organik di kawasan KJA terutama berasal dari sisa pakan yang tidak termakan serta feses ikan yang mengendap di dasar perairan [5]. Bahan organik tersebut kemudian diuraikan oleh mikroorganisme melalui proses dekomposisi yang membutuhkan *Dissolved Oxygen* (DO). Akibatnya, konsentrasi DO di perairan menurun sehingga dapat menyebabkan kondisi hipoksia hingga anoksia pada lapisan dasar waduk [3]. Ketika oksigen di dasar perairan semakin terbatas, proses penguraian berlangsung secara anaerob dan menghasilkan berbagai senyawa yang bersifat toksik, seperti amonia bebas (NH_3) dan hidrogen sulfida (H_2S) [6]. Senyawa tersebut dapat terangkat ke lapisan permukaan akibat fenomena pembalikan massa air (*upwelling*), yang umumnya dipengaruhi oleh perubahan kondisi cuaca, sehingga meningkatkan risiko terjadinya kematian ikan secara massal (*fish kill*) [7].

Penurunan kualitas air akibat meningkatnya konsentrasi gas beracun dan rendahnya oksigen terlarut memberikan dampak terhadap kegiatan budidaya ikan di Waduk Saguling. Komoditas utama, seperti ikan mas (*Cyprinus carpio*), ikan nila (*Oreochromis niloticus*), dan ikan patin (*Pangasius sp.*), memiliki batas toleransi tertentu terhadap perubahan kualitas air. Paparan amonia dan H_2S secara terus-menerus, meskipun pada konsentrasi subletal, dapat merusak jaringan insang dan menurunkan respons imun ikan. Kondisi tersebut menyebabkan ikan mengalami stres fisiologis, penurunan nafsu makan, serta lebih rentan terhadap penyakit, sehingga pertumbuhannya menjadi lebih lambat (*stunting*) [5]. Dampak tersebut dapat memperpanjang masa pemeliharaan, meningkatkan kebutuhan pakan, dan pada akhirnya menimbulkan kerugian ekonomi bagi pembudidaya KJA.

Penelitian mengenai kegiatan KJA dan kualitas air waduk telah dilakukan dengan berbagai pendekatan. Penelitian [2] mengkaji daya dukung KJA di Waduk Saguling berdasarkan pola operasi waduk dan menunjukkan bahwa daya dukung perairan menurun pada kondisi tahun kering. Penelitian di Waduk Cirata menunjukkan bahwa perubahan kualitas air dipengaruhi oleh aktivitas KJA, kondisi musim, serta masukan pencemar dari daerah tangkapan air [9]. Sementara itu, penelitian di Waduk Jatiluhur menemukan adanya pencemaran organik, penurunan oksigen terlarut, dan peningkatan H_2S yang berkaitan dengan limbah KJA [10]. Kajian lain juga menunjukkan bahwa jumlah KJA yang melampaui daya dukung dapat meningkatkan beban bahan organik, menurunkan konsentrasi oksigen terlarut, dan mempercepat proses eutrofikasi [8].

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya kajian mengenai pengelolaan sumber daya air dan dapat menjadi landasan ilmiah dan data pendukung bagi instansi pengelola waduk dalam menyusun strategi mitigasi, penataan daya dukung dan zonasi KJA, serta upaya perlindungan ekosistem guna mendukung keberlanjutan ekonomi dan lingkungan di Waduk Saguling. Penelitian ini bertujuan mendeskripsikan perubahan historis kawasan KJA pada enam stasiun pemantauan, menilai intensitas kegiatan perikanan (Kpi) dan batas maksimum jumlah KJA, menentukan status mutu air menggunakan Indeks Pencemaran (IP), mengevaluasi kesesuaian kualitas air bagi ikan nila, ikan mas, dan ikan patin siam, serta mendeskripsikan dampak gangguan kondisi perairan terhadap budidaya berdasarkan pengalaman petani KJA.

2. Metode Penelitian

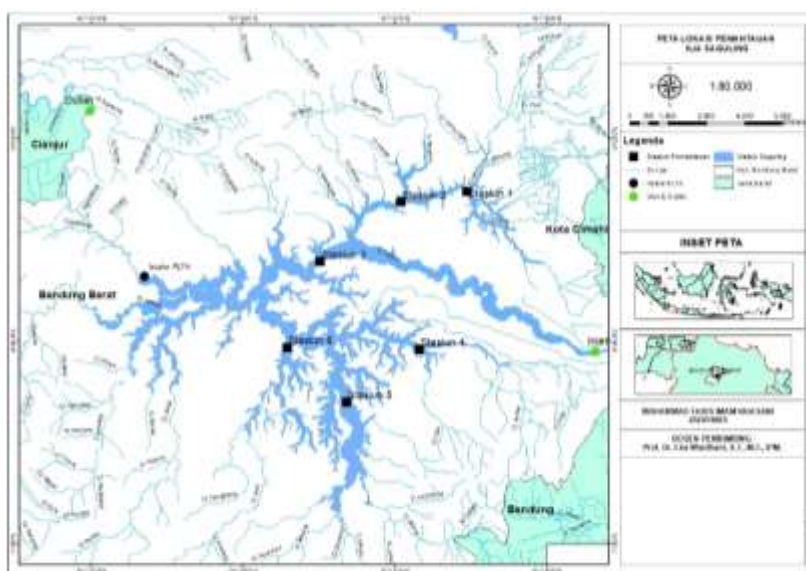
Penelitian mencakup interpretasi citra historis pada enam stasiun, perhitungan Kpi dari jumlah KJA, penentuan IP dari data kualitas air 2004-2025, pengukuran primer di Maroko dan Ciminyak, serta kuesioner petani KJA. Metode setiap analisis diperlihatkan pada **Tabel 1** berikut.

