

## Penentuan Status Trofik Melalui Beberapa Pendekatan (Studi Kasus: Waduk Cirata) [Trophic Status Determination Based on Several Approaches (Case Study: Cirata Reservoir)]

Niken TM Pratiwi, Sigid Hariyadi, Nugraha Bagoes Soegesty, & Dwi Yuni Wulandari

Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB

Email: niken\_tmpratiwi@apps.ipb.ac.id

Memasukkan: April 2020, Diterima: Mei 2020

### ABSTRACT

Cirata Reservoir is a cascade reservoir in West Java that is used for floating cage fish farming. High organic content originated from the residue of the feed causes eutrophication of reservoir waters. The purpose of this study was to assess the trophic status of the Cirata Reservoir through several trophic states index. The results shows that the presence of the phytoplankton community, in response to water quality, was dominated by groups tolerant to high nutrient concentration. The highest value is found in locations with dense of floating cage activity, that increases with increasing water depth. All approaches used indicate that the Cirata Reservoir is classified as eutrophic to hyper-eutrophic.

**Keywords:** Cyanophyceae, eutrophic, trophic states

### ABSTRAK

Waduk Cirata adalah waduk cascade di Jawa Barat yang dimanfaatkan sebagai area untuk kegiatan budidaya ikan keramba apung. Kandungan organik yang tinggi dari sisa pakan menyebabkan eutrofikasi perairan reservoir. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menilai status trofik Waduk Cirata melalui beberapa pendekatan indeks kesuburan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberadaan komunitas fitoplankton, sebagai respon terhadap kualitas air, didominasi oleh kelompok yang toleran terhadap kandungan nutrisi tinggi. Nilai tertinggi dijumpai pada lokasi dengan padat keramba jaring apung yang meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman perairan. Seluruh pendekatan yang digunakan mengindikasikan bahwa Waduk Cirata tergolong eutrofik hingga hiper-eutrofik.

**Kata Kunci:** Cyanophyceae, eutrofik, tingkat kesuburan

### PENDAHULUAN

Waduk Cirata yang mulai dioperasikan pada tahun 1987 sebagai PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) telah mengalami perkembangan pemanfaatan. Pemanfaatan yang paling berkembang adalah kegiatan perikanan budidaya dengan sistem keramba jaring apung (KJA), yang dimulai pada tahun 1988. Berdasarkan hasil survei sejak tahun 1988-2011 rata-rata peningkatan setiap tahunnya sebesar 2.302 unit KJA/tahun (BPWC 2011). Jumlah KJA yang pada awal beroperasi berjumlah 74 unit, bertambah menjadi 77000 unit pada tahun 2017, sementara yang diizinkan beroperasi adalah 12 000 unit (BPWC 2011). Luas cakupan aktivitas KJA tersebut mencapai 6,45% dari luas area waduk. Sementara, batas maksimal yang diperbolehkan adalah 0,3% dari luas perairan waduk (Sudrajat *et al.* 2010).

Jumlah KJA yang jauh lebih tinggi dari daya dukung menyebabkan masukan bahan organik

yang terlalu tinggi akibat sisa pakan dan hasil metabolisme ikan (Purnamaningtyas & Tjahjo 2008). Di sisi lain, masukan bahan organik tidak hanya dari KJA, melainkan juga dari kegiatan antropogenik di sekitar Waduk Cirata, seperti pemukiman, pertanian, perkebunan, dan pariwisata. Materi tersebut masuk melalui *run off* dan sungai-sungai, seperti Sungai Citarum, Cicendo, Cibalagung, Cisokan, Cikundul, dan sungai-sungai kecil. Bahan organik tersebut, melalui proses dekomposisi, berpotensi meningkatkan kandungan nutrisi di perairan yang akan meningkatkan kesuburan perairan (Zhou *et al.* 2011, Hoverman & Johnson 2012, Maniagasi *et al.* 2013, McDowell & Hamilton 2013).

Proses dekomposisi bahan organik menyebabkan turunnya konsentrasi oksigen secara drastis yang dapat menghasilkan senyawa beracun dan mengganggu kehidupan ikan, seperti berjangkitnya penyakit, bahkan kematian masal ikan di KJA, sehingga menyebabkan turunnya

produksi ikan budidaya (Sudrajat *et al.* 2010).

Status kesuburan atau status trofik perairan dapat ditentukan berdasarkan berbagai pendekatan, baik secara biologi maupun kombinasi antara biologi dengan kualitas air (Pratiwi *et al.* 2013, Pratiwi *et al.* 2017). Hal tersebut dilandaskan pemahaman bahwa perubahan tingkat trofik diindikasikan oleh terjadinya perubahan kualitas air, termasuk perubahan kondisi biologi, dalam hal ini keberadaan fitoplankton (Nedovic & Hollert 2005, Diaz *et al.* 2012, Ayoade 2019).

Status kesuburan perairan dapat diduga menggunakan nilai kisaran parameter total fosfat (TP), klorofil-a dan kedalaman Secchi *disk* (OECD 1982 *in* Henderson-Sellers & Markland 1987, (EPA 2000 *in* Tas 2012). Status kesuburan perairan juga dapat diketahui melalui beberapa indeks, antara lain Indeks Nygaard (In) (Bellinger & Sigeo 2010), *Trophic Index* (TRIX) (Vollenweider *et al.* 1998), *Trophic State Index* (TSI) (Carlson 1977), *Trophic Level Index* (TLI) (Burns *et al.* 2005), dan Metode Delphi (DM) (Hortan 1965 *in* Parparov *et al.* 2010). Pemantauan status kesuburan perairan diperlukan dalam upaya pengelolaan perairan yang berkelanjutan terkait beragamnya kegiatan di Waduk Cirata. Kajian ini bertujuan untuk menilai status trofik Waduk Cirata melalui beberapa pendekatan indeks kesuburan.

