

Status keberlanjutan keramba jaring apung di Danau Rawa Pening pada dimensi ekologi berdasarkan pendekatan RAPFISH

Sustainability of floating net cages in Rawa Pening Lake at ecological dimension based on the RAPFISH approach

Tesalonika Putri Kinanti¹, Djohan², Desti Christian Cahyaningrum^{1*}

¹Program Studi S1 Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, Indonesia

²Program Studi S2 Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, Indonesia

Abstrak.

Budidaya perikanan keramba jaring apung (KJA) merupakan sumber mata pencaharian penting bagi masyarakat, namun juga berkontribusi terhadap eutrofikasi di Danau Rawa Pening. Oleh karena itu, perlu dipastikan bahwa pengelolaan KJA dilakukan berdasarkan prinsip pembangunan berkelanjutan untuk meminimalkan dampak lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengkaji status keberlanjutan pengelolaan KJA di Danau Rawa Pening pada dimensi ekologi. Pengumpulan data dilakukan melalui wawancara, observasi, pengukuran langsung, serta studi pustaka terkait atribut kualitas perairan, kesuburan perairan, kondisi lingkungan, biosekuritas dan kesehatan ikan. Data hasil *scoring* dianalisis secara *Multi-Dimensional Scaling* (MDS) menggunakan aplikasi RAPFISH yang berbasis Ms. Excel. Hasil penelitian menunjukkan Indeks keberlanjutan KJA sebesar 49,567 yang termasuk kategori kurang berkelanjutan. Atribut paling signifikan terhadap keberlanjutan KJA adalah kesuburan perairan (*leverage* = 4,129). Disimpulkan bahwa pengelolaan KJA di Danau Rawa Pening belum sepenuhnya dilakukan berdasarkan prinsip pengelolaan yang berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan perumusan strategi pengelolaan yang berfokus pada pengendalian kesuburan perairan untuk mendukung keberlanjutan KJA.

Kata kunci: KJA, RAPFISH, perikanan berkelanjutan, Rawa Pening, eutrofikasi

Abstract.

Floating net cages (KJA) aquaculture is an important livelihood source for local community, but it also contributes to eutrophication in Rawa Pening Lake. So, it is necessary to ensure that KJA management is carried out based on the sustainable development principles to minimize the environmental impacts. This study aims to assess the sustainability status of KJA management in Rawa Pening Lake from the ecological dimension. Data were collected through interviews, direct observation, direct measurement and literature study based on following attributes; water quality, water fertility, environmental conditions, biosecurity and fish health. Then, data that has been scored were analyzed by Multi-Dimensional Scaling (MDS) using the RAPFISH application embedded in Ms. Excel. The results showed the KJA sustainability index is 49,567 (poor sustainability category). The most significant attribute of KJA sustainability is water nutrient content, i.e. N:P ratio (leverage = 4,129). It is concluded that the management of KJA in Rawa Pening Lake has been not carried out based on sustainable aquaculture management principles. Therefore, management strategies focusing on controlling water nutrient levels are urgently required to ensure the sustainability of KJA in Rawa Pening Lake.

Keywords: KJA, RAPFISH, sustainable aquaculture, Rawa Pening, eutrophication

1. PENDAHULUAN

Danau Rawa Pening merupakan ekosistem air tawar lentik semi alami yang terletak di Kabupaten Semarang. *Inlet* Danau Rawa Pening adalah 16 sungai yang terletak di 9 sub Daerah Aliran Sungai dengan satu *outlet* di Sungai Tuntang (Soeprbowati dan Suedy 2010). Danau tersebut secara geografis terletak di 7°04' LS-7°30' LS dan 110°24'46" BT-110°49'06" BT. Danau Rawa Pening mempunyai kedalaman minimal 65 cm dan kedalaman maksimal 550 cm.

* Korespondensi Penulis
Email : desti.cahyaningrum@uksw.edu

Daya tampung maksimal danau adalah sekitar 65 juta m³ dan minimal sekitar 25 juta m³, serta luas genangan maksimum sekitar 2.770 Ha dan minimum 1.760 Ha (Utomo 2015). Fungsi utama Danau Rawa Pening yaitu untuk menahan dan menampung laju aliran air permukaan yang kemudian digunakan untuk berbagai keperluan masyarakat antara lain: (1) pasokan air untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Jelok yang merupakan bagian dari jaringan listrik Jawa-Bali; (2) irigasi pertanian bagi Kabupaten Semarang, Demak dan Grobogan; (3) kegiatan pariwisata; (4) kegiatan perikanan darat baik perikanan alami maupun perikanan budidaya; (5) penyedia air baku dan air untuk industri (Machbub *et al.* 2012). Oleh karena itu danau Rawa Pening menjadi sangat krusial bagi kehidupan masyarakat di sekitarnya.

Meskipun demikian, terdapat permasalahan eutrofikasi di Danau Rawa Pening. Eutrofikasi merupakan proses pengayaan perairan oleh unsur hara, khususnya nitrogen (N) dan fosfor (P) yang mengakibatkan pertumbuhan tidak terkontrol dari organisme fotosintetik danau (Sulastri *et al.* 2016). Tingginya populasi organisme fotosintetik seperti alga dan makrofita pada akhirnya akan meningkatkan beban cemaran organik di badan perairan yang memerlukan oksigen untuk dekomposisinya. Hal ini dapat menyebabkan penurunan oksigen terlarut yang memicu terjadinya kematian massal organisme heterotrof serta meningkatkan laju sedimentasi di badan air. Akibatnya, ekosistem danau akan mengalami suksesi dari danau autotrof yang didominasi oleh fitoplankton menjadi danau heterotrofik yang didominasi oleh mikroorganisme seperti protozoa (Qin *et al.* 2013).