Tabel 1. Koordinat Titik Pemantauan KJA di Waduk Saguling

Titik	Lokasi Pemantauan	Garis Bujur (BT)	Garis Lintang (LS)
1	Cihaur Kampung Cipeundeuy	107°28'29,2"	06°53'08,4"
2	Cimerang	107°27'12,6"	06°53'13,4"
3	Muara Cihaur Kampung Maroko	107°25'59,6"	06°54'13,8"
4	Muara Cipatik	107°27'28,9"	06°56'09,4"
5	Muara Ciminyak	107°26'05,0"	06°57'19,8"
6	Muara Cijere	107°24'51,19"	06°56'11,2"

Sumber: PT. PLN Indonesia Power

Penentuan keenam titik stasiun pemantauan ini dilakukan karena merupakan zona sentra budidaya KJA, sehingga data yang diambil merepresentasikan kualitas air akibat aktivitas perikanan di Waduk Saguling. Stasiun pemantauan KJA dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta Lokasi Pemantauan Waduk Saguling

2.1 Data Primer

a) Uji kualitas air

Pengukuran primer dilakukan secara purposif di Muara Kampung Maroko dan Muara Ciminyak pada 23 Juli 2026 sesuai SNI 8995:2021 [17]. Pada kedalaman total 29 m dan 26 m, contoh diambil dari permukaan, lapisan tengah (12 m; 10 m), dan dekat dasar (24 m; 21 m), lalu dicampur dalam volume sama menjadi satu sampel komposit per lokasi. Suhu, pH, dan DO diukur pada sampel komposit, NH_3 dianalisis di laboratorium, dan kecerahan diukur dengan cakram Secchi.

Tabel 2. Parameter Uji dan Metode Pengujian Kualitas Air

Parameter	Satuan	Metode Pengujian / Standar
Suhu	°C	SNI 06-6989.23-2005 (In situ / Termometer)
pH	-	SNI 6989.11:2019 (In situ / pH Meter)
DO	mg/L	SNI 6989.14:2004 (DO Meter)
Amonia	mg/L	SNI 06-6989.30-2005 (Spektrofotometri Fenat)
Kecerahan	cm	SNI 6484.3:2014 (cakram Secchi)

b) Kuesioner

Populasi 1.970 KK petani KJA diperoleh dari PT PLN Indonesia Power. Rumus Slovin dengan galat 15% menghasilkan kebutuhan minimum 44 responden; sebanyak 45 responden yang memenuhi kriteria digunakan dalam analisis.

Tabel 3. Kebutuhan Data Primer

Data	Kegunaan Data	Cara Mendapatkan Data
Kondisi operasional KJA (gagal panen, kematian ikan, pertumbuhan kerdil)	Menilai dampak sosial-ekonomi dari penurunan kualitas air.	Kuesioner petani KJA (Slovin).
Kondisi perairan pada area KJA di Waduk Saguling	Mengidentifikasi kondisi perairan Waduk di titik stasiun tertentu.	Observasi visual langsung di 6 titik stasiun pemantauan.
Kualitas air (Suhu, pH, DO dan Amonia) di 1 titik dengan kepadatan KJA paling tinggi	Evaluasi Kelayakan Kualitas Air bagi Budidaya Ikan	Pengukuran (uji laboratorium dan <i>in situ</i>).

Responden dipilih dengan purposive sampling melalui kunjungan langsung dan bantuan warga sekitar KJA. Kriterianya berusia minimal 18 tahun, memiliki atau mengelola KJA, terlibat dalam budidaya sekurang-kurangnya satu tahun, mengetahui kondisi air dan ikan, berada di salah satu dari enam lokasi, serta mewakili satu keluarga atau unit usaha. Seluruh 45 responden dianonimkan dan hasilnya hanya menggambarkan pengalaman responden, bukan prevalensi seluruh populasi.

2.2 Data Sekunder

Data sekunder meliputi kualitas air 2004-2025, jumlah KJA, kondisi fisik Waduk Saguling dari PT PLN Indonesia Power, serta citra historis Google Earth Pro (**Tabel 4**).

Tabel 4. Kebutuhan Data Sekunder

Data	Kegunaan Data	Cara Mendapatkan Data
Data kualitas air historis Waduk Saguling tahun 2004–2025 di 6 titik KJA	Menghitung IP serta uji perbedaan musim.	Pengelola waduk (PT. Indonesia Power).
Gambaran umum	Mengetahui kondisi KJA dan jumlah KJA	Pengelola waduk (PT. Indonesia Power).
Citra satelit historis (<i>historical imagery</i>)	Mengidentifikasi variasi spasial dan luasan area KJA dari tahun ke tahun.	Diunduh dan dianalisis melalui perangkat lunak Google Earth Pro

2.3 Analisis Citra Historis

Citra Google Earth tahun 2026 dibandingkan secara visual pada setiap stasiun untuk mengidentifikasi perubahan sebaran KJA, permukiman, pemanfaatan lahan, dan vegetasi air. Interpretasi citra digunakan sebagai konteks perubahan kawasan dan tidak digunakan untuk menghitung jumlah petak KJA secara otomatis.

2.4 Analisis Intensitas Kegiatan Perikanan (Kpi)

Kpi dihitung berdasarkan SE Dirjen SDA No. 02/SE/D/2022 [11] sebagai persentase luas permukaan KJA terhadap luas genangan saat muka air surut minimum.

$$\text{Kegiatan perikanan (Kpi)} = \frac{\text{Total luas KJA}}{\text{Luas waduk minimum}}$$

Kriteria Kpi adalah tidak mencemari (0%), sedikit mencemari (>0-1%), dan sangat mencemari (>1%). Batas maksimum KJA dihitung dari luas KJA setara Kpi 1%, kemudian dikonversi menjadi jumlah petak dengan asumsi empat petak seluas 49 m².

Selain menghitung kondisi eksisting, dilakukan perhitungan jumlah maksimum KJA berdasarkan batas nilai Kpi sebesar 1%. Batas tersebut dipilih karena nilai Kpi lebih dari 1% termasuk kategori sangat mencemari berdasarkan Surat Edaran Direktur Jenderal Sumber Daya Air Nomor 02/SE/D/2022. Luas maksimum KJA dan jumlah maksimum petak dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$L_{KJAmaks} = \frac{K_{pi \text{ batas}}}{100} \times L_{waduk} \rightarrow N_{petakmaks} = \frac{L_{KJAmaks}}{49} \times 4$$

Keterangan: $L_{KJAmaks}$ = luas maksimum area KJA (m²); $K_{pi \text{ batas}}$ = batas nilai Kpi sebesar 1%;

L_{waduk} = luas waduk pada kondisi surut minimum (m²); dan $N_{petakmaks}$ = jumlah maksimum petak KJA.

