

Penilaian Keberlanjutan Manajemen Pakan pada Perikanan Budidaya Sistem Keramba di Danau Rawa Pening

Selia Mawarni¹, Djohan², dan Desti Christian Cahyaningrum^{1*}

¹Prodi S1 Biologi, Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, Indonesia; e-mail: desti.cahyaningrum@uksw.edu

²Prodi S2 Biologi, Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, Indonesia

ABSTRAK

Aktivitas budidaya keramba berpotensi memperburuk peristiwa eutrofikasi danau akibat sisa pakan yang terbuang ke badan perairan. Sehingga, perlu dipastikan bahwa manajemen pakan dalam kegiatan tersebut bersifat ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi keberlanjutan manajemen pakan pada budidaya ikan sistem keramba di Danau Rawa Pening melalui pendekatan RAPFISH. Data dikumpulkan melalui observasi lapangan dan wawancara semi terstruktur. Responden dalam penelitian ini ditentukan secara purposive, yaitu sebanyak 12 orang pembudidaya yang mengelola total 247 unit keramba (41,03% dari total populasi keramba di lokasi penelitian). Data yang terkumpul menjadi dasar proses skoring terhadap 10 atribut manajemen pakan yang berkelanjutan. Hasil skoring diolah dengan teknik ordinasasi Multi Dimensional Scaling (MDS) pada aplikasi RAPFISH yang telah dimodifikasi pada bagian atribut keberlanjutan. Hasil ordinasasi MDS menunjukkan rata-rata indeks keberlanjutan manajemen pakan pada budidaya ikan sistem keramba di Danau Rawa Pening berdasarkan kondisi eksisting unit analisis penelitian termasuk dalam kategori cukup berkelanjutan (56,55). Hasil ordinasasi MDS tersebut telah memenuhi kriteria kelayakan untuk mengevaluasi keberlanjutan karena menunjukkan goodness of fit yang memadai (nilai stress 0,138 dan Squared Correlation 0,927). Analisis Leverage menunjukkan bahwa atribut dengan nilai Root Mean Square tertinggi adalah kadar protein pakan (6,79), penentuan jumlah pakan (6,72), dan jenis pakan (6,51). Disimpulkan bahwa keberlanjutan manajemen pakan pada budidaya ikan sistem keramba di Danau Rawa Pening perlu ditingkatkan dengan mengupayakan optimasi kadar protein sesuai fase pertumbuhan ikan, ketepatan jumlah pakan yang diberikan berdasarkan biomassa ikan dan feeding rate yang sesuai, evaluasi indikator kinerja budidaya ikan, serta aplikasi pakan alternatif yang tepat.

Kata kunci: eutrofikasi, keramba, keberlanjutan, pakan ikan, RAPFISH

ABSTRACT

Net cages aquaculture in Rawa Pening Lake have the potential to exacerbate eutrophication, through uneaten feed waste entering the water body. Therefore, it is essential to ensure that feed management practices are sustainable. This study aims to evaluate the sustainability of feed management practices in net cage aquaculture in Rawa Pening Lake using the RAPFISH approach. Data were collected through field observations, and semi-structured interviews. Respondents were selected purposively, comprising 12 fish farmers managing a total of 247 net cages, representing 41,03% of the total net cage population in the study area. The collected data served as the basis for scoring 10 sustainable feed management attributes. The scoring results were analyzed using Multi-Dimensional Scaling ordination technique in RAPFISH application, which had been modified in terms of its sustainability attributes. The MDS ordination results showed that the average sustainability index of feed management indicating that feed management was moderately sustainable (56.55). The MDS ordination met the criteria for a reliable sustainability assessment, as demonstrated by a satisfactory goodness-of-fit (stress value = 0.138, squared correlation = 0.927). Leverage analysis identified attributes with highest RMS are, feed protein content (6.79), determination of feed quantity (6.72), and feed type (6.51). It can be concluded that the sustainability of feed management in study site should be improved by optimization of dietary protein levels based on fish growth stages, ensuring accurate feed allocation based on fish biomass and proper feeding rate, evaluating aquaculture performance indicators, and implementing suitable alternative feed resources.

Keywords: eutrophication, cage culture, sustainability, feed, RAPFISH

Citation: Mawarni, S., Djohan, Cahyaningrum, D. C. (2026). Penilaian Keberlanjutan Manajemen Pakan pada Perikanan Budidaya Sistem Keramba di Danau Rawa Pening. Jurnal Ilmu Lingkungan, 24(3), 558-568, doi:10.14710/jil.24.3.558-568

1. PENDAHULUAN

Danau Rawa Pening merupakan salah satu danau semi alami yang terletak di Kabupaten Semarang, Jawa Tengah, dengan luas sekitar 2.670 hektar (Amalia et al., 2023) dengan daya tampung air maksimum dan minimum berturut-turut sebesar 65 juta m³ dan 25 juta m³ (Piranti, 2019). Secara administratif, Danau Rawa Pening terletak di empat kecamatan, yaitu Kecamatan Banyu Biru, Kecamatan Tuntang, Kecamatan Bawen, dan Kecamatan Ambarawa. Danau ini berada di ketinggian antara 455-465 mdpl dengan letak geografis 7°4'00" - 7°30'00" LS dan 110°24'26" - 110°49'06" BT (Mujiburohman & Andari, 2023). Danau Rawa Pening memiliki kedalaman bervariasi di berbagai lokasi, dengan rata-rata kedalaman sebesar ±2,5 meter pada musim penghujan dan ±1,5 meter pada musim kemarau (Djumanto et al., 2020). Menurut Soeprubowati (2012) wilayah terdalem terletak di sekitar sumber mata air di Wilayah Bukit Cinta (sekitar 18,4 meter), sedangkan wilayah terdangkal dapat ditemukan di bagian timur laut hingga tenggara danau (kedalam kurang dari 0,5 meter). Ditinjau dari aspek sosial dan ekonomi, Danau Rawa Pening memiliki nilai penting karena berperan sebagai sumber air baku, air irigasi, sumber energi bagi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Jelok, wilayah pengendali banjir, kawasan pariwisata, kawasan perikanan tangkap, hingga perikanan budidaya, yang semuanya merupakan penggerak perekonomian masyarakat.