Akinnawo (2023) menjelaskan bahwa salah satu sumber pencemar N dan P di ekosistem danau adalah limbah budidaya perikanan, termasuk aktivitas Keramba Jaring Apung (KJA). Hasil penelitian Kurniati *et al.* (2021) menunjukkan bahwa 84,20% beban cemaran total N dan 91,83% beban cemaran total P di Danau Maninjau berasal dari aktivitas KJA. Adhar *et al.* (2023) juga melaporkan bahwa aktivitas KJA di Danau Laut Tawar menyebabkan adanya cemaran P sebesar 5,25 ton/tahun dan telah melebihi daya tampung beban cemaran P di lokasi tersebut yang hanya sebesar 1,04 ton/tahun. Sementara itu, potensi beban cemaran limbah KJA di Danau Rawa Pening berupa sisa pakan mencapai 4,07 kg N/hari, 37,88 kg P/hari, dan 95,01 kg BOD/hari yang seluruhnya telah melebihi daya tampung beban cemaran maksimal Danau Rawa Pening (Machbub *et al.* 2012).

Berdasarkan permasalahan tersebut, solusi yang telah diupayakan oleh pemerintah adalah dengan melaksanakan revitalisasi Danau Rawa Pening pasca penetapannya sebagai Danau Prioritas Nasional (DPN). Aktivitas revitalisasi masih terus berlangsung hingga saat ini di bawah koordinasi BBWS Pemali Juana. Sodikin (2024) menyebutkan bahwa tindak lanjut BBWS Pemali Juana dalam rangka revitalisasi Danau Rawa Pening pada aras kebijakan adalah menyediakan sarana dan prasarana untuk pengendalian sedimen di bagian hulu danau, menetapkan sempadan danau, serta penataan aset melalui sertifikasi. Pada aras operasional, beberapa hal yang sudah dilakukan adalah pembangunan cekdam, pengerukan sedimen, pembersihan eceng gondok, penertiban KJA, serta penertiban batas sempadan. Menurut Wulandari (2022), revitalisasi telah berhasil menertibkan KJA yang awalnya menyebar di seluruh area Danau Rawa Pening dengan luas mencapai 55 hektar menjadi terlokalisasi di tepi danau di setiap kecamatan dengan luasan yang berhasil dikurangi sebesar 35 hektar.

Solusi lain yang perlu dipertimbangkan dalam menangani permasalahan lingkungan di Danau Rawa Pening adalah penerapan prinsip pengelolaan berkelanjutan pada aktivitas budidaya sistem KJA di lokasi tersebut. Pengelolaan KJA secara berkelanjutan merupakan solusi preventif jangka panjang yang bertujuan untuk memastikan bahwa sistem perikanan budidaya dijalankan dengan cara yang berwawasan lingkungan dan berkelanjutan. Pengelolaan KJA yang berkelanjutan dapat diwujudkan melalui manajemen pakan yang baik, penataan dan perencanaan luasan KJA maupun padat tebar yang sesuai dengan daya tampung maksimal beban cemaran, serta tata laksana budidaya yang ramah lingkungan.

Pada kasus ini, pengelolaan berkelanjutan salah satunya dapat diwujudkan dengan memastikan bahwa KJA yang beroperasi di Danau Rawa Pening telah sesuai dengan hasil kajian mengenai Alokasi Daya Tampung Beban Pencemaran Air (DTBPA) untuk aktivitas budidaya ikan. Berdasarkan kajian tersebut, DTBPA Danau Rawa untuk kegiatan budidaya perikanan meliputi batas maksimal cemaran fosfat sebesar 4.060 kg P/tahun, jumlah maksimum 189 petak KJA (0,08% dari luas danau), produksi ikan sebesar 1 ton ikan/petak/tahun, serta asumsi manajemen kebutuhan pakan sebanyak 245 ton/tahun dengan *Feed Conversion Ratio* (FCR) 1,3 (Machbub *et al.* 2012).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji seberapa jauh prinsip pengelolaan berkelanjutan sudah diterapkan pada aktivitas budidaya sistem KJA di Danau Rawa Pening melalui parameter indeks keberlanjutan. Indeks keberlanjutan merupakan suatu nilai yang dirumuskan melalui proses ordinasi hasil *scoring* dari kondisi yang ada yang menggambarkan status keberlanjutan suatu objek kajian. Indeks keberlanjutan dapat ditentukan melalui pendekatan analisis *Rapid Appraisal for Fisheries* (RAPFISH). Fauzi dan Anna (2005) menjelaskan bahwa RAPFISH merupakan metode yang dikembangkan untuk mengevaluasi keberlanjutan suatu perikanan tangkap secara multidisipliner berdasarkan teknik ordinasi *Multi-Dimensional Scaling* (MDS).

Pada penelitian ini, indeks keberlanjutan KJA di Danau Rawa Pening dirumuskan melalui pendekatan RAPFISH yang modifikasi. Modifikasi dilakukan pada atribut yang digunakan untuk melakukan penilaian terhadap berbagai kondisi *existing* KJA, yaitu kualitas perairan, kesuburan perairan, kondisi lingkungan, penerapan biosekuritas, serta kesehatan ikan. Informasi mengenai status keberlanjutan KJA Danau Rawa Pening pada dimensi ekologi dapat bermanfaat dalam meninjau ulang pengelolaan yang ada serta sebagai dasar perumusan strategi pengelolaan yang lebih baik.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Bulan September-November 2023. Penelitian dilakukan di Danau Rawa Pening Kabupaten Semarang, dengan sampel penelitian adalah unit KJA di sekitar daerah Jembatan Biru (Desa Sumurup-Kecamatan Bawen) dan Bukit Cinta (Desa Kebondowo-Kecamatan Banyubiru) (**Gambar 1**). Penentuan unit KJA sampel dilakukan menggunakan metode *purposive random sampling* berdasarkan lokasi KJA, dengan total unit KJA sampel adalah sejumlah 240 petak KJA yang ditentukan berdasarkan metode Slovin (Riyanto dan Hatmawan 2020) seperti yang disajikan pada **Persamaan 1**.