Apabila hasil perhitungan berupa bilangan desimal, jumlah KJA dibulatkan ke bawah agar nilai Kpi tidak melampaui 1%. Jumlah maksimum tersebut selanjutnya dibandingkan dengan jumlah KJA eksisting untuk menentukan jumlah petak yang melebihi batas dan persentase pengurangan yang diperlukan.

$$N_{\text{lebih}} = N_{\text{eksisting}} - N_{\text{petakmaks}} \rightarrow P_{\text{pengurangan}} = \frac{N_{\text{lebih}}}{N_{\text{eksisting}}} \times 100\%$$

2.5 Analisis Indeks Pencemaran (IP)

Status mutu air ditentukan menggunakan metode IP berdasarkan Kepmen LH Nomor 115 Tahun 2003 [12] dan baku mutu air danau Kelas III pada PP Nomor 22 Tahun 2021 [13]. Nilai IP dihitung dari nilai maksimum dan rata-rata rasio konsentrasi hasil pengukuran terhadap baku mutu. Kategorinya adalah memenuhi baku mutu ($IP \leq 1$), cemaran ringan ($1 < IP \leq 5$), cemaran sedang ($5 < IP \leq 10$), dan cemaran berat ($IP > 10$). Perhitungan menggunakan parameter yang tersedia pada setiap kombinasi tahun, musim, dan stasiun.

2.6 Evaluasi Kelayakan Kualitas Air bagi Budidaya Ikan

Lima parameter primer, yaitu suhu, pH, DO, NH_3 , dan kecerahan, dibandingkan dengan SNI 9044-1:2022 untuk nila, SNI 6494:2013 untuk mas, dan SNI 6483.4:2016 untuk patin siam [14]-[16] (Tabel 5).

Tabel 5. Persyaratan Kualitas Air Pembudidayaan Berdasarkan Jenis Ikan

Parameter Kualitas Air	Satuan	Ikan Nila (SNI 9044-1:2022)	Ikan Mas (SNI 6494:2013)	Ikan Patin Siam (SNI 6483.4:2016)
Suhu	°C	25–30	25–32	26–31
pH	–	6,5–8,5	6,5–8,6	6–9
DO	mg/L	≥ 3	≥ 3	> 3
NH_3	mg/L	$< 0,1$	$\leq 0,02$	$\leq 0,1$
Kecerahan	cm	≥ 50	≥ 30	> 40

2.7 Analisis Deskriptif Dampak Gangguan terhadap Budidaya KJA

Kuesioner mendeskripsikan frekuensi dan gejala gangguan ikan, waktu kejadian, perubahan air, tingkat kematian, dugaan penyebab, serta tindakan petani. Jawaban dianalisis secara deskriptif menggunakan frekuensi dan persentase, kemudian dibandingkan menurut enam lokasi KJA. Analisis tidak digunakan untuk membuktikan hubungan sebab-akibat karena kejadian yang diingat responden tidak dipasangkan dengan pengukuran kualitas air dan dapat dipengaruhi penyakit, cuaca, pakan, kepadatan, serta pengelolaan.

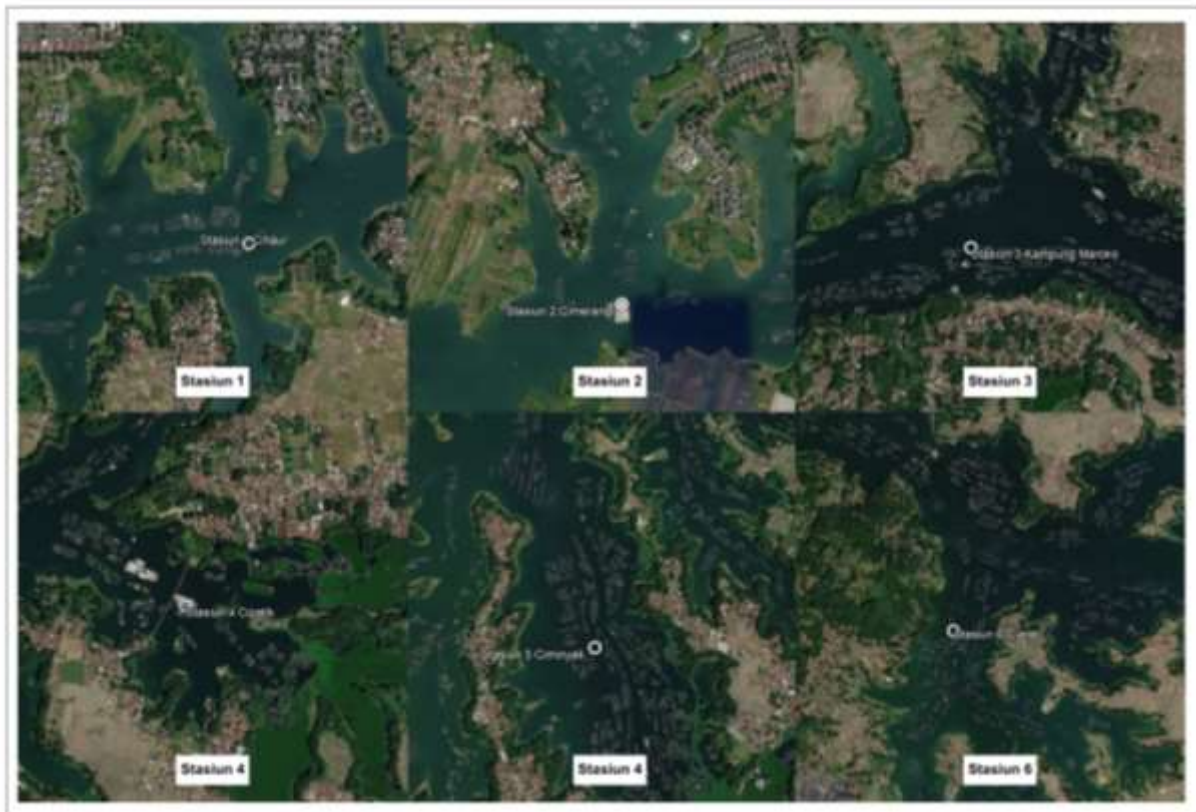
3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Gambaran Umum Waduk Saguling

Waduk Saguling berada di Kabupaten Bandung Barat dan merupakan bagian dari sistem waduk kaskade Sungai Citarum. Selain memasok PLTA Jawa-Bali, waduk ini dimanfaatkan untuk transportasi, wisata, dan budidaya KJA [18]. Pada kondisi maksimum, Waduk Saguling menampung sekitar 982 juta m^3 air dan memiliki volume efektif 611,5 juta m^3 . Pemanfaatan ruangnya dibagi ke dalam beberapa zona, termasuk kawasan budidaya KJA, sehingga kegiatan perikanan perlu dikelola bersama fungsi utama waduk dan kegiatan lainnya [18].