Di antara berbagai pemanfaatan tersebut, sektor perikanan budidaya sistem keramba cukup berkembang di badan perairan Danau Rawa Pening. Menurut hasil penelitian Samudra et al., (2013) jumlah keramba di Danau Rawa Pening pada tahun 2011 telah mencapai 452 unit (seluas 65.088 m²) dan telah melebihi daya tampung beban pencemaran fosfor yang hanya sekitar 145 unit keramba (seluas 20.880 m²). Jumlah tersebut terus bertambah dan data terakhir menunjukkan bahwa jumlah keramba telah mencapai 600 unit dengan lokasi yang tersebar di berbagai titik, termasuk di wilayah Jembatan Biru - Kecamatan Bawen dan wilayah Bukit Cinta - Kecamatan Banyu Biru, berdasarkan data dari Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) (Rahma et al., 2024 ; Kintani et al., 2024)

Keberadaan keramba dalam jumlah besar tanpa pengelolaan yang baik dapat menimbulkan tekanan serius terhadap badan perairan danau karena dapat menyebabkan peningkatan beban pencemaran terhadap danau, terutama melalui limbah organik yang berasal dari pakan ikan yang tidak termakan serta feses ikan. Menurut Sukadi (2010), umumnya diperkirakan bahwa sebanyak 20–30% pakan dalam sistem keramba tidak dikonsumsi oleh ikan dan mengendap di dasar danau. Sisa pakan dan feses ikan yang terakumulasi di perairan akan mengalami penguraian oleh mikroorganisme sehingga melepaskan senyawa nitrogen (N) dan fosfor (P), yang merupakan unsur hara utama pemicu peningkatan

kesuburan perairan. Astuti et al., (2024) juga menyatakan bahwa tingginya ortofosfat di perairan salah satunya dipengaruhi oleh sisa pakan ikan. Sejalan dengan hal tersebut, Yuningsih et al., (2014) menunjukkan bahwa wilayah keramba di Danau Rawa Pening memiliki hubungan erat dengan peningkatan bahan organik. Secara detail, Piranti, (2019) menunjukkan bahwa jumlah pakan yang diberikan pada budidaya sistem keramba di Danau Rawa Pening mencapai 634,10 ton/tahun dengan *Food Conversion Ratio* (FCR) sebesar 1,83 ton pakan/ton ikan sehingga limbah budidaya ikan yang masuk adalah sebesar 20 Kg P/ton ikan.

Peningkatan kesuburan perairan akibat peningkatan beban pencemaran N dan P di badan perairan akan memicu pertumbuhan berlebih mikrofita (seperti fitoplankton) maupun makrofita (seperti eceng gondok) yang ketika mati dapat menimbulkan akumulasi biomasnya di dasar perairan. Hal ini selanjutnya akan menyebabkan peningkatan laju sedimentasi serta peningkatan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) yang mengakibatkan penurunan kadar oksigen terlarut dan berisiko memicu kematian organisme akuatik (Piranti et al., 2018). Serangkaian peristiwa tersebut dikenal dengan istilah eutrofikasi. Permasalahan eutrofikasi menjadi semakin kompleks bagi ekosistem Danau Rawa Pening, mengingat karakteristiknya yang dangkal, sehingga proses pengendapan dan akumulasi limbah akan lebih cepat terjadi.

Oleh karena itu, penerapan manajemen pakan yang berkelanjutan sangat penting untuk mengurangi resiko terjadinya eutrofikasi danau, dan dengan demikian menjaga keberlanjutan fungsi ekologis dan ekonomis danau. Manajemen pakan berkelanjutan pada budidaya ikan sistem keramba dapat dilihat dari pemberian jumlah pakan yang efisien dan ramah lingkungan. Pemberian pakan yang berlebihan, tidak hanya menyebabkan inefisiensi biaya, tetapi juga memperbesar risiko pencemaran air. Sebagai contoh, salah satu penyebab eutrofikasi di Danau Toba adalah pencemaran akibat sisa pakan dari budidaya keramba di wilayah tersebut (Hutajulu & Harahap, 2023). Hal serupa juga terjadi di Danau Limboto, dimana aktivitas keramba yang tidak menerapkan efisiensi pakan dengan baik merupakan penyebab tingginya kandungan nutrisi dalam badan perairan tersebut (Nusantari, 2010). Sebaliknya, pemberian pakan yang tepat sesuai kebutuhan ikan dapat meningkatkan pertumbuhan, mengurangi limbah, dan menjaga kualitas perairan (Gao et al., 2022). Berbagai indikator yang dapat menunjukkan adanya manajemen pakan yang efisien dan ramah lingkungan antara lain adalah perencanaan jumlah dan waktu pemberian pakan yang sesuai, pemilihan jenis dan kadar protein pakan yang optimal, serta pencatatan pemberian pakan secara teratur untuk mengevaluasi efisiensi melalui indikator seperti *Feed Conversion Ratio* (FCR) dan *Survival Rate* (SR).

Di sisi lain, masih minimnya data evaluatif yang menggambarkan sejauh mana praktik manajemen

pakan di Danau Rawa Pening telah memenuhi prinsip keberlanjutan, menjadi kendala dalam perencanaan kebijakan dan pengambilan keputusan berbasis bukti. Untuk itu, diperlukan pendekatan analisis yang mampu memberikan gambaran konkrit mengenai profil manajemen pakan di wilayah tersebut untuk mengkaji status keberlanjutan manajemen pakan secara komprehensif.

Salah satu metode yang dapat umum digunakan dalam menilai status keberlanjutan, terutama untuk sektor perikanan, adalah RAPFISH (*Rapid Appraisal for Fisheries*). RAPFISH merupakan suatu kerangka analisis untuk melakukan penilaian cepat terhadap tingkat keberlanjutan melalui pendekatan multidimensi menggunakan algoritma *Multi-Dimensional Scaling* (MDS). RAPFISH pertama kali dikembangkan oleh tim dari *Fisheries Centre University of British Columbia* dan ditujukan untuk menilai keberlanjutan perikanan tangkap. Meskipun demikian, pendekatan RAPFISH bersifat fleksibel karena berbagai atribut yang digunakan dalam proses analisis dapat dimodifikasi sesuai tujuan penelitian, serta dapat digunakan untuk mengevaluasi keberlanjutan secara multidimensi maupun pada dimensi tertentu secara terpisah (Metananda et al., 2025; Ramadhanty et al., 2022; Hartono et al., 2005). Fleksibilitas tersebut sangat penting dalam penelitian ini karena atribut yang digunakan dapat dimodifikasi dan disesuaikan dengan berbagai kriteria manajemen pakan budidaya ikan sistem keramba yang berkelanjutan.