## BAHAN DAN CARA KERJA

Penelitian dilakukan di Waduk Cirata, Jawa Barat yang secara geografis berada pada koordinat 6° 44' 14" LS dan 107° 17' 56" BT (Gambar 1). Pengambilan contoh dilakukan secara spasial dengan titik horizontal dan vertikal. Pengambilan contoh secara horizontal dilakukan pada empat stasiun, sedangkan secara vertikal dilakukan pada tiga titik kedalaman di setiap stasiun pengamatan.

Secara horizontal, Stasiun 1 dan 3 mewakili zona tanpa KJA, Stasiun 2 mewakili zona KJA, dan Stasiun 4 mewakili muara Sungai Citarum sebagai inlet utama. Pengambilan contoh secara vertikal dilakukan di kedalaman permukaan/eufotik (0,2 m); kedalaman 5 m sebagai posisi kedalaman maksimal KJA; serta kedalaman 1-3 m dari dasar bertujuan untuk melihat kondisi di dasar perairan yang mengalami pengendapan bahan-bahan organik.

Pengamatan dan pengambilan contoh untuk

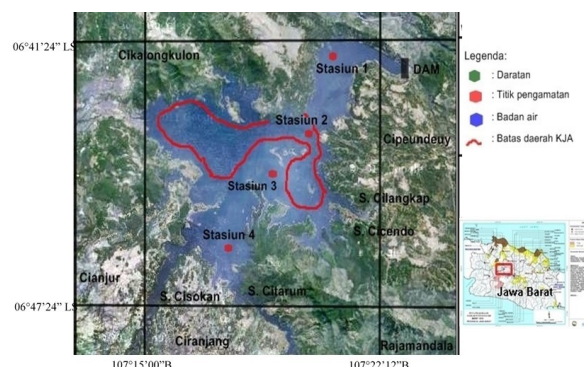
analisis kualitas air dilakukan terhadap parameter fisika, kimia, dan biologi. Parameter-parameter tersebut adalah suhu, kecerahan, kekeruhan, padatan terlarut total (TDS), padatan tersuspensi total (TSS), pH, oksigen terlarut (DO), nitrit (NO<sub>2</sub>N), nitrat (NO<sub>3</sub>-N), amonia (NH<sub>3</sub>-N), nitrogen total, ortofosfat (PO<sub>4</sub><sup>-</sup>), fosfat total, alkalinitas, klorofil-a, dan fitoplankton.

Seluruh parameter fisika, kimia dan biologi dianalisis mengikuti APHA 2005 dan 2012. Sementara, fitoplankton diidentifikasi berdasarkan Belcher & Swale (1978, 1979); Mizuno (1979); dan Prescott (1970). Teknik pencacahan fitoplankton dilakukan menggunakan SRC dengan teknik strip (Wetzel & Likens 1991).

Status kesuburan perairan berdasarkan *trophic continuum* yang dibagi ke dalam tiga kelas yaitu oligotrofik, mesotrofik dan eutrofik (Carlson 1977). Penentuan status kesuburan perairan dilakukan berdasarkan kondisi fisika, kimia dan biologi perairan melalui berbagai indeks, di antaranya Indeks Nygaard (In), *Trophic Index* (TRIX), *Trophic State Index* (TSI), *Trophic Level Index* (TLI) dan Metode Delphi.

Indeks Nygaard (In) menggunakan fitoplankton untuk menentukan status kesuburan perairan. Perairan tergolong oligotrof, mesotrof, dan eutrof, berturut-turut diindikasikan dengan nilai In sebesar kurang dari 1, antara 1-2,5, dan lebih dari 2,5. Rumus perhitungan In (Bellinger & Sigeo 2010), disajikan sebagai berikut.

$$In = \frac{\text{Myxophyceae} + \text{Chlorococcales} + \text{Centric diatom} + \text{divisi Euglenophyceae}}{\text{Desmidiaceae}}$$



**Gambar 2.** Peta Waduk Cirata dan stasiun pengambilan contoh

TRIX dapat diterapkan untuk menilai status kesuburan perairan dalam periode panjang, dengan kriteria yang tersaji pada Tabel 1 (Vollenweider *et al.* 1998). Formula TRIX disajikan sebagai berikut.

$$TRIX = \frac{k}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{(\text{Log } M - \text{Log } L)}{(\text{Log } U - \text{Log } L)} \right)$$

**Keterangan:**

- K = faktor skala (10)
- n = banyaknya parameter yang dianalisis (4)
- U = nilai maksimum parameter
- L = nilai minimum parameter
- M = nilai median parameter

TSI merupakan analisis status kesuburan melalui penggabungan tiga pendekatan parameter utama, yaitu kedalaman keping Secchi (TSI-SD), konsentrasi fosfat total (TSI-TP) dan kandungan klorofil-a (TSI-Chl). Nilai TSI diperoleh dengan merata-ratakan hasil penjumlahan TSI-SD, TSI-TP dan TSI-Chl dengan kriteria yang disajikan pada Tabel 2 (Carlson 1977). Formulasi untuk penentuan nilai TSI-SD, TSI-TP dan TSI-Chl adalah sebagai berikut.