3.2 Kondisi Titik Stasiun Pemantauan KJA

Penelitian ini menggunakan enam stasiun pemantauan di kawasan KJA Waduk Saguling. Stasiun tersebut meliputi Cihaur Kampung Cipeundeuy, Cimerang, Muara Cihaur Kampung Maroko, Muara Cipatik, Muara Ciminyak, dan Muara Cijere. Gambaran kondisi titik stasiun pemantauan disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kondisi Titik Pemantauan KJA
Sumber : Google Earth,2026

Stasiun 1 (Cihaur Kampung Cipeundeuy)

Stasiun 1 menerima aliran anak Sungai Cihaur dan dikelilingi permukiman serta lahan pertanian. KJA terlihat berkelompok di bagian tengah perairan dengan jarak antar beberapa blok.

Stasiun 2 (Cimerang)

Stasiun 2 menerima aliran Sungai Cimerang. Permukiman berada di utara, sedangkan lahan pertanian terlihat di barat dan selatan; KJA tersebar dalam beberapa kelompok yang relatif renggang.

Stasiun 3 (Muara Cihaur Kampung Maroko)

Stasiun 3 berada pada pertemuan anak Sungai Cihaur dan Cimerang dengan Sungai Citarum. KJA tampak lebih rapat daripada di Stasiun 1 dan 2 serta memanjang dari timur ke barat.

Stasiun 4 (Muara Cipatik)

Stasiun 4 berada di Muara Cipatik dan dikelilingi permukiman, perkebunan, serta pertanian. KJA tersebar dalam beberapa kelompok dan vegetasi eceng gondok terlihat di bagian timur.

Stasiun 5 (Muara Ciminyak)

Stasiun 5 berada di Muara Ciminyak yang berbentuk memanjang dan relatif menyempit. KJA menempati sebagian besar area perairan dan secara visual paling rapat dibandingkan stasiun lainnya.

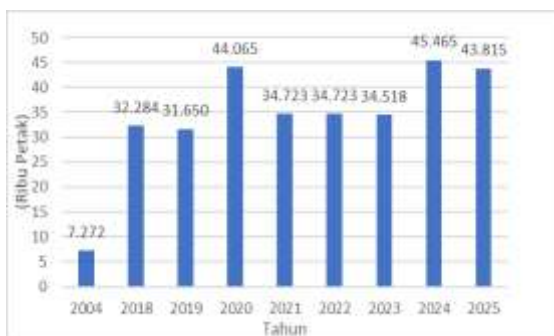
Stasiun 6 (Muara Cijere)

Stasiun 6 berada di Muara Cijere dengan perkebunan di bagian barat serta permukiman dan pertanian di bagian timur. KJA tersusun dalam blok-blok memanjang yang terkonsentrasi di beberapa bagian perairan.

3.3 Kpi

Kpi dihitung menggunakan luas minimum Waduk Saguling 13,27 km² dan asumsi empat petak KJA seluas 49 m² [11]. Data tersedia untuk 2004 dan 2018-2025. Jumlah KJA meningkat dari 7.272 petak pada 2004 menjadi 43.815 petak pada 2025, dengan jumlah tertinggi 45.465 petak pada 2024 (**Gambar 3**). Luas permukaan KJA bertambah dari 0,089 km² pada 2004 menjadi 0,537 km² pada 2025 dan mencapai 0,557

km² pada 2024 (**Gambar 4**). Karena luas KJA menjadi pembilang, perubahan tersebut langsung memengaruhi nilai Kpi. Nilai Kpi sebesar 0,671% pada 2004 termasuk sedikit mencemari. Pada 2018-2025, nilainya berkisar 2,922-4,197% dan seluruhnya termasuk sangat mencemari karena melebihi ambang 1% (**Gambar 5**).



Gambar 3. Grafik Jumlah KJA



Gambar 4. Grafik Total Luasan KJA



Gambar 5. Grafik Nilai Kpi
Sumber : Indonesia Power (2025)

Kpi 2025 sebesar 4,045% menurun dari 4,197% pada 2024, tetapi masih sekitar empat kali ambang 1%. Indikator ini menunjukkan tekanan pemanfaatan ruang, bukan konsentrasi pencemar.

Pada batas Kpi 1%, luas maksimum area KJA adalah:

$$L_{KJAmax} = \frac{1}{100} \times 13.270.000 = 132.700 \text{ m}^2$$

Jumlah maksimum petak KJA adalah:

$$N_{petakmaks} = \frac{132.700}{49} \times 4 = 10.832 \text{ petak}$$

Hasil dibulatkan ke bawah menjadi 10.832 petak atau 2.708 unit KJA, sehingga nilai Kpi tidak melampaui 1%.