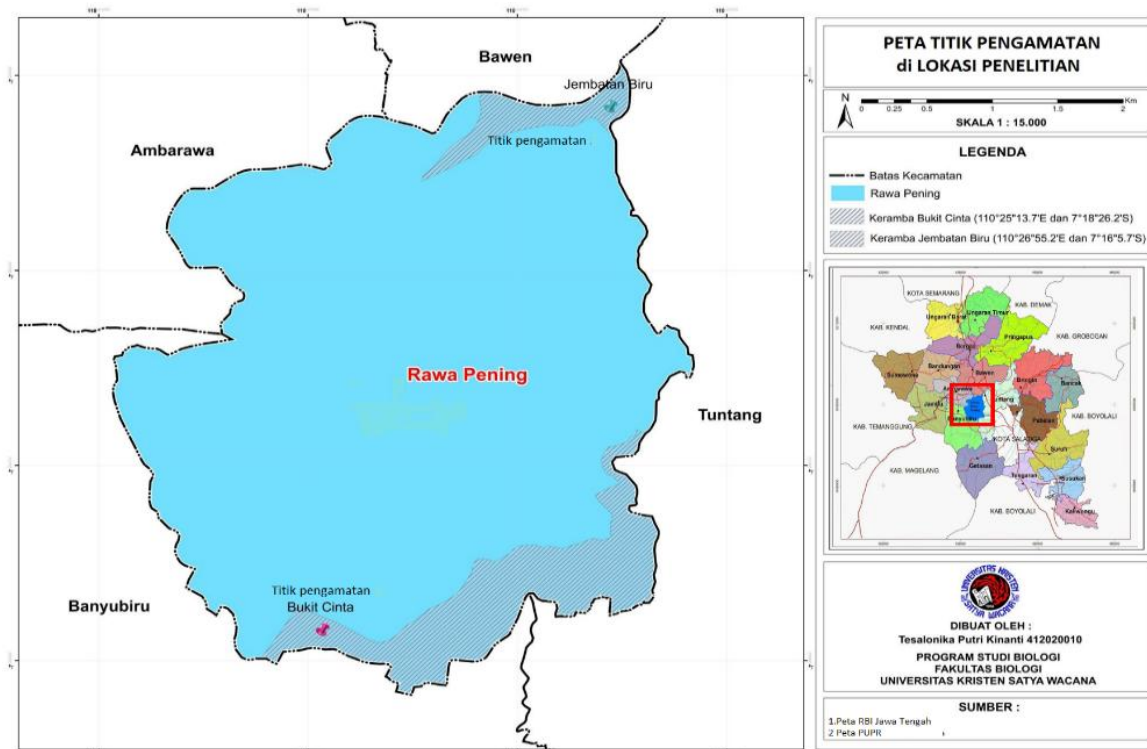
$$n = \frac{N}{(1+N(e)^2)} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

n = ukuran sampel/jumlah responden,

N= ukuran populasi,

e = 0,05.



Gambar 1. Lokasi sampel penelitian KJA Danau Rawa Pening.

2.2. Prosedur analisis data

Penelitian ini merupakan penelitian survei dengan pendekatan analisis deskriptif kuantitatif. Status keberlanjutan KJA pada dimensi ekologi disimpulkan melalui indeks keberlanjutan berdasarkan hasil ordinasasi MDS menggunakan pendekatan metode RAPFISH yang dimodifikasi. Modifikasi pada metode ini dapat dilakukan pada atribut dan indikator yang digunakan (Pitcher and Preikshot 2001). Tahap pengumpulan data pada metode RAPFISH yaitu meliputi penentuan atribut dan indikator penilaian pada dimensi ekologi serta penilaian setiap indikator pada atribut menggunakan skala *likert* (proses *scoring*). Atribut dan indikator yang digunakan dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan studi literatur terkait KJA berkelanjutan. Data kemudian dikumpulkan melalui metode wawancara, observasi langsung, serta pengukuran secara *ex situ* maupun *in situ* berdasarkan atribut dan indikator yang telah dikembangkan (**Tabel 1**).

Tabel 1. Atribut dan indikator beserta metode pengumpulan data.