Selain itu, pendekatan RAPFISH juga diasumsikan dapat menilai keberlanjutan manajemen pakan dengan baik karena berbagai kelebihan sebagai berikut: 1) mampu mengintegrasikan banyak atribut secara simultan, 2) memerlukan data yang relatif sederhana, 3) andal untuk digunakan dalam penelitian lapangan dengan data terbatas karena dapat menggabungkan kombinasi data kuantitatif dan kualitatif serta dilengkapi uji Monte Carlo untuk mengevaluasi ketidakpastian dan kestabilan analisis, 4) memiliki analisis Leverage untuk identifikasi atribut paling berpengaruh terhadap nilai keberlanjutan sehingga hasil analisis tidak hanya berupa nilai indeks keberlanjutan tetapi juga rekomendasi prioritas perbaikan, 5) aplikasi yang digunakan cukup praktis dan mudah dipahami oleh peneliti dengan keterbatasan pemahaman mengenai MDS (Pitcher et al., 2013; Pitcher & Preikshot, 2001).

Berdasarkan latar belakang tersebut, serta memperhatikan fleksibilitas pendekatan RAPFISH, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keberlanjutan manajemen pakan pada budidaya ikan sistem keramba di Danau Rawa Pening dengan mengadaptasi prosedur RAPFISH. Adaptasi dilakukan terutama pada tahapan penentuan atribut, proses scoring, serta analisis data menggunakan aplikasi RAPFISH yang merupakan *add-in* dalam Ms. Excel. Berbeda dengan RAPFISH konvensional yang mengelompokkan atribut ke dalam beberapa dimensi keberlanjutan, penelitian ini menggunakan satu

kelompok atribut yang secara khusus merepresentasikan keberlanjutan manajemen pakan.

Kondisi keberlanjutan manajemen pakan dalam penelitian ini dijabarkan melalui analisis terhadap sepuluh atribut keberlanjutan manajemen pakan yang disusun berdasarkan studi literatur, sedangkan algoritma MDS digunakan sebagai teknik ordinasasi untuk mengestimasi nilai indeks keberlanjutannya. Diharapkan, hasil penelitian ini dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai kondisi keberlanjutan manajemen pakan di Danau Rawa Pening, memberi masukan yang relevan dalam upaya pengelolaan keramba yang lebih efisien, adaptif, dan berkelanjutan, serta menjadi dasar bagi penyusunan kebijakan konservasi dan pemanfaatan danau yang selaras dengan prinsip ekologi dan kesejahteraan masyarakat.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian survei dengan desain *cross-sectional* yang dilaksanakan di Danau Rawa Pening, Kabupaten Semarang. Pengumpulan data dilakukan satu kali selama periode penelitian, yaitu pada Bulan Januari – Juli 2024. Data yang diperoleh menggambarkan kondisi aktual manajemen pakan budidaya ikan sistem keramba pada saat pengambilan data. Populasi penelitian adalah unit keramba yang berada di kawasan sekitar Jembatan Biru (mencakup Kecamatan Bawen dan Tuntang) dan di sekitar Bukit Cinta (mencakup Kecamatan Tuntang dan Banyubiru), dengan total populasi sebanyak 602 unit KJA.

Penelitian ini melibatkan 12 orang pembudidaya sebagai responden penelitian, yang mengelola sekitar 247 unit keramba (41,03% dari total populasi keramba) dengan distribusi seperti yang terlihat pada Gambar 1. Penentuan responden dilakukan secara *purposive* terhadap pembudidaya yang berperan sebagai informan kunci di lokasi penelitian, karena memiliki pengalaman budidaya yang memadai dan mengelola unit keramba aktif dalam jumlah yang relatif besar. Responden dengan kriteria tersebut diasumsikan memiliki pengetahuan relevan dan dapat memberikan informasi yang tepat dan komprehensif mengenai praktik manajemen pakan pada unit keramba yang dikelolanya. Unit analisis dalam penelitian ini adalah sistem manajemen pakan yang diterapkan pada unit keramba yang berada dalam pengelolaan masing-masing responden. Dengan demikian, data tidak dianalisis sebagai observasi independen pada setiap unit keramba, melainkan sebagai satu kesatuan informasi pada tingkat pembudidaya.

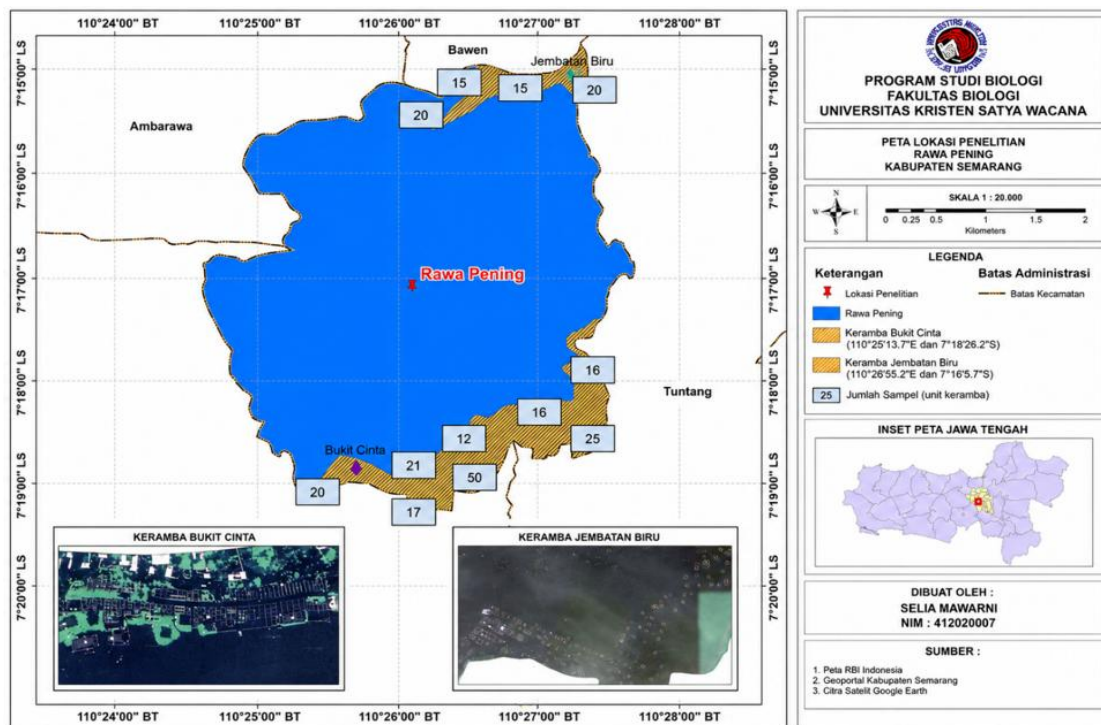
Pengumpulan dan analisis data dalam penelitian dilakukan dengan mengadaptasi metode RAPFISH (*Rapid Appraisal for Fisheries*) yang telah dimodifikasi. Secara umum, tahapan analisis keberlanjutan dengan metode RAPFISH dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: 1) Penyusunan atribut yang tepat untuk mengukur indeks keberlanjutan manajemen pakan yang diterapkan di keramba berdasarkan studi