Dibandingkan dengan 43.815 petak pada 2025, jumlah yang melebihi batas adalah:

$$43.815 - 10.832 = 32.983 \text{ petak}$$

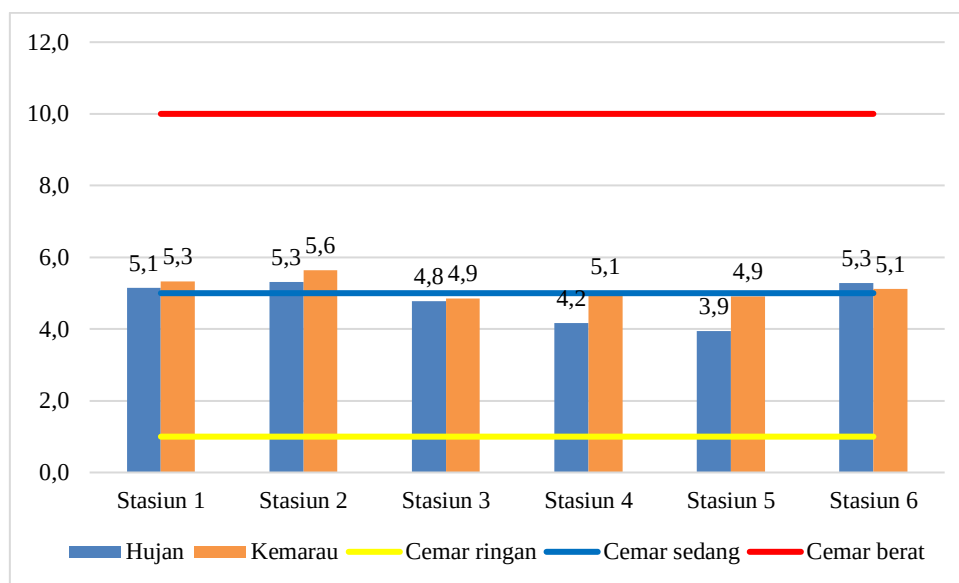
Persentase pengurangan minimum adalah:

$$\frac{32.983}{43.815} \times 100\% = 75,28\%$$

Dengan demikian, diperlukan pengurangan sedikitnya 32.983 petak atau 75,28%. Batas 10.832 petak merupakan batas berdasarkan luas Kpi, bukan penetapan daya dukung ekologis.

3.4 Indeks Pencemaran (IP)

IP dihitung untuk setiap kombinasi tahun, musim, dan stasiun menggunakan parameter yang tersedia berdasarkan Kepmen LH No. 115/2003 dan baku mutu Kelas III PP No. 22/2021 [12], [13]. Sebanyak 264 nilai IP terdiri atas 14 kondisi memenuhi baku mutu, 113 cemar ringan, 132 cemar sedang, dan lima cemar berat. Nilai minimum 0,660 ditemukan di Stasiun 4 pada kemarau 2023, sedangkan maksimum 12,827 terjadi di Stasiun 3 pada hujan 2019. Pada 2025, seluruh stasiun tergolong cemar ringan dengan IP 2,575–3,638. Lima kondisi cemar berat terjadi di Stasiun 4 pada hujan 2004 dan kemarau 2006, Stasiun 2 pada kemarau 2018 dan 2019, serta Stasiun 3 pada hujan 2019. Perbedaan setiap kejadian ditentukan oleh parameter penyusun IP yang tersedia. Rata-rata IP antar lokasi relatif berdekatan. Stasiun 2 memiliki rata-rata tertinggi pada musim hujan (5,306) dan kemarau (5,642), sedangkan Stasiun 5 terendah (3,938 dan 4,910) (**Gambar 6**).



Gambar 6. Grafik Rata-Rata IP per Stasiun KJA (2004–2025)

Pada 2025 nilai Kpi mencapai 4,045% dan termasuk sangat mencemari berdasarkan indikator pemanfaatan ruang, sedangkan IP berada pada 2,575–3,638 dan termasuk cemar ringan. Kedua hasil tidak bertentangan karena Kpi menilai proporsi area KJA, sedangkan IP menilai konsentrasi parameter pada waktu pemantauan. Selama 2018–2025, Kpi konsisten berada di atas 1%, sedangkan IP berfluktuasi dari memenuhi baku mutu hingga cemar berat pada kombinasi tahun, musim, dan stasiun tertentu. Hal tersebut menunjukkan bahwa luas KJA bukan satu-satunya faktor yang berkaitan dengan mutu air; masukan dari daerah tangkapan, kondisi hidrologi, proses internal waduk, dan ketersediaan parameter juga memengaruhi IP.

Dengan demikian, Kpi dan IP sebaiknya digunakan secara berdampingan. Kpi memberikan gambaran tentang besarnya tekanan kegiatan budidaya terhadap ruang waduk, sedangkan IP menunjukkan kondisi mutu air yang terukur. Walaupun IP tahun 2025 masih berada dalam kategori cemar ringan, nilai Kpi yang telah mencapai 4,04% tetap menunjukkan perlunya pengendalian jumlah dan luas KJA agar tekanan terhadap perairan tidak terus meningkat.

3.5 Kesesuaian Kualitas Air bagi Budidaya Ikan

Pengukuran kualitas air eksisting dilakukan di Muara Kampung Maroko dan Muara Ciminyak pada 23 Juli 2026. Kedua lokasi dipilih secara purposif karena merupakan kawasan KJA yang padat; Maroko juga menerima pengaruh aliran Sungai Citarum. Pengukuran dilakukan sekitar pukul 10.00 WIB di Maroko dan pukul 11.00 WIB di Ciminyak.

Kedalaman Muara Kampung Maroko adalah 29 m dengan pengambilan contoh di permukaan, 12 m, dan 24 m. Kedalaman Muara Ciminyak adalah 26 m dengan pengambilan contoh di permukaan, 10 m, dan 21 m. Penetapan tiga titik kedalaman mengikuti prinsip pengambilan contoh waduk berkedalaman 10–30 m dalam SNI 8995:2021. Air dari tiga kedalaman dicampurkan dalam volume yang sama menjadi satu sampel komposit pada setiap lokasi. Suhu, pH, dan DO diukur pada sampel komposit, NH_3 dianalisis di laboratorium, sedangkan kecerahan diukur secara terpisah menggunakan cakram Secchi.

Penggunaan sampel komposit kedalaman dimaksudkan untuk memperoleh gambaran umum kualitas air dalam kolom air di setiap lokasi pengamatan. Akan tetapi, hasil tersebut tidak menunjukkan kondisi pada masing-masing lapisan secara terpisah sehingga kemungkinan adanya perbedaan kualitas air antara permukaan, termoklin, dan dasar tidak dapat diidentifikasi. Hal ini terutama perlu diperhatikan dalam menafsirkan DO karena konsentrasinya dapat berbeda antarlapisan akibat stratifikasi dan proses penguraian bahan organik. Dengan demikian, hasil pengukuran dalam penelitian ini digunakan sebagai gambaran kondisi komposit kolom air pada saat pengambilan sampel.