$$TSI (SD) = 10 \left( 6 - \frac{\ln SD}{\ln 2} \right)$$

$$TSI (TP) = 10 \left( 6 - \frac{\ln \frac{48}{TP}}{\ln 2} \right)$$

$$TSI (Chl) = 10 \left( 6 - \frac{2,04 - 0,68 \ln Chl}{\ln 2} \right)$$

**Tabel 1.** Kriteria perairan berdasarkan nilai TRIX (Vollenwieder *et al.* 1998)

Skala	Kondisi	Status
< 2	Produktivitas dan unsur hara rendah	Sangat bagus (Ultra-oligotrofik)
2-4	Produktivitas dan unsur hara rendah	Bagus (Oligotrofik)
4-5	Produktivitas dan unsur hara sedang	Cukup bagus (Mesotrofik)
5-6	Produktivitas sedang menuju tinggi dengan unsur hara tinggi	Sedang (Mesotrofik ke Eutrofik)
6-8	Produktivitas sangat tinggi dengan unsur hara sangat tinggi	Buruk (Eutrofik)

$$TSI \text{ rerata} = \frac{TSI (SD) + TSI (TP) + TSI (Chl)}{3}$$

**Keterangan:**

- TSI (SD) = Nilai TSI untuk Secchi *disk*
- TSI (TP) = Nilai TSI untuk total fosfat
- TSI (Chl) = Nilai TSI untuk klorofil-a
- SD = Secchi *disk* (m)
- TP = Total fosfat (mg/m<sup>3</sup>)
- Chl = Klorofil-a (mg/m<sup>3</sup>)

*Trophic Level Index* melibatkan nilai nitrogen total sebagai faktor yang menggambarkan ketersediaan nutrisi di perairan (Burns *et al.* 2005). Nilai *Trophic Level Index* dengan kriteria yang tersaji pada Tabel 3, dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$TLI_{chl} = 2,22 + 2,54 \log_{10} (Chl)$$

$$TLI_s = 5,10 + 2,60 \log_{10} \left( \frac{1}{S} - \frac{1}{40} \right)$$

$$TLI_{TP} = 0,28 + 2,92 \log_{10} (TP)$$

$$TLI_{TN} = -3,61 + 3,01 \log_{10} (TN)$$

$$TLI \text{ rerata} = \frac{TLI_{chl} + TLI_s + TLI_{TP} + TLI_{TN}}{4}$$

**Keterangan:**

- TLI<sub>chl</sub> = Nilai TLI untuk klorofil-a
- TLI<sub>s</sub> = Nilai TLI untuk kedalaman Secchi *disk*
- TLI<sub>TP</sub> = Nilai TLI untuk total fosfat
- TLI<sub>TN</sub> = Nilai TLI untuk total nitrogen
- TP = Total fosfat (mg/l)
- Chl = Klorofil-a (mg/m<sup>3</sup>)
- TN = Total nitrogen (mg/l)
- S = Kedalaman Secchi *disk* (m)

*Trophic Level Index* melibatkan nilai nitrogen total sebagai faktor yang menggambarkan ketersediaan nutrisi di perairan (Burns *et al.* 2005). Nilai *Trophic Level Index* dengan kriteria yang tersaji pada Tabel 3, dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$TLI_{chl} = 2,22 + 2,54 \log_{10} (Chl)$$

$$TLI_s = 5,10 + 2,60 \log_{10} \left( \frac{1}{S} - \frac{1}{40} \right)$$

$$TLI_{TP} = 0,28 + 2,92 \log_{10} (TP)$$

$$TLI_{TN} = -3,61 + 3,01 \log_{10} (TN)$$

$$TLI \text{ rerata} = \frac{TLI_{Chl} + TLI_S + TLI_{TP} + TLI_{TN}}{4}$$

**Keterangan:**

- TLI<sub>Chl</sub> = Nilai TLI untuk klorofil-a
- TLI<sub>S</sub> = Nilai TLI untuk kedalaman Secchi disk
- TLI<sub>TP</sub> = Nilai TLI untuk total fosfat
- TLI<sub>TN</sub> = Nilai TLI untuk total nitrogen
- TP = Total fosfat (mg/l)
- Chl = Klorofil-a (mg/m<sup>3</sup>)
- TN = Total nitrogen (mg/l)
- S = Kedalaman Secchi disk (m)

Metode Delphi (Brown 1970 in Parpavov *et al.* 2010) gabungan perhitungan dari metode *Trophic Level Index*. Rumus untuk memperoleh peringkat menggunakan Metode Delphi (Tabel 4) adalah:

$$R[TLI] = 140 - (20 \times TLI)$$

**Keterangan:**

- R = Peringkat Metode Delphi (0 < R < 100)
- TLI = *Trophic Level Index*

Salah satu pendekatan untuk menentukan produktivitas perairan terkait faktor-faktor abiotik lingkungan adalah *Morphoedaphic Index* (MEI). Prinsip MEI adalah bahwa nutrisi (TDS) dan energi matahari (dipengaruhi oleh kedalaman perairan) menjadi komponen utama yang mempengaruhi produksi rata-rata organisme autotrof (fitoplankton) serta air lain, seperti ikan. Nilai MEI diperoleh dengan membagi nilai TDS dengan kedalaman rata-rata (Ryder 1965 in Ryder 1982) sebagai berikut.

$$Y = 14,3136 \times MEI^{0,4681}$$

**Keterangan:**

- Y = produksi ikan (kg/ha)
- MEI = *Morphoedaphic index*

**HASIL**

**Keberadaan Fitoplankton**

Selama penelitian ditemukan fitoplankton dari kelompok Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Cyanophyceae, Euglenophyceae, Dinophyceae, Zygnematomyxozoa, Trebouxiophyceae, dan Zygnematomyxozoa. Kelimpahan dan jumlah jenis fitoplankton di Waduk Cirata disajikan pada Tabel 5. Penyajian keberadaan fitoplankton dari lokasi tanpa KJA (Stasiun 1 dan 3) digabung dalam satu seri data. Secara umum terdapat tiga kelompok fitoplankton dengan kelimpahan yang relatif tinggi, yaitu Bacillariophyceae, Chlorophyceae, dan Cyanophyceae.

Kelimpahan dan komposisi fitoplankton tersebut merupakan respon dari kualitas air dan nutrisi yang ada di perairan (Fachrul *et al.* 2008) Kandungan klorofil-a sebagai indikator untuk menentukan biomassa fitoplankton (Myslik 1985), bervariasi di seluruh stasiun, dan tertinggi di Stasiun 4. Hal ini berkaitan dengan variasi komposisi fitoplankton, ketersediaan nutrisi, *grazing*, dan pergerakan massa air pada setiap stasiun (Bold & Wynne 1985).