Atribut	Indikator	Metode pengukuran	Penilaian			Sumber acuan
			Skor 1 (Buruk)	Skor 2 (Sedang)	Skor 3 (Baik)	
Kualitas perairan	<i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	Metode titrasi	>6 mg/L	6 mg/L	<6 mg/L	PP No. 22 2021*
	<i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	Metode titrasi	<3 mg/L	3 mg/L	>3 mg/L	PP No. 22 2021*
	Nitrogen (N)	Pengukuran langsung	>1,9 mg/L	1,9 mg/L	< 1,9 mg/L	PP No. 22 2021*
	Fosfat (P)	Pengukuran langsung	>0,1 mg/L	0,1 mg/L	<0,1 mg/L	PP No. 22 2021*
	pH	Pengukuran langsung	>6-9	<6-9	6-9	PP No. 22 2021*
	<i>Total Dissolved Solid</i> (TDS)	Pengukuran langsung	>1000 ppm	1000 ppm	<1000 ppm	PP No. 22 2021*; Safitri <i>et al.</i> 2022
	Kedalaman	Pengukuran langsung	<2 m	2-3 m	>3m	Harmilia <i>et al.</i> 2022
	Kecerahan / Transparansi	Pengukuran langsung	<2,5m	2,5m	>2,5m	PP No. 22 2021*
Kesuburan Perairan	Perbandingan nilai P dan N	Pengukuran langsung	N:P < 5:1	N:P > 5:2	N:P =16:1	Permatasari 2017; Hoa and Nhi 2020
Kondisi Lingkungan	Frekuensi Kejadian <i>Upwelling</i>	Wawancara /observasi langsung	> 1 kali/tahun	1 kali /tahun	Tidak pernah	Putri <i>et al.</i> 2019
	Masuknya sumber pencemar	Observasi langsung	Berasal dari KJA dan sumber lain yang signifikan	Berasal dari KJA itu sendiri	Tidak ada limbah yang masuk	FAO 2010
	Kejadian kekeringan	Observasi langsung	Sering (>2 kali)	Kadang-kadang (1 kali)	Tidak pernah	FAO 2010
Biosekuritas	Pengendalian kegiatan budidaya	Observasi langsung	Tinggi (Kegiatan tidak terkendali)	Rendah (Kegiatan lebih terkendali)	Tidak ada ancaman (terkendali)	Wibowo <i>et al.</i> 2015; Can <i>et al.</i> 2023
	Pengolahan limbah budidaya	Observasi langsung	Tidak lakukan	Dilakukan tapi tidak dengan baik	Dilakukan dengan baik	Wibowo <i>et al.</i> 2015
Kesehatan ikan	Kejadian serangan penyakit	Wawancara/ observasi	Tinggi (gagal panen/ >50% ikan)	Sedang <50 %	Tidak terserang	Sutisna <i>et al.</i> 2020
	Tingkat Keberlangsungan Hidup Ikan (SR)	Wawancara/ Observasi perhitungan langsung	<75%	75%	>75%	Mokoginta <i>et al.</i> 2022

*Baku mutu air danau dan sejenisnya (kelas 3)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi umum pengelolaan unit KJA sampel

Hasil observasi dan wawancara menunjukkan bahwa KJA yang beroperasi di Danau Rawa Pening, tepatnya di sekitar wilayah Jembatan Biru dan Bukit Cinta, dibangun dengan teknologi sederhana rakit bambu (**Gambar 2**). Pemeliharaan yang dilakukan adalah dengan mengganti bambu yang digunakan jika telah lapuk, rata-rata dalam selang waktu sekali setiap tahun. Luasan petak keramba umumnya berukuran 4 x 6 m hingga 8 x 8 m. Ikan yang dibudidayakan dalam KJA adalah ikan konsumsi, antara lain ikan nila (*Oreochromis niloticus*), ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*) dan ikan bawal (*Colossoma macropomum*) dengan padat tebar rata-rata 1.500 benih per petak KJA. Lama waktu pemeliharaan ikan sekitar 3-6 bulan yang bergantung pada keinginan nelayan untuk memanen ikan. Pemanenan ikan dilakukan secara insidental ketika nelayan memerlukan penghasilan tambahan, biasanya pada tahun baru dan hari raya Idul Fitri.



Gambar 2. Kondisi unit KJA sampel di Danau Rawa Pening.

Manajemen pakan pada unit KJA sampel belum mengikuti prinsip pengelolaan berkelanjutan. Pemberian pakan dilakukan dengan frekuensi satu hingga dua kali per hari, umumnya pada pagi dan sore hari, bahkan beberapa pembudidaya menyatakan bahwa pakan diberikan secara tidak terjadwal sesuai ketersediaan waktu. Jenis pakan yang digunakan berupa pelet komersial dengan merek *Ruby HG-3*, *Onyx* dan *Hiprofit 781* (**Gambar 3**). Selain itu, beberapa nelayan juga memberikan pakan berupa sisa nasi dan sayuran (seperti kembang kol dan daun pepaya).

Penentuan jumlah pakan yang diberikan hanya berdasarkan perkiraan tanpa mengacu pada ketentuan *feeding rate*. *Feeding rate* merupakan persentase jumlah pakan yang diberikan berdasarkan biomassa ikan. Pencatatan jumlah pakan dan waktu pemberian pakan setiap hari juga tidak dilakukan. Padahal, kuantitas pakan (*feeding rate*) dan frekuensi pakan (*feeding frequency*) merupakan faktor utama yang mempengaruhi efisiensi dan keberhasilan budidaya perikanan. El-Hack et al. (2022) menjelaskan bahwa *feeding frequencies* yang lebih sering dan teratur dapat menurunkan perilaku agresif ikan sehingga menghasilkan pertumbuhan ikan yang lebih cepat dan seragam, sedangkan *feeding rate* yang optimal dapat meningkatkan efisiensi pertumbuhan baik dari aspek biaya produksi maupun dampak lingkungan. Selain itu, Akbar et al. (2020) melaporkan bahwa pemberian pakan ikan gabus (*Channa striata*) dengan *feeding frequency* 4 kali/hari dan *feeding rate* 7% mampu menghasilkan pertumbuhan ikan yang paling efisien yaitu dengan FCR sekitar 2,20 dan bobot ikan yang mencapai sekitar 114 gram.



Gambar 3. Pakan yang digunakan pada unit KJA sampel di Danau Rawa Pening:
(A) merk *Ruby Hg-3*, (B) merk *Onyx*, (C) merk *Hiprofit 781*.

3.2. Indeks keberlanjutan KJA di Danau Rawa Pening

Hasil *scoring* menunjukkan bahwa sebagian indikator dalam atribut kualitas perairan pada unit KJA sampel mendapat skor tinggi (3), kecuali pada indikator kadar nitrogen (N), fosfat (P), kecerahan dan kedalaman perairan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata-rata nilai DO, BOD, pH dan TDS masih memenuhi standar baku mutu air kelas 3 kategori danau dan sejenisnya berdasarkan Lampiran VI

Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan, Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Namun demikian, indikator fosfat memperoleh skor rendah karena rata-rata konsentrasi P pada unit KJA sampel mencapai 0,51 mg/L dan telah melampaui baku mutu yang ditetapkan (0,1 mg/L), sehingga mengindikasikan terjadinya pencemaran fosfat.

Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa potensi jumlah cemaran P yang berasal dari limbah budidaya ikan di Danau Rawa Pening sebesar 13.826,2 kg/tahun dan telah melebihi daya tampung beban cemaran P di danau tersebut yang hanya sebesar 6.930 kg/tahun (Machbub *et al.* 2012; Samudra *et al.* 2013). Tingginya cemaran P diduga merupakan penyebab terjadinya eutrofikasi di Danau Rawa Pening yang pada akhirnya mengakibatkan pendangkalan danau. Sejalan dengan hal tersebut, kedalaman perairan di lokasi KJA sampel hanya mencapai rata-rata 1,75 m, sehingga memperoleh skor rendah, sedangkan kedalaman ideal perairan untuk aktivitas budidaya berkisar antara 2–3 m dengan kedalaman optimal 5–7 m (Harmilia *et al.* 2022).

Penelitian ini juga mengkaji tingkat kesuburan perairan yang mendukung kelimpahan fitoplankton melalui pendekatan rasio N dan P (Rasio *Redfield*). Hasil penelitian Tambaru *et al.* (2022) menunjukkan bahwa sebesar 50,7% perubahan kelimpahan fitoplankton di ekosistem mangrove Lantebung Makassar dipengaruhi oleh perubahan rasio *Redfield*. Rasio *Redfield* yang optimal bagi pertumbuhan fitoplankton adalah N:P=16:1 (Liu *et al.* 2011). Tingginya kelimpahan fitoplankton di suatu badan perairan, yaitu >15.000 ind/L mengindikasikan bahwa badan perairan tersebut telah berada pada kondisi eutrofik (Tyas *et al.* 2017). Di sisi lain, kelimpahan fitoplankton dapat menguntungkan bagi sistem budidaya karena menyediakan sumber pakan alami bagi ikan. Hasil penelitian Permatasari (2017) menunjukkan perlakuan dengan rasio N:P = 16:1 menyebabkan melimpahnya pertumbuhan *Chlorophyta* yang merupakan pakan alami bagi ikan. Sebaliknya, rasio N:P ≤ 5 menyebabkan adanya dominansi *cyanobacteria* yang justru merugikan bagi lingkungan maupun budidaya perikanan (Hoa and Nhi 2020). Pada unit KJA sampel dalam penelitian ini nilai N:P = 3,9 : 1, sehingga diduga kelimpahan plankton di lokasi tersebut didominasi oleh *cyanobacteria*. Dengan tingkat kesuburan dan kualitas air yang demikian, rata-rata kelangsungan hidup ikan (SR) yang dipelihara dalam unit KJA

sampel hanya mencapai 74% dan tergolong sedang (**Tabel 2**). Menurut Badan Standarisasi Nasional, SR untuk produksi ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang baik adalah $\geq 75\%$ (SNI 6141:2009).

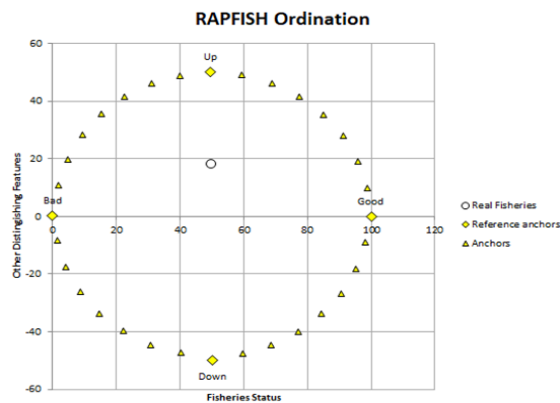
Hasil pengamatan dan wawancara juga menunjukkan bahwa unit KJA sampel belum memiliki sistem pengelolaan kualitas air dan limbah secara khusus, belum menerapkan biosekuritas, penanganan terhadap penyakit dilakukan dengan pemberian obat antibiotik super tetra, serta pemberian pakan yang masih berdasarkan insting dan pengalaman nelayan. Oleh karena itu, skor pada atribut yang terkait dengan berbagai hal tersebut berada pada kategori rendah hingga sedang.

Tabel 2. Hasil *scoring* setiap indikator pada atribut penelitian.

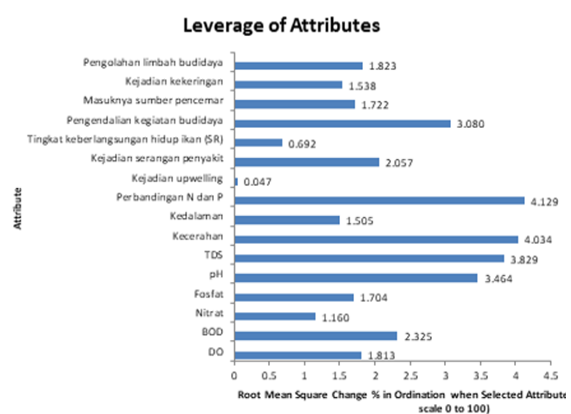
No.	Indikator	Rata-Rata Nilai Hasil Penelitian	Baku Mutu*	Hasil Scoring
A. Atribut Kualitas Air				
1	DO (mg/L)	3,652 mg/L	> 3 mg/L	3
2	BOD (mg/L)	0,783 mg/L	< 6 mg/L	3
3	N (mg/L)	2,10 mg/L	< 1,9 mg/L	1
4	P (mg/L)	0,51 mg/L	<0,1 mg/L	1
5	pH	7,97	6-9	3
6	TDS	152 ppm	<1000ppm	3
7	Kecerahan (meter)	0,382 m	>2,5 m	1
8	Kedalaman (meter)	1,75 m	>3 m	1,66
B. Atribut Kesuburan Perairan				
9	Perbandingan N dan P	N:P = 3,9 : 1	N:P =16:1	1
C. Atribut Kondisi Lingkungan				
10	Frekuensi kejadian <i>upwelling</i>	1 kali/tahun	Tidak pernah	2
11	Masuknya sumber pencemar	Berasal dari KJA itu sendiri	Tidak ada limbah yang masuk	1,66
12	Kejadian kekeringan	1 kejadian/tahun	Tidak pernah	2
D. Atribut Biosekuritas				
13	Pengendalian kegiatan budidaya	Tidak dikendalikan (tidak ada penerapan <i>biosecurity</i> secara spesifik)	Tidak ada ancaman (terkendali)	1
14	Pengolahan limbah budidaya	Tidak ada	Dilakukan dengan baik	1
E. Atribut Kesehatan Ikan				
15	Kejadian serangan penyakit	1,5%	Tidak terserang	1,5
16	Tingkat keberlangsungan hidup ikan (SR- %)	74%	>75%	2,3