literatur, 2) Penilaian atribut dengan menggunakan skala ordinal (proses skoring), 3) Penentuan nilai indeks keberlanjutan melalui teknik ordinasi MDS berdasarkan hasil skoring setiap atribut, 4) Evaluasi tingkat kesesuaian (*goodness of fit*) model ordinasi melalui penentuan nilai stress dan koefisien determinasi (R^2) yang dilakukan secara simultan dengan tahap penentuan indeks keberlanjutan, 5) penentuan kriteria status keberlanjutan berdasarkan nilai indeks keberlanjutan yang telah diperoleh, 6) Analisis Leverage untuk mengidentifikasi atribut yang paling sensitif dalam mempengaruhi nilai indeks, 7) Analisis *Monte Carlo* untuk menguji tingkat kestabilan dan ketelitian hasil ordinasi terhadap kemungkinan kesalahan pemberian skor, variasi penilaian atribut, serta ketidakpastian data yang digunakan dalam analisis. Tahap penentuan nilai indeks keberlanjutan, penentuan nilai stress dan R^2 , analisis Leverage dan analisis *Monte Carlo* dalam penelitian ini dilakukan menggunakan aplikasi RAPPFISH yang terintegrasi sebagai *add-in* pada aplikasi Ms. Excel.

Modifikasi RAPPFISH dalam penelitian ini dilakukan pada tahap penentuan atribut yang digunakan, yaitu disesuaikan dengan berbagai indikator manajemen pakan budidaya ikan sistem keramba yang berkelanjutan berdasarkan studi literatur. Sebanyak total 10 atribut yang digunakan dalam penelitian ini dipilih karena secara teoritis berpengaruh terhadap komponen penting dalam keberlanjutan manajemen pakan, yaitu efisiensi penggunaan pakan, produktivitas budidaya, serta dampak lingkungan. Metode RAPPFISH tidak menerapkan pembobotan yang berbeda antar atribut, sehingga seluruh atribut diperlakukan secara setara

(*equal weighting*). Pengaruh relatif setiap atribut terhadap status keberlanjutan akan dievaluasi melalui analisis Leverage setelah proses ordinasi (Melo et al., 2020; Pitcher & Preikshot, 2001).

Data penelitian dikumpulkan melalui metode observasi lapangan dan wawancara semi terstruktur dengan para responden dengan instrumen yang mengacu pada Tabel 1. Data tersebut masing-masing kemudian dikonversi ke dalam kategori skala ordinal yang merepresentasikan tingkat kondisi atribut yang berbeda secara konseptual, yaitu 1 = buruk, 2 = sedang, dan 3 = baik, berdasarkan pedoman skoring yang telah ditetapkan. Pedoman skoring disusun sebelum penelitian, sehingga setiap kategori jawaban memiliki kriteria penilaian yang jelas, pemberian skor dapat dilakukan secara konsisten, serta tidak bergantung pada interpretasi subjektif peneliti (Tabel 1). Dalam metode RAPPFISH, skoring atribut lebih merupakan pendekatan semi-kuantitatif yang bertujuan untuk mengklasifikasikan kondisi relatif setiap atribut sebagai dasar ordinasi MDS, daripada untuk menangkap variasi yang sangat rinci antar unit pengamatan. Ketepatan hasil analisis dalam metode RAPPFISH lebih ditentukan oleh relevansi atribut, kejelasan kriteria skoring, dan konsistensi penilaian dibanding banyaknya kategori skor yang digunakan (Pitcher & Preikshot, 2001). Oleh karena itu, penggunaan tiga kategori skala ordinal dalam penelitian ini diasumsikan dapat memberikan hasil analisis yang memadai karena mampu membedakan tingkat kondisi secara jelas, menyederhanakan proses penilaian lapangan, serta mengurangi subyektivitas dalam pemberian skor.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Tabel 1. Atribut Beserta Acuan Skoring Analisis Keberlanjutan Manajemen Pakan

No	Atribut	Acuan Skoring	Referensi
1	Padat tebar	1 = > 65 ekor/m ³ 2 = 60-65 ekor/m ³ , ada penambahan sebelum masa panen 3 = 60-65 ekor/m ³ , tidak ada penambahan hingga masa panen	Abd El-Hack et al., 2022; Hanif et al., 2011
2	Adanya potensi pembuatan dan penggunaan pakan alternatif secara mandiri	1 = Tidak dilakukan 2 = Dilakukan namun insidental dan belum terencana 3 = Dilakukan dengan nutrisi terencana	Gule & Geremew, 2022
3	Kemudahan dalam memperoleh pakan	1 = sulit, memerlukan usaha yang besar 2 = cukup mudah, namun pada waktu tertentu memerlukan usaha yang besar 3 = mudah diperoleh sepanjang tahun	Boyd et al., 2020
4	Survival rate	1 = <70% 2 = 70%-80% 3 = >80%	Abaho et al., 2020; Iddrisu et al., 2022
5	Kadar protein pakan ikan	1 = < 25% 2 = > 25%, mengandung antibiotika membahayakan 3 = > 25%, tidak mengandung antibiotika membahayakan	El-Saidy & Gaber, 2005; Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2018
6	Jenis pakan	1 = Pellet tenggelam saa 2 = Pellet terapung saja 3 = Pellet terapung + pakan alternatif	Hanif et al., 2011
7	FCR	1 = > 1,6 2 = 1,2-1,6 3 = 0,8-1,2	Ihsanudin et al., 2014; Pranata & Kusuma, 2021
8	Penentuan jumlah pakan yang diberikan	1 = <i>Ad libitum</i> 2 = Dilakukan perhitungan, namun tidak berdasarkan <i>feeding rate</i> yang sesuai 3 = Dilakukan perhitungan berdasarkan <i>feeding rate</i> yang sesuai	Erlania et al., 2010
9	Waktu pemberian pakan	1 = Tidak teratur 2 = Teratur, namun tidak pada jam yang sama 3 = Teratur, di jam yang sama	Erlania et al., 2010
10	Dokumentasi pemberian pakan	1 = Tidak dilakukan pencatatan jumlah pakan yang diberikan 2 = Dilakukan pencatatan jumlah pakan yang diberikan namun tidak mencakup informasi yang lengkap untuk menghitung FCR 3 = Dilakukan pencatatan jumlah pakan yang diberikan dan informasi lain secara lengkap untuk menghitung FCR	White et al., 2018