**Kualitas Air**

Nilai hasil pengukuran parameter fisika dan kimia tersebut disajikan pada Tabel 6. Nilai

**Tabel 2.** Status kesuburan perairan berdasarkan TSI (Carlson 1977)

TSI	SD (m)	TP (mg/m <sup>3</sup> )	Chl (mg/m <sup>3</sup> )	Status
< 30 – 40	> 8 – 4	6 – 12	0,94 – 2,6	Oligotrof
40 -50	4 - 2	12 – 24	2,6 – 6,4	Mesotrof
50 – 70	2 – 0,5	24 – 96	6,4 – 56	Eutrof
70 – 100	0,5 – 0,062	96 – 768	56 – 1.183	Hyper-eutrof

**Tabel 3.** Status kesuburan perairan berdasarkan nilai TLI (Burns *et al.* 2005)

Trophic Level Index (TLI)	Kondisi perairan
< 2	Mikrotrof
2 – 3	Oligotrof
3 – 4	Mesotrof
4 – 5	Eutrof
> 5	Super-eutrof

**Tabel 4.** Status kesuburan perairan dengan menggunakan metode Delphi (Brown 1970 in Parpavov *et al.* 2010)

Peringkat	Status
100 > R ≥ 80	Ultraoligotrof
80 > R ≥ 60	Oligotrof
60 > R ≥ 40	Mesotrof
40 > R ≥ 20	Eutrof
20 > R ≥ 0	Hiper-eutrof

yang disajikan adalah nilai rata-rata di setiap stasiun pengamatan.

Secara umum, suhu perairan semakin rendah dengan makin dalamnya titik pengamatan. Sementara, kekeruhan dan kandungan bahan terlarut (TDS) meningkat seiring bertambahnya kedalaman karena materi organik dan anorganik hasil dekomposisi dan ekskresi ikan, dengan massa jenis yang lebih besar, mengendap (Sumawidjaja 1974, Pratiwi *et al.* 2013, Pratiwi *et al.* 2017). Tingkat kecerahan di Stasiun 1 dan Stasiun 3 relatif lebih tinggi dari Stasiun 2 dan 4 karena Stasiun 1 dan 3 merupakan daerah tanpa aktivitas KJA dan antropogenik sehingga masukan bahan organik di kedua stasiun tersebut relatif rendah.

Secara horizontal, nilai DO terendah dijumpai di Stasiun 2 sebagai lokasi terkonsentrasinya aktivitas KJA. Secara vertikal, DO berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman akibat proses dekomposisi bahan organik yang intensif di kolom yang lebih dalam. Laju produksi oksigen oleh fitoplankton lebih rendah daripada laju pemanfaatannya oleh heterotrof (Tjahjo & Purnamanigtyas 2010). Hal tersebut selaras dengan kondisi pH karena penurunan pH terjadi sejalan dengan deplesi oksigen di perairan (Midlen & Redding 1998).

Nilai amonia bervariasi antar stasiun; nitrit dan nitrat di lapisan permukaan relatif lebih tinggi daripada kolom perairan. Kandungan ortofosfat dan fosfat total tertinggi dijumpai di Stasiun 2. Sementara, dan meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman. Hal tersebut berkaitan dengan keberadaan oksigen (Goldman & Horne 1983, Midle & Redding 1998).

Sebaliknya, kandungan terendah dijumpai di Stasiun 4. Hal tersebut terkait keberadaan eceng gondok yang banyak dijumpai di stasiun tersebut. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat melakukan penyerapan secara intensif terhadap nutrisi dalam air (Went & Albert 1984; Midle & Redding 1998, Rahmaningsih 2006).

#### Status kesuburan perairan

Status kesuburan Waduk Cirata berdasarkan perhitungan Index Nygaard, TSI, TRIX, TLI, dan Delphi *Method* dan disajikan pada Tabel 7. Berdasarkan Indeks Nygaard dan TRIX, status trofik di seluruh stasiun tergolong eutrofik dan mesotrofik ke eutrofik. Kemudian berdasarkan TSI, TLI dan metode Delphi, status trofik seluruh stasiun pengamatan tergolong hipereutrofik.

**Tabel 5.** Kelimpahan, jumlah jenis fitoplankton, dan kandungan klorofil di Waduk Cirata

	Stasiun		
	Stasiun 1 & 3	Stasiun 2	Stasiun 4
Bacillariophyceae			
Kelimpahan (sel/L)	81395	209689	51256
Jumlah jenis	7	10	7
Chlorophyceae			
Kelimpahan (sel/L)	299758	535453	1584552
Jumlah jenis	8	10	7
Cyanophyceae			
Kelimpahan (sel/L)	1965554	2423405	702414
Jumlah jenis	7	8	7
Euglenophyceae			
Kelimpahan (sel/L)	0	676	563
Jumlah jenis	0	1	1
Dinophyceae			
Kelimpahan (sel/L)	54539	22844	152744
Jumlah jenis	3	3	3
Zygnematophyceae			
Kelimpahan (sel/L)	156	3911	756
Jumlah jenis	3	2	2
Trebouxiophyceae			
Kelimpahan (sel/L)	578	0	0
Jumlah jenis	1	0	0
Klorofil-a (mg/m <sup>3</sup> )	146,85	133,50	160,20

## PEMBAHASAN

Nilai guna yang sejalan dengan fungsi Waduk Cirata sangat bergantung pada kualitas air (Insan 2009). Kualitas air di Waduk Cirata merupakan bagian dari waduk kaskade Sungai Citarum. Perairan demikian dipengaruhi oleh pengelolaan kawasan di bagian hulu (Purnamaningtyas & Tjahjo 2008, Baker *et al.* 2019). Namun, penerapan KJA menjadi salah satu pemicu terjadinya eutrofikasi di Waduk Cirata karena kontribusi masukan bahan organik, baik dalam bentuk partikel maupun terlarut, yang berpotensi meningkatkan konsentrasi nitrogen dan fosfat (Garno 2006, Insan 2009).