Hasil pengukuran suhu, pH, DO, NH_3 , dan kecerahan dibandingkan dengan persyaratan SNI bagi ikan nila, mas, dan patin siam pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil Pengukuran dan Persyaratan Kualitas Air Budidaya Ikan

Parameter	Satuan	Muara Kampung Maroko	Muara Ciminyak	Ikan nila 9044-1:2022	Ikan mas 6494:2013	Patin siam 6483.4:2016
Suhu	°C	27,1	27,5	25–30	25–32	26–31
pH	–	6,84	6,54	6,5–8,5	6,5–8,6	6–9
DO	mg/L	3,05	2,00	≥ 3	≥ 3	> 3
Amonia	mg/L	1,0	0,3	$< 0,1$	$\leq 0,02$	$\leq 0,1$
Kecerah an	cm	100	130	≥ 50	≥ 30	> 40

Berdasarkan **Tabel 6**, suhu di Muara Kampung Maroko (27,1 °C) dan Muara Ciminyak (27,5 °C) masih memenuhi persyaratan bagi ikan nila, ikan mas, dan ikan patin siam. Nilai pH di kedua lokasi juga masih sesuai, masing-masing 6,84 dan 6,54. Namun, pH Muara Ciminyak mendekati batas minimum 6,5 sehingga perlu diperhatikan karena memengaruhi kondisi fisiologis ikan dan keseimbangan $\text{NH}_3\text{--NH}_4^+$.

Keccerahan di Muara Kampung Maroko dan Muara Ciminyak masing-masing sebesar 100 cm dan 130 cm. Nilai tersebut memenuhi persyaratan untuk ikan nila dan ikan mas serta melampaui persyaratan lebih dari 40 cm bagi induk ikan patin siam berdasarkan SNI 6483.4:2016. Namun, standar tersebut hanya digunakan sebagai pembandingan teknis karena mengatur produksi benih, bukan pembesaran ikan patin dalam KJA di waduk. Nilai DO di Muara Kampung Maroko sebesar 3,05 mg/L masih memenuhi persyaratan lebih dari 3 mg/L, tetapi sangat dekat dengan batas minimum. Sebaliknya, DO di Muara Ciminyak sebesar 2,00 mg/L belum memenuhi persyaratan bagi ketiga komoditas. Kondisi DO rendah dapat menghambat respirasi, aktivitas makan, dan pertumbuhan serta meningkatkan stres dan risiko kematian ikan [19].

Konsentrasi NH_3 di Muara Kampung Maroko dan Muara Ciminyak masing-masing sebesar 1,0 mg/L dan 0,3 mg/L. Nilai tersebut melampaui batas maksimum 0,02 mg/L bagi ikan nila dan ikan mas serta 0,1 mg/L bagi benih ikan patin siam. Tingginya NH_3 diduga berkaitan dengan penguraian sisa pakan, feses, bahan organik di kawasan KJA, dan masukan Sungai Citarum, tetapi kontribusi setiap sumber tidak dapat ditentukan secara terpisah dalam penelitian ini. Secara keseluruhan, suhu, pH, dan kecerahan memenuhi persyaratan di kedua lokasi. Muara Kampung Maroko belum sepenuhnya sesuai karena NH_3 melampaui batas, sementara DO perlu diperhatikan karena mendekati nilai minimum. Muara Ciminyak memiliki dua parameter yang belum memenuhi persyaratan, yaitu DO dan NH_3 .

3.6 Dampak Gangguan Kondisi Perairan terhadap Budidaya Ikan

Dampak gangguan dianalisis secara deskriptif dari jawaban 45 petani KJA pada enam lokasi.

3.6.1 Karakteristik Responden dan Usaha Budidaya

Seluruh lokasi diwakili tujuh hingga sembilan responden pada **Tabel 7**, dengan jumlah terbanyak di Ciminyak.

Tabel 7. Sebaran Responden Berdasarkan Lokasi KJA

Lokasi KJA	Jumlah (orang)	Persentase (%)
Stasiun 1 (Cihaur)	7	15,6
Stasiun 2 (Cimerang)	7	15,6
Stasiun 3 (Maroko)	8	17,8
Stasiun 4 (Cipatik)	7	15,6
Stasiun 5 (Ciminyak)	9	20,0

Lokasi KJA	Jumlah (orang)	Persentase (%)
Stasiun 6 (Cijere)	7	15,6
Total	45	100,0

Dari 44 jawaban valid, 27 responden telah menjalankan usaha KJA selama 5-10 tahun, 15 responden kurang dari lima tahun, dan dua responden lebih dari 20 tahun. Seluruh responden membudidayakan nila; 34 juga membudidayakan patin dan 21 membudidayakan mas. Pertanyaan jenis ikan memperbolehkan lebih dari satu jawaban.

3.6.2 Bentuk dan Frekuensi Gangguan pada Ikan Budidaya

Penurunan nafsu makan (86,7%) dan ikan mangap-mangap (82,2%) merupakan gangguan yang paling sering pernah dialami, sedangkan 77,3% responden melaporkan kematian massal pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Frekuensi Gangguan pada Ikan Selama Tiga Tahun Terakhir

Indikator	Tidak pernah	1 kali	2-3 kali	>3 kali	Pernah (%)	n valid
Ikan mangap-mangap	8	16	17	4	82,2	45
Ikan lemas	13	11	15	6	71,1	45
Ikan tidak nafsu makan	6	25	14	0	86,7	45
Renang tidak normal	34	6	4	0	22,7	44
Kematian massal	10	9	25	0	77,3	44

Berdasarkan **Tabel 8**, gejala mangap-mangap, lemas, dan penurunan nafsu makan menunjukkan adanya gangguan fisiologis pada ikan, tetapi gejala tersebut tidak bersifat spesifik terhadap satu parameter kualitas air. Penelitian [19] menunjukkan bahwa kondisi hipoksia dan peningkatan karbon dioksida dapat menekan nafsu makan serta menurunkan pemanfaatan pakan pada ikan nila. H₂S juga diketahui bersifat toksik bagi organisme budidaya dan dapat menyebabkan kematian ikan dalam waktu singkat ketika konsentrasinya meningkat [20]. Namun, kuesioner ini tidak disertai pengukuran kualitas air pada waktu gangguan terjadi sehingga penyebab setiap kejadian tidak dapat ditentukan hanya dari gejala yang dilaporkan. Waktu gangguan dinyatakan tidak menentu oleh 95,6% responden dan musim hujan oleh 4,4%, sehingga tidak terlihat pola musiman yang konsisten.