Hasil skoring kemudian digunakan menentukan nilai indeks keberlanjutan manajemen pakan pada budidaya ikan sistem keramba Danau Rawa Pening. Kesimpulan mengenai status keberlanjutan dilakukan dengan membandingkan nilai indeks keberlanjutan hasil ordinasi MDS menggunakan aplikasi RAPFISH, dengan kriteria menurut Fauzi dan Anna (2005) sebagai berikut: 1) nilai indeks 75-100 termasuk kategori sangat berkelanjutan, 2) nilai indeks 50-74,9 termasuk kategori cukup berkelanjutan, 3) nilai indeks 25-49,9 termasuk kategori kurang berkelanjutan, 4) 0-24,9 termasuk kategori tidak berkelanjutan. Simultan dengan proses ordinasi MDS tersebut, tingkat kesesuaian (*goodness of fit*) hasil ordinasi dievaluasi berdasarkan nilai stress dan koefisien determinasi (R^2). Menurut Widiawan et al., (2025), hasil ordinasi MDS memiliki *goodness of fit* yang baik jika menunjukkan nilai stress < 0,25 dan R^2 > 80% atau mendekati 100% atau 1. Selain itu, kestabilan hasil ordinasi MDS terhadap kemungkinan pengaruh kesalahan acak (*random error*) seperti variasi penilaian atribut, kesalahan input data, maupun proses iterasi, dievaluasi melalui analisis Monte Carlo pada taraf kepercayaan 95%. Pada penelitian ini, analisis Monte Carlo dilakukan dengan 25 iterasi sesuai *default* pada aplikasi RAPFISH. Apabila selisih nilai antara indeks keberlanjutan hasil ordinasi MDS dengan hasil ordinasi Monte Carlo relatif kecil (umumnya < 5%), maka hasil ordinasi dinilai stabil dan memiliki tingkat kepercayaan yang tinggi (Hermawan, 2025).

Dalam penelitian ini, atribut – atribut yang memiliki pengaruh paling besar terhadap perubahan nilai indeks keberlanjutan juga diidentifikasi melalui analisis Leverage. Analisis tersebut menghasilkan data berupa persentase perubahan *Root Mean Square* (RMS) dari setiap atribut jika dihilangkan dari proses ordinasi. Semakin besar persentase RMS yang dihasilkan oleh suatu atribut, semakin besar pengaruh atribut tersebut terhadap nilai indeks keberlanjutan (Harsya et al., 2026). Oleh karena itu, atribut dengan nilai RMS tertinggi direkomendasikan sebagai prioritas dalam penyusunan strategi perbaikan manajemen pakan pada budidaya ikan sistem keramba di Danau Rawa Pening.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Profil Manajemen Pakan Eksisting

Hasil observasi dan wawancara secara umum menunjukkan bahwa budidaya ikan sistem keramba di lokasi penelitian masih menggunakan metode konvensional dalam hal teknologi budidaya yang digunakan, termasuk di dalamnya manajemen pakan yang diterapkan. Sebagian besar unit keramba yang ada dibuat menggunakan bahan bambu, drum, dan kayu yang dirakit secara tradisional. Keramba tersebut umumnya dimanfaatkan untuk kegiatan budidaya ikan, dengan jenis ikan yang paling banyak dibudidayakan adalah Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). Kepemilikan keramba pada umumnya bersifat milik pribadi, dan digunakan baik sebagai mata pencaharian utama maupun sebagai usaha

sampungan oleh para pembudidaya. Selain itu, padat tebar ikan pada keramba milik pembudidaya yang menjadi responden berada pada kisaran 27,7 hingga 94,73 ekor/m³. Nilai tersebut merupakan nilai perkiraan yang diperoleh dari pembagian jumlah ikan yang ditebar dengan volume keramba berdasarkan informasi yang diberikan oleh responden. Padat tebar yang ideal untuk benih ikan nila (*Oreochromis niloticus*) berukuran 5–10 gram adalah 50–100 ekor/m³ (Afrianto & Liviawaty, 2009). Berdasarkan kisaran tersebut, pembudidaya telah menerapkan padat tebar yang berada dalam kisaran rekomendasi, sedangkan sebagian lainnya masih berada di bawah kisaran tersebut. Pemberian padat tebar yang tidak melebihi kapasitas optimal dapat mengurangi resiko menurunnya kualitas air, stress pada ikan, mortalitas, hingga penurunan laju pertumbuhan (Kordi, 2010).

Pada aspek manajemen pakan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar pembudidaya menggunakan pakan komersial tipe terapung, dengan merek yang bervariasi, antara lain merek A “H” (31% protein), merek “R” (27%), merek “O” (34%), dan merek “I” (26%). Dengan demikian, kadar protein pakan yang digunakan di lokasi penelitian berkisar antara 26%–34%. Menurut Haetami et al., (2025) kadar protein yang ideal untuk pakan ikan umumnya berada pada kisaran 30%–40%, namun nilai tersebut dapat bervariasi tergantung pada spesies ikan, fase pertumbuhan, jenis pakan, serta kondisi budidaya dan manajemen pemberian pakan. Meskipun beberapa merek pakan yang digunakan oleh responden berada sedikit di bawah ambang batas optimal, kisaran tersebut masih tergolong cukup baik bagi pertumbuhan ikan, serta ramah lingkungan. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Gao et al., (2022) yang menyatakan bahwa kadar protein pakan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan kandungan nitrogen dalam ekskresi ikan, yang pada akhirnya menyebabkan beban pencemaran perairan dan mempercepat proses eutrofikasi. Sebaliknya, kadar protein yang terlalu rendah dapat menyebabkan pertumbuhan ikan yang lambat, rendahnya efisiensi pakan, serta penurunan daya tahan tubuh terhadap penyakit. Oleh karena itu, pemilihan pakan dengan kadar protein yang sesuai menjadi faktor penting dalam manajemen pakan berkelanjutan.