Berdasarkan pendekatan nilai absolut hasil pengukuran konsentrasi klorofil-a, fosfat total,

dan nitrogen, Waduk Cirata tergolong eutrofik, sebagaimana yang dikemukakan oleh Vollenweider *et al.* (1998) dan Garno (2001). Secara umum, seluruh nilai indeks menunjukkan bahwa perairan Waduk Cirata telah mengalami peningkatan kesuburan yang mengarah pada kondisi eutrof, bahkan hipertrof.

Kandungan nutrien yang tinggi tersebut berkaitan dengan masukan bahan organik sisa pakan dari aktivitas KJA yang dioperasikan secara intensif (Zhou *et al.* 2011). Diperkirakan dalam satu hari limbah bahan organik yang masuk ke dalam Waduk Cirata yang berasal dari kegiatan KJA sebesar 450 ton/hari, sedangkan yang berasal dari pemukiman di DAS Citarum sebesar 91,30 ton/hari (Garno 2001).

Status kesuburan tertinggi terjadi di Stasiun

**Tabel 6.** Kualitas air di seluruh lokasi pengamatan di Waduk Cirata

Parameter	Nilai hasil pengamatan			
	Stasiun 1	Stasiun 3	Stasiun 2	Stasiun 4
<b>Fisika</b>				
Suhu (C)	27,9-30,80	26,90-29,80	27,00-29,80	27,60-31,50
Kecerahan (m)	1,15	1,00	0,95	0,80
TDS (mg/L)	110,00-145,00	100,00-156,00	112,00-158,00	100,00-156,00
Kekeruhan (NTU)	2,08-2,97	2,05-2,31	1,82-13,70	2,08-3,80
<b>Kimia</b>				
pH	6,61-8,55	6,46-7,89	6,44-7,20	6,90-8,33
DO (mg/L)	1,00-6,00	0,80-4,50	0,80-2,90	1,30-6,10
Nitrat (mg/L)	0,21-0,27	0,40-0,67	0,20-0,53	0,07-0,20
Nitrit (mg/L)	0,00-0,01	0,00-0,09	0,01-0,09	0,01-0,05
Ammonia (mg/L)	0,01-0,06	0,00-0,02	0,00-0,01	0,00-0,05
Orthophospat	0,20-0,28	0,21-0,24	0,22-0,30	0,20-0,23
TP (mg/L)	0,41-0,52	0,46-0,91	0,52-0,94	0,44-0,55
TN (mg/L)	0,04-2,48	0,10-3,24	0,21-3,29	0,22-0,51

**Tabel 7.** Status trofik perairan Waduk Cirata berdasarkan hasil perhitungan Index Nygaard, TRIX, TSI, TLI dan Delphi method

Indeks	Stasiun			Status
	Stasiun 1 & 3	Stasiun 2	Stasiun 4	
Indeks Nygaard	5,2	10	7,6	Eutrofik
TRIX	5	6	6	Mesotrofik ke eutrofik
TSI	77,6	79,3	79,5	Hipereutrof
TLI	6,6	6,8	6,3	Supereutrofik
R[DM]	7,9	4,5	13,0	Hipereutrof

2 (padat KJA) dan terendah di Stasiun 1 dan 3 (tanpa) KJA. Hal ini menunjukkan bahwa eutrofikasi berada di stasiun padat KJA dengan kandungan bahan organik tertinggi. Bahan organik tersebut kemudian terdekomposisi menjadi nutrisi anorganik (*bioavailable nutrient*) yang segera dapat dimanfaatkan oleh fitoplankton (Wetzel 2001, Nomosatyo & Lukman 2012).

Kategori eutrofik berdasarkan nilai Indeks Nygaard didukung oleh keberadaan dominasi genera fitoplankton dari kelas Myxophyceae atau Cyanophyceae diikuti Chlorophyceae; sesuai dengan pernyataan Brook (1965). Konsentrasi nitrat yang tinggi di perairan sangat mendukung kelangsungan hidup kelompok Chlorophyceae (Mahdev *et al.* 2011). Ditemukannya Euglenophyceae juga menggambarkan tingginya bahan organik di perairan. Euglenophyceae merupakan kelompok fitoplankton yang resisten terhadap limbah organik (Staker *et al.* 1974).

Nilai TRIX menunjukkan bahwa seluruh stasiun pengamatan tergolong mesotrofik ke eutrofik. Kondisi tersebut diindikasikan dari

ketersediaan nitrogen, fosfor, klorofil-a, dan %DO saturasi yang tinggi. Nilai TSI memperlihatkan bahwa perairan berada dalam kondisi hiper-eutrof karena didukung oleh nilai TSI<sub>TP</sub>, TSI<sub>SD</sub> dan TSI<sub>CHL-a</sub> yang mengindikasikan kondisi hipereutrof. Berdasarkan nilai TLI, perairan tergolong super-eutrof yang didukung oleh TLI<sub>TP</sub>, TLI<sub>TN</sub>, TLI<sub>CHL-a</sub>, dan TLI<sub>SD</sub> yang tergolong super-eutrof. Hasil perhitungan metode Delphi menunjukkan bahwa seluruh stasiun pengamatan juga memiliki kualitas air yang sangat buruk. Perairan dengan status kesuburan eutrofik seringkali menunjukkan kualitas air yang rendah (Paztalenic & Poniewozik 2010).