3.6.3 Perubahan Air, Tingkat Kematian, dan Tindakan Petani

Kekeruhan merupakan perubahan air paling banyak dilaporkan (82,2%), diikuti perubahan warna (55,6%) dan bau (35,6%) pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Perubahan Air, Tingkat Kematian, dan Tindakan Petani

Aspek	Kategori	Jumlah (orang)	Persentase (%)	Keterangan
Perubahan air	Berubah warna	25	55,6	Jawaban ganda
Perubahan air	Keruh	37	82,2	Jawaban ganda
Perubahan air	Berbau	16	35,6	Jawaban ganda
Perubahan air	Tidak tahu	7	15,6	Jawaban ganda
Kematian terparah	Tidak ada	11	24,4	Jawaban tunggal
Kematian terparah	<50%	13	28,9	Jawaban tunggal
Kematian terparah	>50%	21	46,7	Jawaban tunggal
Tindakan	Tidak ada	23	51,1	Jawaban ganda
Tindakan	Kurangi pakan	21	46,7	Jawaban ganda
Tindakan	Panen dini	2	4,4	Jawaban ganda

Berdasarkan **Tabel 9**, pada kejadian terparah, 34 responden atau 75,6% mengalami kematian ikan, terdiri atas 13 responden dengan kematian kurang dari 50% dan 21 responden dengan kematian lebih dari

50%. Sebanyak 11 responden atau 24,4% menyatakan tidak mengalami kematian. Proporsi tersebut menggambarkan beratnya dampak yang dialami responden, tetapi penyebabnya tidak dapat dipisahkan dari penyakit, kepadatan, pakan, cuaca, dan pengelolaan.

Tindakan yang paling banyak dilakukan adalah mengurangi pakan, yaitu dipilih oleh 21 responden atau 46,7%, sedangkan panen dini hanya dipilih oleh dua responden atau 4,4%. Sebanyak 23 responden atau 51,1% menyatakan tidak melakukan tindakan. Pada dua jawaban awal, pilihan “Tidak ada” muncul bersamaan dengan “Kurangi pakan”; untuk analisis jawaban ganda, pilihan “Tidak ada” dikeluarkan dan tindakan pengurangan pakan dipertahankan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa respons petani masih didominasi pengurangan pakan dan belum menggambarkan penerapan tindakan mitigasi yang beragam.

3.6.4 Perbandingan Dampak Menurut Lokasi KJA

Proporsi responden yang pernah mengalami kematian ikan berbeda antarlokasi. Seluruh responden di Stasiun 4 Cipatik dan Stasiun 6 Cijere melaporkan kematian ikan; proporsinya 87,5% di Stasiun 3 Maroko, 85,7% di Stasiun 2 Cimerang, 57,1% di Stasiun 1 Cihaur, dan 33,3% di Stasiun 5 Ciminyak. Variasi tersebut tidak menunjukkan pola tunggal. Karena setiap lokasi hanya diwakili tujuh hingga sembilan responden, waktu kejadian tidak seragam, dan kualitas air tidak diukur ketika gangguan berlangsung, hasil ini hanya menggambarkan pengalaman responden. Perbandingan tidak digunakan sebagai peringkat kualitas air atau bukti bahwa lokasi tertentu menjadi penyebab kematian. Rincian tingkat kematian menurut lokasi disajikan pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Kematian Ikan Berdasarkan Lokasi KJA

Lokasi	n	Tidak ada	<50%	>50%	Mengalami kematian (%)	Rerata gangguan	skor
Stasiun 1 (Cihaur)	7	3	2	2	57,1	0,71	
Stasiun 2 (Cimerang)	7	1	1	5	85,7	0,71	
Stasiun 3 (Maroko)	8	1	5	2	87,5	0,90	
Stasiun 4 (Cipatik)	7	0	0	7	100,0	1,57	
Stasiun 5 (Ciminyak)	9	6	2	1	33,3	1,45	
Stasiun 6 (Cijere)	7	0	3	4	100,0	1,13	

3.6.5 Ringkasan Dampak Gangguan terhadap Budidaya

Tabel 11 merangkum indikator utama dampak gangguan yang dilaporkan responden.

Tabel 11. Ringkasan Indikator Dampak Utama

Indikator	Jumlah	Persentase	Keterangan
Penurunan nafsu makan	39	86,7%	Pernah dialami
Ikan mangap-mangap	37	82,2%	Pernah dialami
Kematian massal	34	77,3%	44 jawaban valid
Kematian >50%	21	46,7%	Kejadian terparah
Waktu tidak menentu	43	95,6%	Waktu gangguan
Mengurangi pakan	21	46,7%	Tindakan

Berdasarkan Tabel 11, gangguan kondisi perairan dirasakan melalui perubahan perilaku ikan, penurunan nafsu makan, perubahan fisik air, dan kematian. Namun, data tidak memuat parameter kualitas air pada waktu kejadian sehingga tidak digunakan untuk menyatakan hubungan sebab-akibat.

Secara keseluruhan, 75,6% responden mengalami kematian ikan pada kejadian terparah dan 46,7% melaporkan kematian lebih dari 50%. Temuan ini mendukung perlunya pemantauan rutin, pencatatan kejadian, komunikasi peringatan dini, dan tindakan operasional yang lebih terstruktur bagi petani KJA.