Meskipun jenis pakan yang digunakan sudah memiliki kandungan protein yang baik, pembudidaya masih perlu meningkatkan manajemen pemberian pakan yang dilakukan. Secara umum, pemberian pakan pada aktivitas budidaya ikan sistem keramba di Danau Rawa Pening masih dilakukan secara tradisional dengan cara ditebar secara langsung, dengan jumlah dan waktu pemberian pakan yang hanya menyesuaikan pada kemampuan pembudidaya tanpa memperhitungkan kebutuhan ikan dengan cermat. Rata-rata pembudidaya memberikan pakan sebanyak dua kali sehari, yaitu pada rentang pagi dan sore tanpa adanya jam pemberian pakan yang konsisten. Padahal, waktu pemberian pakan yang teratur dan konsisten sangat penting untuk

meningkatkan efisiensi pakan, mengoptimalkan pertumbuhan ikan, serta menjaga kestabilan kualitas air. Ketidakteraturan waktu pemberian pakan dapat menyebabkan ikan menjadi kurang responsif terhadap pakan, yang berisiko menurunkan laju pertumbuhan dan menyebabkan pakan terbuang sia-sia (Halver & Hardy, 2002).

Ditinjau dari jumlah pakan yang diberikan, pembudidaya belum melakukan perhitungan dengan cermat untuk mengetahui kebutuhan pakan yang efisien. Pemberian pakan umumnya didasarkan pada perkiraan atau intuisi pembudidaya, yaitu sekitar 1-2 kg dalam setiap pemberian pakan, tanpa mempertimbangkan biomassa ikan, jumlah ikan, maupun ukuran keramba. Selain itu, sebagian responden juga menyatakan bahwa pemberian pakan terkadang tidak dilakukan karena keterbatasan biaya sehingga ikan yang dibudidayakan diasumsikan hanya memanfaatkan pakan alami yang tersedia di badan perairan. Kondisi tersebut diduga berkontribusi terhadap lambatnya pertumbuhan ikan, yang berdasarkan informasi dari responden dapat menyebabkan waktu panen yang bervariasi antara lebih dari empat bulan hingga sekitar satu tahun masa pemeliharaan. Perhitungan beberapa indikator pembudidayaan ikan untuk memastikan efisiensi pakan seperti *Feeding Rate*, *Food Conversion Ratio (FCR)*, maupun *Survival Rate (SR)* juga belum menjadi acuan dalam kegiatan pembudidayaan. Oleh karena itu, nilai FCR dalam penelitian ini tidak diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan, melainkan diestimasi secara tidak langsung berdasarkan hasil wawancara mengenai jumlah pakan yang digunakan selama masa pemeliharaan serta biomassa ikan yang dipanen. Sementara itu, nilai SR diestimasi berdasarkan hasil wawancara mengenai padat tebar dan ukuran benih yang digunakan, serta perkiraan jumlah ikan yang dihasilkan pada saat panen yang diturunkan dari biomassa ikan dan ukuran rata-rata ikan hasil panen.

Hal ini tentu perlu mendapat perhatian khusus, mengingat bahwa manajemen waktu dan jumlah pemberian pakan berdasarkan *feeding rate* yang tepat berperan penting dalam meningkatkan efisiensi budidaya ikan, yang tercermin dari nilai FCR dan SR yang optimal. Efisiensi tersebut selanjutnya dapat mendukung keberlanjutan budidaya melalui pengurangan limbah pakan dan optimalisasi waktu pemeliharaan. Hal ini sejalan dengan Tucker & Hargreaves, (2008) yang menyatakan bahwa pemberian pakan yang tidak terukur secara tepat dapat berdampak pada pertumbuhan ikan yang suboptimal serta meningkatkan beban pencemaran perairan akibat sisa pakan yang tidak dimanfaatkan. Sehingga, peningkatan ketepatan manajemen pemberian pakan pada budidaya ikan sistem keramba di Danau Rawa Pening perlu ditingkatkan.

Dokumentasi manajemen pemberian pakan ikan dalam bentuk pencatatan jumlah pakan yang diberikan setiap harinya selama masa pemeliharaan hingga panen, juga belum dilakukan. Menurut Boyd et

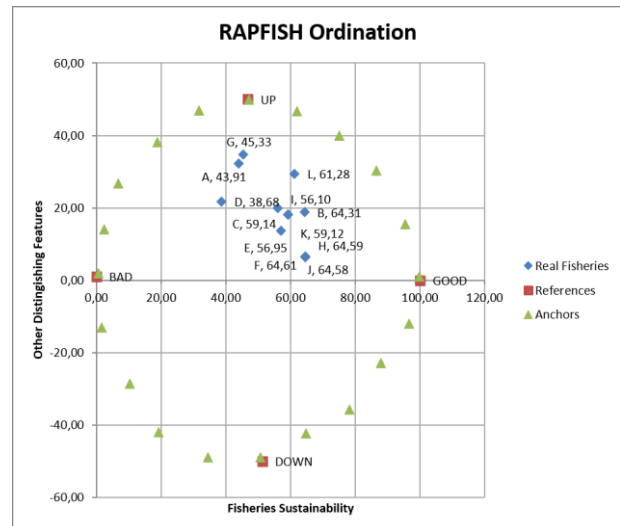
al. (2020), pencatatan pakan merupakan bagian penting dalam manajemen budidaya yang berkelanjutan, karena memungkinkan pembudidaya untuk melakukan evaluasi efisiensi pakan dan mendeteksi potensi permasalahan lebih awal. Ketiadaan sistem pencatatan juga dapat menyebabkan pemberian pakan menjadi tidak terkendali, sehingga berisiko meningkatkan biaya produksi dan pencemaran perairan akibat akumulasi sisa pakan yang tidak termakan.

Selain itu, adanya pemanfaatan pakan alternatif secara efisien juga merupakan salah satu indikator keberlanjutan dalam manajemen pakan. Pakan alternatif merupakan bahan pakan non-komersial atau pakan lokal yang dapat digunakan sebagai pengganti sebagian atau seluruh pakan pelet, apabila memiliki kandungan nutrisi yang sesuai dan telah melalui pengolahan yang memadai sehingga aman bagi ikan. Penggunaan pakan alternatif sangat dibutuhkan dalam budidaya ikan untuk mengurangi ketergantungan terhadap pakan komersial serta menekan biaya produksi, yang dapat mencapai 60–70% dari total biaya budidaya (Miao et al., 2014).. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat potensi penggunaan pakan alternatif oleh sebagian pembudidaya. Pakan alternatif yang digunakan oleh pembudidaya di lokasi penelitian antara lain lumut, sayuran, nasi, dan eceng gondok. Namun, pemanfaatan bahan-bahan tersebut belum dilakukan secara terukur maupun didasarkan pada pertimbangan mengenai kandungan nutrisinya. Pembudidaya hanya memberikan pakan alternatif tersebut sesuai ketersediaan, misalnya sayuran atau nasi sisa rumah tangga tanpa perencanaan jumlah, frekuensi pemberian, maupun pengolahan pakan alternatif yang sesuai. Kondisi ini berpotensi menyebabkan ketidakseimbangan asupan nutrisi ikan serta peningkatan akumulasi bahan organik di perairan apabila tidak seluruhnya dikonsumsi oleh ikan. Oleh karena itu, pemanfaatan pakan alternatif dalam budidaya ikan sistem keramba di Danau Rawa Pening perlu didukung oleh evaluasi kandungan nutrisi, keamanan bahan, serta manajemen pemberian pakan yang terukur agar manfaat ekonominya tidak mengorbankan aspek lingkungan dan produktivitas budidaya.