Status kesuburan Waduk Cirata mengalami perubahan dari waktu ke waktu, karena adanya dinamika kualitas perairan yang di pengaruhi oleh musim dan beban pencemaran (Suryono *et al.* 2008). Tabel 8 menunjukkan variasi status kesuburan Waduk Cirata berdasarkan beberapa indeks kesuburan secara temporal.

Pada awal pengoperasian KJA, kondisi perairan waduk masih berada pada status oligotrof hingga mesotrof. Seiring berjalannya waktu, status

**Tabel 8.** Status kesuburan Waduk Cirata berdasarkan beberapa pendekatan

Tahun	Jumlah KJA (unit)	Nygaard	TRIX	TSI	TLI	R[DM]	Orto-P (mg/L)	BOD (mg/L)	Status kesuburan
1988	74						0,06 <sup>1)</sup>	<2 <sup>1)</sup>	O-M
1994								<15 <sup>2)</sup>	M-E
1999		2 <sup>3)</sup>						<8 <sup>3)</sup>	M-E
2000	2497						0,08 <sup>4)</sup>	>10 <sup>6)</sup>	E
2001	30429						0,07 <sup>7)</sup>	8 <sup>8)</sup>	E
2003	39690	8,5 <sup>11)</sup>							H
2004	42000						0,28 <sup>8)</sup>	>10 <sup>8)</sup>	H
2005	45000	1,67 <sup>12)</sup>						10 <sup>8)</sup>	H
2006	50000	1,5	4,5 <sup>13)</sup>		7,2 <sup>18)</sup>	8,5 <sup>18)</sup>			H
2009	50700	2,33 <sup>13, 14)</sup>	5,9 <sup>14)</sup>		5,7 <sup>19)</sup>	25,6 <sup>19)</sup>			H
2012	54000	6 <sup>14)</sup>	5,2 <sup>15)</sup>	77,9 <sup>10)</sup>	6,6 <sup>20)</sup>	4,5 <sup>20)</sup>			H
2013	55000	7 <sup>14)</sup>	6,2 <sup>15)</sup>	58,80 <sup>10)</sup>					H
2014	56000	5 <sup>15)</sup>		63,66 <sup>10)</sup>					H
2015	60000			53,14 <sup>10)</sup>			0,04 <sup>17)</sup>		E
2016	65000			54,42 <sup>10)</sup>					E
2017	77000	3,33 <sup>20)</sup>	6,8 <sup>20)</sup>		9,1 <sup>20)</sup>		0,03 <sup>20)</sup>		H

**Keterangan:** 1) Baksir (1999); 2) Marhaeni & Pratiwi (1994); 3) Sukimin (2003); 5) Lelono (2001); 6) Prihadi (2005); 7) Handayani (2005); 8) Zahidah (2006); 9) Hidonis (2015); 10. BPWC (2017); 11) Jubaedah (2004); 12) Nuraini (2005); 13) Mardiana (2007); 15) Insan (2009); 16) Putri & Purnamaningtyas (2013); 17) Zahidah *et al.* (2016); 18) Insan (2009); 19) Sudrajat *et al.* (2010), 20) Hasil pengamatan; O: oligotrof; M: mesotrof; E: eutrof; H: hiper-eutrof

kesuburan semakin tinggi. Hal tersebut mengindikasikan adanya masukan bahan organik yang telah mengubah kondisi perairan waduk. Data terakhir menunjukkan bahwa kualitas perairan cenderung meningkat yang diindikasikan dengan status kesuburan yang bergeser dari hiper-eutrof menuju eutrof. Meskipun demikian, kondisi tersebut masih sangat bergantung pada pengelolaan perairan secara menyeluruh.

Nilai MEI yang diperoleh adalah 3,02 dengan produksi perikanan dugaan sebesar 148,883 ton/tahun. Produksi perikanan yang dimaksud adalah perikanan alami atau perikanan tangkap karena penghitungan tersebut didasarkan pada konsep pemanfaatan makanan alami. Berdasarkan hal tersebut tampak bahwa secara umum, produksi perikanan cenderung sangat rendah. Hal ini sangat berkaitan dengan kondisi perairan yang sudah mengalami tekanan ekologis berat dengan tingkat kesuburan yang sudah terlalu tinggi sehingga cenderung tergolong telah mengalami degradasi kualitas air bahkan mengarah pada kerusakan ekosistem.

Oleh karena itu diperlukan keterpaduan dalam mengelola seluruh sumberdaya dan lingkungan perairan waduk, baik dalam lingkup internal maupun eksternal waduk. Munculnya dominasi suatu jenis fitoplankton indikator perairan eutrofik sebagai akibat tingginya masukan nutrisi ke dalam perairan yang merupakan menjadi salah satu landasan perlu diambilnya tindakan tersebut (Molisani *et al.* 2010; Sayekti *et al.* 2015). Dengan demikian perlu dilakukan pengaturan kegiatan yang berpotensi memberikan masukan materi ke dalam perairan dalam rangka memenuhi ambang batas yang diperkenankan (Jimenes-Martinez 2020).

## KESIMPULAN

Seluruh nilai indeks yang diaplikasikan menunjukkan bahwa perairan Waduk Cirata telah mengalami proses peningkatan status kesuburan hingga mencapai kondisi eutrof dan hiper-eutrof. Hal tersebut diindikasikan oleh adanya dominansi fitoplankton dari kelompok Cyanophyceae serta tingginya kandungan klorofil dan nutrisi, baik nitrogen maupun fosfor.