4. Kesimpulan

Citra historis 2006-2025 menunjukkan pertambahan dan perubahan sebaran KJA serta perkembangan pemanfaatan lahan di sekitar enam stasiun, dengan pola tekanan kawasan yang berbeda pada setiap lokasi. Nilai Kpi meningkat dari 0,671% pada 2004 menjadi 2,922-4,197% selama 2018-2025; nilai 2025 sebesar 4,045% termasuk sangat mencemari karena melampaui ambang 1%. Berdasarkan batas aritmetis Kpi, jumlah maksimum adalah 10.832 petak, sehingga jumlah KJA tahun 2025 melebihi batas sebanyak 32.983 petak. Hasil perhitungan 264 nilai IP terdiri atas 14 kondisi memenuhi baku mutu, 113 cemar ringan, 132 cemar sedang, dan lima cemar berat. Nilai tertinggi sebesar 12,827 terjadi di Stasiun 3 pada musim hujan 2019, sedangkan pada 2025 seluruh stasiun berada dalam kategori cemar ringan dengan nilai 2,575-3,638.

Pengukuran primer tanggal 23 Juli 2026 menunjukkan bahwa suhu, pH, dan kecerahan memenuhi persyaratan pada Maroko dan Ciminyak. NH_3 belum memenuhi persyaratan ketiga komoditas di kedua lokasi; DO belum memenuhi persyaratan di Ciminyak dan hanya sedikit di atas batas minimum di Maroko. Berdasarkan 45 responden, 75,6% mengalami kematian ikan pada kejadian gangguan terparah dan 46,7% melaporkan kematian lebih dari 50%. Temuan survei menggambarkan pengalaman responden, tetapi tidak membuktikan hubungan sebab-akibat dengan parameter kualitas air tertentu karena waktu kejadian tidak dipasangkan dengan pengukuran kualitas air.

5. Referensi

- [1] E. S. Kartamihardja and Krismono, *Ekologi dan Pengelolaan Perikanan Waduk Kaskade Sungai Citarum*. Jakarta: AMAFRAD Press, 2016.
- [2] M. Marselina, A. Sabar, and N. Fahimah, 'Spatial and temporal assessment of surface water quality using water quality index: The Saguling Reservoir, Indonesia,' *Journal of Water and Land Development*, no. 49, pp. 111-120, 2021, doi: 10.24425/jwld.2021.137103.
- [3] E. M. Adiwilaga, 'Pengaruh pencampuran berbagai kolom air terhadap kadar DO di keramba jaring apung Waduk Saguling,' *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*, vol. 16, no. 2, pp. 145-151, 2009.
- [4] M. Marselina and M. Burhanudin, 'Trophic status assessment of Saguling Reservoir, Upper Citarum Basin, Indonesia,' *Air, Soil and Water Research*, vol. 10, 2017, doi: 10.1177/1178622117746660.
- [5] Z. Hasan, I. Iskandar, U. Subhan, and Y. Andriani, 'Introduksi teknologi aerasi terbaru pada kelompok pembudidaya ikan patin di KJA Waduk Saguling,' *Dharmakarya*, vol. 9, no. 2, p. 85, 2020, doi: 10.24198/dharmakarya.v9i2.25131.
- [6] Y. Garno, 'Dampak eutrofikasi terhadap struktur komunitas dan evaluasi metode penentuan kelimpahan fitoplankton,' *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 13, p. 67, 2016, doi: 10.29122/jtl.v13i1.1406.
- [7] A. S. Nastiti, S. T. Hartati, and B. Nugraha, 'Analisis degradasi lingkungan perairan dan keterkaitannya dengan kematian massal ikan budidaya di Waduk Cirata,' *BAWAL*, vol. 10, no. 2, pp. 99-109, 2018.
- [8] Y. S. Garno, A. Riyadi, I. Iskandar, and D. R. Kendarto, 'The impact of aquaculture in floating net cages exceeding the carrying capacity on water quality and organic matter distribution: The case of Batur Lake, Indonesia,' *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 33, no. 4, pp. 3145-3158, 2024, doi: 10.15244/pjoes/176540.
- [9] P. Wiranegara, Sunardi, D. Sumiarsa, and H. Juahir, 'Characteristics and changes in water quality based on climate and hydrology effects in the Cirata Reservoir,' *Water*, vol. 15, no. 17, p. 3132, 2023, doi: 10.3390/w15173132.
- [10] E. Wardhani and Z. A. Sugiarti, 'Depth profiles of dissolved oxygen and hydrogen sulfide concentration in a tropical freshwater reservoir,' *Jurnal Presipitasi*, vol. 19, no. 2, pp. 316-329, 2022, doi: 10.14710/presipitasi.v19i2.316-329.
- [11] Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Surat Edaran Nomor 02/SE/D/2022 tentang Pedoman Penilaian Kondisi Ekosistem Waduk. Jakarta, 2022.
- [12] Kementerian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia, Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Jakarta, 2003.
- [13] Pemerintah Republik Indonesia, Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta, 2021.

- [14] Badan Standardisasi Nasional, SNI 9044-1:2022: Ikan Nila (*Oreochromis* sp.)-Bagian 1: Pembesaran di Karamba Jaring Apung. Jakarta, 2022.
- [15] Badan Standardisasi Nasional, SNI 6494:2013: Pembesaran Ikan Mas (*Cyprinus carpio* L.) Strain Majalaya di Karamba Jaring Apung. Jakarta, 2013.
- [16] Badan Standardisasi Nasional, SNI 6483.4:2016: Ikan Patin Siam (*Pangasianodon hypophthalmus*)-Bagian 4: Produksi Benih. Jakarta, 2016.
- [17] Badan Standardisasi Nasional, SNI 8995:2021: Metode Pengambilan Contoh Uji Air untuk Pengujian Fisika dan Kimia. Jakarta, 2021.
- [18] PT PLN Indonesia Power, Profile PLTA Saguling. Bandung Barat, 2025.
- [19] M. I. Hamad, H. A. Lamtane, R. N. Munubi, and P. V. Skov, 'Individual and combined effects of hypoxia and hypercapnia on feeding in Nile tilapia,' *Aquaculture*, vol. 567, p. 739239, 2023, doi: 10.1016/j.aquaculture.2023.739239.
- [20] E. Lien et al., 'The SeaRAS AquaSense system: Real-time monitoring of H₂S in recirculating aquaculture systems,' *Frontiers in Marine Science*, vol. 9, p. 894414, 2022, doi: 10.3389/fmars.2022.894414.