*Baku mutu mengacu pada baku mutu air danau dan sejenisnya (kelas 3).

Hasil ordinasi MDS terhadap keseluruhan skor indikator pada setiap atribut menunjukkan nilai 49,567 yang mengartikan bahwa pengelolaan pada unit KJA sampel ditinjau pada dimensi ekologi berada pada kategori kurang berkelanjutan (**Gambar 4**). Model MDS yang dibangun dalam penelitian ini adalah baik, kesalahan analisis kecil dan dapat mewakili kondisi sebenarnya. Hal ini terlihat dari nilai *stress* = 0,129 dan nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,955. Kategori kurang berkelanjutan pada aktivitas budidaya perikanan di Danau Rawa Pening terutama disebabkan karena atribut kesuburan perairan (perbandingan N:P) yang memiliki skor rendah. Hal ini didukung dengan hasil analisis sensitivitas (*leverage analysis*) yang menunjukkan bahwa atribut paling sensitif dalam model MDS yang dibangun adalah atribut kesuburan perairan, yaitu perbandingan N dan P dengan nilai *leverage* 4,129 (**Gambar 5**).



Gambar 4. Hasil ordinasi MDS keberlanjutan KJA di Danau Rawa Pening.



Gambar 5. Hasil analisis sensitivitas pada model MDS keberlanjutan KJA di Danau Rawa Pening.

Selain itu, perlu dicermati bahwa indikator kadar N, P, dan kedalaman telah menunjukkan adanya permasalahan eutrofikasi di KJA sampel. Berbagai atribut lain yang menunjukkan kondisi pengelolaan KJA juga mendapat skor yang relatif rendah. Oleh karena itu, hasil indeks keberlanjutan dalam penelitian ini mengindikasikan bahwa pengelolaan KJA di Danau Rawa Pening belum dapat mewujudkan budidaya perikanan yang berkelanjutan. Masih terdapat ancaman kerusakan ekosistem yang akhirnya dapat membuat KJA tidak lagi beroperasi apabila sistem pengelolaan KJA yang ada saat ini tetap dipertahankan. Hal ini dapat dicegah dengan upaya peningkatan sistem pengelolaan menjadi lebih ramah lingkungan.

Budidaya perikanan berkelanjutan sendiri merupakan aktivitas budidaya perikanan yang dikelola sedemikian rupa sehingga bersifat ramah lingkungan dalam rangka memperoleh hasil produksi secara optimal tanpa harus menyebabkan dampak buruk bagi lingkungan pada masa sekarang hingga pada masa mendatang (Lowanshi *et al.* 2023). Kadarusman (2019) menyebutkan suatu aktivitas budidaya perikanan dinilai berkelanjutan jika tidak merusak lingkungan, sesuai secara teknis, memberi keuntungan ekonomi, serta dapat diterima oleh masyarakat. Kedua konsep tersebut sejalan dengan definisi pembangunan berkelanjutan yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang.

Dalam konteks Danau Rawa Pening, pengelolaan keramba jaring apung (KJA) masih memerlukan peningkatan agar selaras dengan prinsip perikanan berkelanjutan, karena saat ini umumnya masih menerapkan sistem pembesaran ikan tradisional. Menurut Kadarusman (2019), pembesaran ikan sistem tradisional ditandai dengan luasan lahan (dalam hal ini petak keramba) yang tidak teratur, konstruksi sederhana, keterbatasan sarana budidaya, padat tebar rendah, pakan alami, sistem aerasi alami, tidak tersedianya sistem pengolahan limbah, tidak ada pengaturan secara khusus terhadap sumber air dan kualitas air, tidak ada penerapan sistem biosekuritas, penanganan terhadap penyakit dilakukan dengan antibiotik, serta panen dilakukan berdasarkan musim budidaya. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara, disimpulkan bahwa tidak adanya sistem pengelolaan kualitas air dan limbah, tidak adanya penerapan biosekuritas, penanganan penyakit menggunakan antibiotik, serta pemberian pakan yang hanya berdasarkan insting dan pengalaman nelayan, merupakan hal yang perlu diperbaiki dalam pengelolaan KJA di Danau Rawa Pening agar semakin berkelanjutan.

Menurut Padhan (2022), budidaya perikanan berkelanjutan dapat tercapai dengan adanya penerapan sistem pengelolaan yang mencakup penyusunan strategi mitigasi pencemaran dan identifikasi sumbernya, pemanfaatan energi terbarukan, pengurangan ketergantungan terhadap pakan berbasis tepung ikan, promosi praktik budidaya berkelanjutan, penerapan budidaya perikanan organik, serta investasi pada teknologi ramah lingkungan seperti *Integrated Multi-Trophic Aquaculture* (IMTA), *In-Pond Raceway System* (IPRS), *Recirculating Aquaculture System* (RAS) dan *Biofloc Technology* (BFT).