## DAFTAR PUSTAKA

- [APHA] American Public Health Association. 2012. *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater*. 22<sup>nd</sup> ed. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, DC, USA.
- Ayoade, AA., BO. Osuala, & TA. Adedapo. 2019. Physico-chemical parameters, chlorophyll a and phytoplankton community as trophic state indices of two tropical lakes, southwestern Nigeria. *Eurasia Journal Bioscience* 13: 1-8
- Baker, DB., LT. Johnson, RB. Confesor Jr. JP. Crumrine, T. Guo, & NF. Manning. 2019. Needed: Early-term adjustments for Lake Erie phosphorus target loads to address western basin cyanobacterial blooms. *Journal of Great Lakes Research* 45:203–211.
- Baksir, A. 1999. Hubungan antara produktivitas primer fitoplankton dan intensitas cahaya di Waduk Cirata, Kabupaten Cianjur Jawa Barat. [Tesis]. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Bellinger, EG, & DC. Sigeo. 2010. *Freshwater Algae: Identification and use as bioindicators*. Oxford (UK): John Wiley and Sons, Ltd.
- BPWC. 2011. Laporan Sensus Keramba Jaring Apung PT Cikal. Badan Pengelola Waduk Cirata. Bandung.
- [BPWC] Badan Pengelola Waduk Cirata. 2017. Laporan Teknis: Monitoring kualitas air dan tingkat kesuburan Waduk Cirata tahun 2011-2017.
- Burns, N., J. McIntosh, & P. Scholes. 2005. Strategies for Managing the Lakes of the Rotorua District, New Zealand. *Lake and Reservoir Management* 21(1):61-72
- Carlson, RE. 1975. *A Trophic State Index For Lakes*. *Limnology and Oceanography*. University of Minnesota. USA: 55455
- Carlson, RE. 1975. More Complications in The Chlorophyll-Secchi Disk Relationship. *Limnology Oceanography*. 25(2): 379-382
- Carlson, RE. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnological Research Centre*. Univ. Of Minnesota. Minneapolis. 22(2): 361-369.
- Costa-Pierce, BA. & CM. Roem. 1990. Waste Production and Efficiency of Feed Use in Floating Net Cages in a Eutrophic Tropical Reservoir. *In: Soemarwoto O & Costa-*



- Pierce BA (Editor), Reading in Reservoir Fisheries and Aquaculture Development for Resettlement in Indonesia. ICLARM Tech. Rep. 23. 378 p.
- Fachrul, M. Ferianita, SH. Ediyono, & M. Wulandari. 2008. Komposisi dan model kelimpahan fitoplankton di Perairan Sungai Ciliwung, Jakarta. *Biodiversitas*. 9:296–300.
- Garno, YS. 2001. Status dan Karakteristik Pencemaran di Waduk Kaskade Citarum. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 2 (2): 207–213.
- Garno, YS. 2002. Dinamika dan status kualitas air Waduk Multi Guna Cirata. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*. 4(4):1-8.
- Garno, YS. 2006. Contribution of organic waste from fish culture on the degradation of water quality in Reservoir Cirata. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. P3TL-BPPT 7(3): 303-310.
- Goldman, CR., & AJ. Horne. 1983. *Limnology*. United States of America: McGraw-Hill Book Company.
- Hamilton, D. & A. Parparov. 2010. Comparative Assessment of Water Quality with the Trophic Level Index and the Delphi Method in Lakes Rotoiti and Rotorua, New Zealand. *Water Quality Research Journal of Canada*. 45(4): 479-489
- Handayani. S. 2005. Kesuburan perairan berdasarkan kandungan N, P, dan Klorofil-a di perairan karamba jaring apung, Jangari, Waduk Cirata. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB. Bogor.
- Henderson-Sellers, B & HR. Markland. 1987. Decaying lake the origin and control of cultural eutrophication. Jhon Wiley & Sons ltd. Chichester. NY. 254 p.
- Hidonis, K. 2014. Model pengelolaan waduk berbasis sistem kja multispecies (studi kasus Waduk Cirata). Tesis. Sekolah Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Hoverman, JT., & PTJ. Johnson. 2012. Ponds and lakes: a journey through the life aquatic. *Nature Education Knowledge*. 3 (6):17.
- Insan I. 2009. Status trofik dan daya dukung keramba jaring apung di Waduk Cirata. Tesis. Sekolah Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Jimenez-Martinez, M. 2020. Fatigue of offshore structures: A review of statistical fatigue damage assessment for stochastic loadings. *International Journal of Fatigue* 132 (2020). 105327. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.105327>.
- Jubaedah, I. 2004. Distribusi dan makanan ikan hampal (*Hampala macrolepidota*, CV) di Waduk Cirata, Jawa Barat. Tesis. Sekolah Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Lelono, AJ. 2001. Keberadaan komunitas fitoplankton di lingkungan karamba jaring apung perairan Jangari, Waduk Cirata, Jawa Barat. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB. Bogor.
- Mardiana, L. 2007. Studi kandungan fosfor di air dan sedimen yang dipengaruhi aktivitas karamba jaring apung di Waduk Cirata, Jawa Barat. Tesis. Sekolah Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Marhaeni, B, & NTM. Pratiwi. 1994. Studi mengenai kualitas air pada kegiatan jaring terapung di Desa Jangari, Waduk Cirata, Jawa Barat. Laporan Penelitian OPF. IPB. Bogor.
- McDowell, RW. & DP. Hamilton. 2013. Nutrients and eutrophication: introduction. *Mar Freshw Res*. DOI: 10.1071/MF13059
- Mizuno, T. 1979. *Illustrations of the Freshwater Plankton of Japan*. Osaka (JP): Hoikusha Publishing Co Ltd.
- Molisani, MM., H. de Sousa Barroso, H. Becker, MOP. Moreira, CAG. Hijo, TM. de Monte, & GH. Vasconcellos. 2010. Trophic state, phytoplankton assemblages and limnological diagnosis of the Castanhao Reservoir, CE, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 22 (1): 1-12. doi: 10.4322/actalb.02201001.
- Myslik, G. 1985. The Eutrophication Potential Of Nitrates In The Serpent River System Of Northeastern Ontario. Ministry Of Environment. USA.
- Nedovic, JR. & H. Hollert. 2005. Phytoplankton Community and Chlorophyll *a* as Trophic State Indices of Lake Skadar (Montenegro, Balkan) *Environment Science and Pollutan Research*. DOI: 10.1065/espr2005.04.241
- Nomosatyo, S. & Lukman. 2012. Ketersediaan Hara Nitrogen (N) Dan Fosfor (P) Di Perairan Danau Toba, Sumatera Utara. *Limnotek* 19 (2): 127-137.
- Nuraini, D. 2005. Pengaruh substrat terhadap pertumbuhan perfiton di Waduk Cirata, Jawa Barat. Skripsi. Departemen Budidaya Perairan, IPB. Bogor.
- Parparov, A, G. Gal, D. Hamilton, P. Kasprzak P, & A. Ostapenia. 2010. Water quality assessment, trophic classification and water resource management. *Journal of Water Resouces and Protection*. 2: 907-915.
- Paztalenic, A. & M. Poniewozik. 2010. Phytoplankton based assessment of the