3.2. Keberlanjutan Manajemen Pakan Eksisting

Hasil ordinasi MDS melalui aplikasi RAPFISH menunjukkan bahwa rata-rata nilai indeks keberlanjutan manajemen pakan pada budidaya ikan sistem keramba di Danau Rawa Pening berdasarkan data kondisi eksisting yang diperoleh dari 12 responden sebagai unit analisis penelitian adalah sebesar 56,55. Nilai tersebut menunjukkan bahwa manajemen pakan pada budidaya ikan sistem keramba di Danau Pening, termasuk dalam kategori "cukup berkelanjutan" berdasarkan rentang nilai

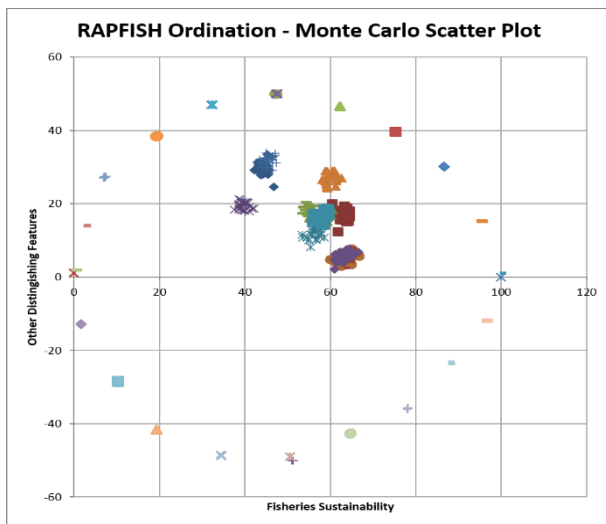
50,01–75,00 (Gambar 2). Artinya, pengelolaan yang dilakukan telah menunjukkan kondisi yang cukup baik dan mampu mendukung keberlanjutan, namun masih terdapat beberapa faktor yang perlu ditingkatkan agar keberlanjutannya lebih optimal. Perlu digaris bawahi bahwa indeks keberlanjutan tersebut khusus untuk menggambarkan kondisi keberlanjutan manajemen pakan dan bukan keberlanjutan seluruh sistem budidaya maupun kondisi ekologis Danau Rawa Pening.



Gambar 2. Hasil Ordinasi MDS Indeks Keberlanjutan Manajemen Pakan pada Budidaya Ikan Sistem Keramba di Danau Rawa Pening

Hasil ordinasi MDS tersebut telah memenuhi kriteria kelayakan untuk mengevaluasi keberlanjutan manajemen pakan pada budidaya ikan sistem keramba di Danau Rawa Pening. Hal ini salah satunya karena hasil ordinasi memiliki *goodness of fit* yang baik, ditunjukkan oleh nilai stress sebesar 0,138 dan nilai *squared correlation* (R^2) sebesar 0,927. Menurut Pitcher & Preikshot (2001) serta (Kavanagh & Pitcher, 2004) nilai stress > 0,25 mengindikasikan bahwa konfigurasi titik-titik pada hasil ordinasi MDS sudah baik dalam menggambarkan kondisi data sebenarnya sehingga hasil analisis dapat dianggap reliabel, sedangkan nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan bahwa hasil ordinasi mampu merepresentasikan data asli dengan tingkat kecocokan yang tinggi.

Selain itu, hasil analisis Monte Carlo (Gambar 3) menunjukkan bahwa nilai indeks keberlanjutan pada setiap unit analisis memiliki perbedaan yang kecil dibanding hasil ordinasi dengan MDS, yaitu dengan selisih sekitar 0,25–1,41. Hal ini menunjukkan bahwa hasil analisis RAPFISH yang dilakukan memiliki tingkat kestabilan yang baik terhadap kemungkinan ketidakpastian pemberian skor atribut maupun proses ordinasi. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa tingkat kesalahan dalam skoring rendah, serta proses analisis cukup andal dan konsisten.



Gambar 3. Hasil Analisis Monte Carlo Indeks Keberlanjutan Manajemen Pakan pada Budidaya Ikan Sistem Keramba di Danau Rawa Pening

Secara detail, hasil ordinasi MDS menunjukkan adanya variasi tingkat keberlanjutan antar unit analisis, yaitu 9 unit analisis berada dalam kategori cukup berkelanjutan dan 3 unit analisis berada dalam kategori kurang berkelanjutan (Tabel 2). Variasi ini mengindikasikan bahwa manajemen pakan yang dilakukan oleh para pembudidaya ikan sistem keramba di Danau Rawa Pening tidak sepenuhnya seragam serta masih perlu perbaikan pada atribut-atribut yang memiliki pengaruh paling besar terhadap nilai indeks keberlanjutan. Hasil analisis Leverage (Gambar 4) menunjukkan bahwa terdapat tiga atribut utama yang paling berpengaruh terhadap nilai indeks keberlanjutan manajemen pakan, yaitu: kadar protein pakan (6,79), penentuan jumlah pakan (6,72), dan jenis pakan (6,51). Oleh karena itu, kadar protein pakan, penentuan jumlah pakan, serta jenis pakan merupakan faktor yang perlu mendapat prioritas dalam upaya memperbaiki manajemen pakan yang diterapkan pada budidaya ikan sistem keramba di Danau Rawa Pening agar lebih berkelanjutan.