Salah satu contoh alternatif teknologi ramah lingkungan pada budidaya dengan sistem KJA adalah *Integrated Multi-Trophic Aquaculture* (IMTA) yang dipadukan dengan *Stratified Double Net Rounded Cage* (SDFNC). Pada prinsipnya, IMTA menggabungkan budidaya beberapa spesies akuatik pada tingkat trofik berbeda di suatu lokasi yang sama agar limbah yang dihasilkan oleh spesies tertentu dapat menjadi masukan nutrisi bagi spesies lain pada tingkat trofik yang berbeda (Sukhdhane *et al.* 2018). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem IMTA pada budidaya ikan nila (*Oreochromis niloticus*), ikan lele (*Clarias sp.*) dan tanaman mata lele (*Lemna perpusilla*) dapat mengurangi limbah budidaya hingga >70% serta meningkatkan efisiensi biaya produksi ikan Nila sebesar 20% dan ikan Lele sebesar 30% sehingga lebih berkelanjutan (LIPI 2020). Sementara itu, SDFNC adalah desain keramba bertingkat yang memungkinkan untuk membudidayakan beberapa jenis spesies berbeda dalam suatu lokasi yang sama. Triarso dan Putro (2019) menyatakan bahwa penerapan prinsip IMTA pada sistem budidaya kerapu cantang (*Epinephellus fuscoguttatus-lanceolatus*), rumput laut, kakap putih (*Lates calcarifer*), teripang dan bintang laut yang dikembangkan menggunakan desain keramba SDFNC di Kepulauan Karimunjawa, Jepara, terbukti mampu meningkatkan produktivitas budidaya sekaligus menekan dampak lingkungan, sehingga mendukung keberlanjutan sistem budidaya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Status keberlanjutan KJA di Danau Rawa Pening termasuk kategori kurang berkelanjutan (indeks keberlanjutan 49,567). Faktor yang paling mempengaruhi status keberlanjutan KJA di Danau Rawa Pening adalah kesuburan perairan (perbandingan nilai N dan P). Dengan demikian, pengelolaan KJA di Danau Rawa Pening belum sepenuhnya dilakukan berdasarkan prinsip pengelolaan yang berkelanjutan. Perlu dirumuskan strategi-strategi pengelolaan yang menjamin keberlanjutan KJA Danau Rawa Pening tersebut, terutama dalam memonitor dan mengelola kesuburan perairan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adhar S, Erlangga E, Rusydi R, Mainisa M, Prasetya YA dan Zaitun U. 2023. Analisis daya tampung beban pencemaran fosfor dan dampak keramba jaring apung di danau laut tawar, Aceh Tengah. *Jurnal Riset Akuakultur* 18(2):117–127.
- Akbar C, Utomo DSC, Hudaidah S dan Setyawan A. 2020. Manajemen waktu dan jumlah pemberian pakan dalam meningkatkan pertumbuhan dan sintasan ikan gabus, *Channa striata* (Bloch,1793). *Journal of Aquatropica Asia* 5(1):1-8.
- Akinnowo SO. 2023. Eutrophication: causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies. *Environmental Challenges* 12(100733):1–18.
- Can E, Austin B, Steinberg CEW, Carboni C, Sağlam N, Thompson K, Yiğit M and Can SS. 2023. Best practices for fish biosecurity , well-being and sustainable aquaculture. *Sustainable Aquatic Research* 2 (3):221–267.
- El-Hack MEA, El-Saadony MT, Nader MMS, El-Tahan AM, Soliman SM and Khafaga AF. 2022. Effect of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Biometeorology* 66(11):2183–2194.
- [FAO] Food And Agriculture Organization. 2010. Aquaculture development: Ecosystem approach to aquaculture in FAO technical guidelines for responsible fisheries (Vol. 5 Suppl. 4.). FAO. Rome.
- Fauzi A dan Anna S. 2005. Permodelan sumber daya perikanan dan kelautan : untuk analisis kebijakan. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Harmilia ED, Ma'ruf I dan Meiwinda ER. 2022. Analisis kesesuaian lokasi budidaya ikan menggunakan keramba jaring apung di Anak Sungai Komering Banyuasin. *Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia* 10(1):1–13.
- Hoa NV and Nhi DT. 2020. Determination of an appropriate ratio of N : P for optimisation of algal development in fertilizer ponds. *Bioflux* 13(6):3727–3742.
- Kadariusman, Rachmawati R, Setyawidati NAR, Sektiana SP, Albasri, Erfind Nurdin RFTH, Saputra RSH, Muhammad DN, Nursid dan Purbani D. 2019. Buku besar maritim Indonesia: sumber daya hayati maritim. Amafrad Press. Jakarta.