- ecological status of four shallow lakes (Eastern Poland) according to Water Framework Directive—a comparison of approaches. *Limnologica*. 40: 251-259.
- Pratiwi, NTP., EMA. Adiwilaga & FJ. Amalia. 2013. Komposisi Fitoplanton dan Status Kesuburan Perairan Danau Lido, Bogor Jawa Barat Melalui Beberapa Pendekatan. *Jurnal Biologi Indonesia* 9 (1): 111-120.
- Pratiwi, NTM., A. Rahman, S. Hariyadi, IP. Ayu, & A. Iswantari. 2017. Relationship between trophic states and nutrients load in waters surrounding Samosir Island, Lake Toba, North Sumatera. Lake Ecosystem Health and Its Resilience: Diversity and Risks of Extinction. PROCEEDINGS of the 16th World Lake Conference. Research Center for Limnology, Indonesian Institute of Sciences. 469-475.
- Prescott, GW. 1970. *How to Know The Freshwater Algae*. Montana (US): Wm. C. Brown Company Publishers.
- Prihadi, TH. 2005. Pengelolaan Budidaya Ikan secara lestari di waduk (studi kasus di perairan Waduk Cirata Jawa Barat). Tesis. Sekolah Pascasarjana IPB.
- Purnamaningtyas, SE., & DWH. Tjahyo. 2008. Pengamatan kualitas air untuk mendukung perikanan di Waduk Cirata, Jawa Barat. *Journal. Penelitian Perikanan. Indonesia*. 14(2): 173-180
- Putri, MRA., & SE. Purnamaningtyas. 2013. Variasi kelimpahan fitoplankton di area keramba jaring apung (KJA) Waduk Jatiluhur. *Widyariset*. 16 (3): 349-360.
- Ryder, RA. 1982. The Morphoedaphic Index-- Use, Abuse, and Fundamental Concepts. *The American fisheries society*. 111: 154-164.
- Sudrajat, A., H. Supriyadi, & A. Saputra. 2010. Evaluasi perairan Waduk Cirata sebagai kawasan budidaya ikan dalam mendukung peningkatan ketahanan pangan [Laporan kegiatan]. Badan Peneliti dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan., Pusat Peneliti dan Pengembangan Perikanan Budidaya. 22 hlm.
- Sayekti, RW. E. Yulianti, M. Bisri, PT. Juwono, L. Prasetyorini, F. Sonia, & AP. Putri 2015. Studi evaluasi kualitas dan status trofik air Waduk Selorejo akibat erupsi Gunung Kelud untuk budidaya perikanan. *Jurnal Teknik Pengairan*. 6(1):133-145.
- Sukimin, S. 1995. Studi perikanan jaring terapung di Waduk Saguling dan Cirata: dampak dan daya dukung perairan. Laporan Penelitian Program Biologi Perairan Terbuka, SEAMEO-BIOTROP.
- Sukimin, S. 2003. Laporan hasil pemantauan kualitas air Waduk Cirata Triwulan III Tahun 2003. PT Pembangkit Jawa-Bali, Badan Pengelola Waduk Cirata.
- Tas, B. 2012. Diversity of phytoplankton and trophic status in the Gaga Lake, Turkey. *EES Technology Part A: Energy Science and Research* 30(1): 33-44.
- Vollenweider, RA. & J. Kerekes. 1980. The loading concept as basis for controlling eutrophication philosophy and preliminary result of the OECD programme on eutrophication. *In: Jenkins SH (Editor), Reading in eutrophication of deep lake*. Pergamon press. Oxford, NY. p. 5-38.
- Vollenweider, RA., F. Giovanardi, G. Montanari, & A. Rinaldi. 1998. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the nw adriatic sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics* 9: 329-357.
- Wetzel, RG. & GE. Linkens. 1991. *Limnological analyses*. 2<sup>nd</sup> ed. Thomson Press. New Delhi. 139-149.
- Wetzel, RG. 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3<sup>rd</sup> ed. Academic Press. San Diego, Ma. 1006 p.
- Zahidah. 2006. Dinamika fitoplankton di Waduk Cirata dalam kaitannya dengan produktivitas primer perairan. Disertasi. Program Pascasarjana UNPAD. Bandung.
- Zahidah, P. Nurlailudin, & I. Rustikawati. 2016. Distribusi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Komunitas Plankton Dan Air Di Waduk Cirata, Jawa Barat. Prosiding PIT-MLI: Tantangan Perairan Darat Wilayah Regional Tropis: Menyongsong World Lake Conference 2016. Masyarakat Limnologi Indonesia. Cibinong. 353-362.
- Zhou. F., W. Song Q. Shao, X. Peng, J. Xiao, & Y. Hua. 2011. Partial Replacement of Fish Meal by Fermented Soybean Meal in Diets for Black Sea Bream, *Acanthopagrus schlegelii*, Juveniles. *Journal of the World Aquaculture Society* 42(2):. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2011.00455.x>