- Kurniati RI, Komala PS dan Zulkarnaini. 2021. Analisis beban pencemar total nitrogen dan total fosfat akibat aktivitas antropogenik di Danau Maninjau. *Jurnal Ilmu Lingkungan* 19(2):355–364.
- [LIPI] Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. 2020. Integrated multi trophic aquaculture (IMTA): budidaya ikan dan tumbuhan air dalam sistem perikanan terpadu [internet]. Tersedia di: https://lipindonesia.com/limnologi-sub/newsdetail_id-1019/.
- Liu Y, Li L and Jia R. 2011. The optimum resource ratio (N:P) for the growth of *Microcystis aeruginosa* with abundant nutrients. *Procedia Environmental Sciences* 10(Part C): 2134–2140.
- Lowanshi A, Lal J, Brar KS, SahilS, Mogalekar HS, Nayak SK and Singh SK. 2023. Periphyton-based aquaculture system. *Journal of Experimental Zoology India* 26(2):1569–1574.
- Machbub B, Suwanto A, Harahap TN, Manurung H, Retnowati I, Rachmiati S dan Rustadi WC. 2012. Daya tampung beban pencemaran dan zonasi Danau Rawa Pening. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Mokoginta FL, Singjal J, Hengky dan Pangemanan NP. 2022. Pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang diberi pakan komersil dengan penambahan effective microorganism-4. *Budaya Perairan* 10(2):166–176.
- Padhan B. 2022. Importance of sustainable aquaculture and its practices. *Agriallis* 3(5):13–19.
- Permatasari DI. 2017. Pengaruh perbedaan rasio N dan P terhadap struktur komunitas fitoplankton [Undergraduate Thesis]. Department of Aquatic Resources Management, Faculty of Fisheries and Marine Sciences, IPB University. Bogor.
- Pitcher TJ and Preikshot D. 2001. RAPFISH: a rapid appraisal technique to evaluate the sustainability status of fisheries. *Fisheries Research* 49(3):255–270.
- PP (Peraturan Pemerintah) Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

- Putri MA, Affandi R, Setyobudiandi I dan Yulianto G. 2019. Status keberlanjutan perikanan budidaya keramba jaring apung (KJA) di waduk Jatiluhur, Kabupaten Purwakarta. *Journal of Natural Resources and Environmental Management* 9(3): 771-786.
- Qin B, Gao G, Zhu G, Zhang Y, Song Y, Tang X, Xu H and Deng J. 2013. Lake eutrophication and its ecosystem response. *Chinese Science Bulletin* 58(9):961-970.
- Riyanto S dan Hatmawan AA. 2020. Metode riset penelitian kuantitatif: penelitian di bidang manajemen, teknik, pendidikan dan eksperimen. Deepublish. Yogyakarta.
- Safitri RN, Ningtyas SRA, Hermawan WG, Pramitasari TA dan Rachmawati S. 2022. Dampak kualitas air pada kawasan keramba budidaya ikan air tawar di waduk cengklik, Boyolali. *Envoist Journal* 2(2):84-91.
- Samudra SR, Soeprobawati TR dan Izzati M. 2013. Daya tampung beban pencemaran fosfor untuk budidaya perikanan Danau Rawa Pening. [Prosiding]. Prosiding dalam Simposium Nasional Penyelamatan Ekosistem Danau Rawapening Kementerian Lingkungan Hidup dan Universitas Diponegoro.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 6141:2009 tentang produksi benih ikan nila hitam (*Oreochromis niloticus* Bleeker) kelas benih sebar.
- Sodikin MA. 2024. Revitalisasi Rawa Pening: danau prioritas nasional & perlawanan masyarakat [Internet]. Tersedia di: <https://www.kompasiana.com/maulanaakbar7829/65a3e66412d50f0c504f7684/revitalisasi-rawa-pening-danau-prioritas-nasional-perlawanan-masyarakat>.
- Soeprobawati TR dan Suedy SWA. 2010. Status trofik Danau Rawa Pening dan solusi pengelolaannya. *Jurnal Sains & Matematika* 18(2005):158-169.
- Sukhdhane KS, Kripa V, Divu D, Vase VK and Mojjada SK. 2018. Integrated multi-trophic aquaculture systems: a solution for sustainability. *Aquaculture Asia Magazine* 22(4):26-29.
- Sulastri, Henny C dan Handoko U. 2016. Kondisi lingkungan dan status trofik Danau Rawa Pening di Jawa Tengah. *Oseanologi Dan Limnologi Di Indonesia* 1(3):23-38.
- Sutisna E, Affandi R, Kamal MM dan Yulianto G. 2020. Penilaian status dan penyusunan strategi pengelolaan perikanan budidaya ikan jelawat (*Leptobarbus hoeveni*, Bleeker, 1851) berkelanjutan di Kota Jambi. *Jurnal of Natural and Environmental Management* 10(3):524-532.

- Tambaru R, Saru A, Syafiuddin, Amri K, Hatta M dan Febrianti. 2022. Analisis rasio Redfield terhadap kesesuaian pertumbuhan fitoplankton di ekosistem Mangrove Lantebung Kota Makassar. *Jurnal Aquatik* 5(2):188–195.
- Triarso I dan Putro SP. 2019. Pengembangan budidaya perikanan produktif berkelanjutan sistem IMTA (*Integrated Multi-Trophic Aquaculture*) (studi kasus di Kep. Karimunjawa, Jepara). *Life Science* 8(2):192–199.
- Tyas EA, Hutabarat S dan Ain C. 2017. Struktur komunitas plankton pada perairan yang ditumbuhi eceng gondok sebagai bioindikator kualitas perairan di Danau Rawa Pening Semarang. *Jurnal of Maquares* 6(2): 111–119.
- Utomo DAW. 2015. Komodifikasi eceng gondok studi kasus pemanfaatan eceng gondok di sekitar Danau Rawa Pening [Postgraduate Thesis]. Program Pasca Sarjana Magister Studi Pembangunan, Fakultas Inter Disipliner, Universitas Kristen Satya Wacana. Salatiga.
- Wibowo BA, Anggoro S dan Yulianto B. 2015. Status keberlanjutan dimensi ekologi dalam pengembangan kawasan minapolitan berkelanjutan berbasis perikanan budidaya air tawar di Kabupaten Magelang. *Jurnal Saintek Perikanan* 10(2): 107–113.
- Wulandari SS. 2022. Revitalization as a regulatory strategy in Rawa Pening Lake Management (case study in Dusun Sido Makmur, Sumber Rejo, Semarang Regency). *Endogami: Jurnal Ilmiah Kajian Antropologi* 6(1):16-31.