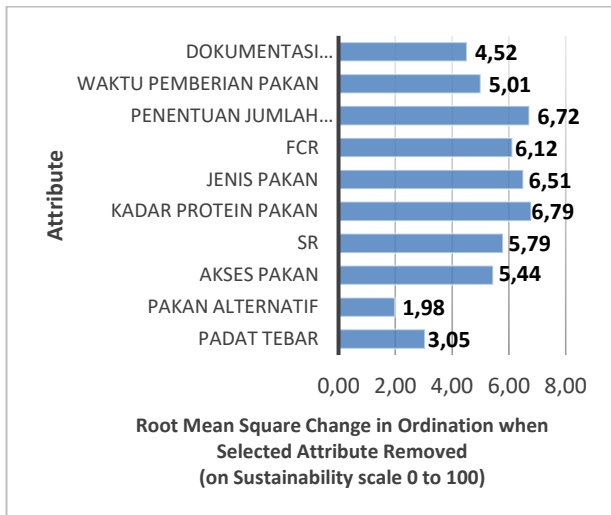
Tabel 2. Hasil Ordinasi RAPFISH dan Monte Carlo pada Unit Analisis

Unit Analisis (responden)	Ordinasi MDS	Ordinasi Monte Carlo	Kategori Keberlanjutan
A	43,91	44,36	Kurang berkelanjutan
B	64,31	63,06	Cukup berkelanjutan
C	59,14	58,42	Cukup berkelanjutan
D	38,68	39,72	Kurang berkelanjutan
E	56,95	56,47	Cukup berkelanjutan
F	64,61	63,41	Cukup berkelanjutan
G	45,33	45,58	Kurang berkelanjutan
H	64,59	63,32	Cukup berkelanjutan
I	56,10	55,37	Cukup berkelanjutan
J	64,58	63,17	Cukup berkelanjutan

Pakan yang digunakan oleh para pembudidaya yang menjadi responden telah memiliki kadar protein

yang baik, yaitu berkisar antara 26%–34%. Hanya saja, jumlah pakan yang diberikan belum memperhitungkan kebutuhan pakan aktual ikan dengan cermat. Para pembudidaya yang menjadi responden belum menyesuaikan pemberian pakan berdasarkan biomassa ikan maupun *feeding rate* yang sesuai. Berdasarkan hasil wawancara diketahui bahwa pembudidaya belum memahami definisi *feeding rate* serta cara penentuan dosis pakan berdasarkan biomassa ikan. Kondisi ini berpotensi menyebabkan inefisiensi pemanfaatan pakan serta berpotensi meningkatkan pelepasan sisa nutrisi ke badan perairan, terutama nitrogen dan fosfor, yang memicu eutrofikasi danau. Temuan ini sejalan dengan Khan et al., (2019) yang menyatakan bahwa rendahnya efisiensi pemanfaatan protein dalam pakan dapat meningkatkan ekskresi nitrogen serta menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, upaya optimasi kadar protein sesuai fase pertumbuhan masih perlu diupayakan dalam manajemen pakan di lokasi penelitian.

Permasalahan lain yang ditemukan berdasarkan hasil observasi dan wawancara adalah bahwa pembudidaya belum melakukan pencatatan penggunaan pakan selama masa pemeliharaan. Akibatnya, jumlah pakan yang diberikan tidak termonevitor dan terkontrol dengan baik. Akan tetapi, hasil ordinasi MDS menunjukkan bahwa atribut pendokumentasian jumlah pakan yang diberikan hanya menunjukkan RMS sebesar 4,52. Artinya, perubahan pada atribut tersebut memberikan pengaruh yang relatif kecil terhadap perubahan nilai indeks keberlanjutan dibanding ketiga atribut yang disebutkan sebelumnya. Meskipun demikian, praktik pencatatan jumlah pakan yang diberikan tetap perlu mendapat perhatian karena dapat mempengaruhi pengambilan keputusan mengenai jumlah pakan yang diberikan (RMS 6,72), yaitu melalui penentuan kebutuhan pakan berdasarkan biomassa ikan, evaluasi efisiensi pemberian pakan melalui nilai FCR, serta pemantauan SR. Tanpa adanya pencatatan yang baik, pembudidaya akan mengalami kesulitan dalam mengevaluasi kinerja sistem budidaya dan melakukan perbaikan budidaya secara berkelanjutan. Oleh karena itu, peningkatan kapasitas pembudidaya melalui kegiatan penyuluhan mengenai Standar Operasional Prosedur (SOP) budidaya ikan sistem keramba yang baik dan benar, khususnya terkait penentuan *feeding rate*, estimasi biomassa ikan, perhitungan kebutuhan pakan harian, pencatatan penggunaan pakan, serta evaluasi indikator budidaya, menjadi salah satu alternatif solusi yang diusulkan dalam penelitian ini. Penyuluhan tersebut dapat dilakukan bekerjasama dengan kelompok pembudidaya ikan (Pokdakan) setempat.



Gambar 4. Hasil Analisis Leverage Indeks Keberlanjutan Manajemen Pakan pada Budidaya Ikan Sistem Keramba di Danau Rawa Pening

Jenis pakan juga menjadi faktor yang perlu menjadi perhatian khusus untuk meningkatkan keberlanjutan manajemen pakan berdasarkan hasil analisis Leverage. Rosle et al., (2024) menyatakan bahwa pakan alternatif diperlukan untuk transformasi industri akuakultur agar lebih berkelanjutan sekaligus berkontribusi terhadap ketahanan pangan dan konservasi lingkungan. Hasil wawancara dan observasi di Danau Rawa Pening menunjukkan bahwa para pembudidaya masih bergantung pada pakan komersial serta pakan alami di badan perairan untuk pemeliharaan ikan sistem keramba. Meskipun beberapa pembudidaya telah menggunakan pakan alternatif seperti lumut, sayuran, nasi, dan eceng gondok, namun aplikasinya masih bersifat insidental serta tanpa perencanaan yang cermat. Di sisi lain, beberapa pembudidaya menyatakan bahwa pemberian pakan terkadang tidak dapat dilakukan karena keterbatasan biaya. Ketersediaan pakan alami di badan perairan juga sifatnya terbatas dan tidak mampu sepenuhnya memenuhi kebutuhan nutrisi ikan yang dibudidayakan. Berdasarkan informasi dari responden, kondisi ini seringkali menyebabkan pertumbuhan ikan menjadi kurang optimal dan panen menjadi lebih lama. Pakan alternatif dapat menjadi solusi untuk mengurangi ketergantungan pembudidaya ikan sistem keramba di Danau Rawa Pening terhadap pakan ikan komersial. Putra & Kusdianti, (2023) menunjukkan bahwa pakan alternatif mampu mengurangi ketergantungan terhadap *fish meal* dan *fish oil* yang ketersediaannya semakin terbatas sehingga menjadi penting untuk mendukung keberlanjutan akuakultur. Oleh karena itu, penelitian mengenai pakan alternatif yang tepat untuk digunakan dalam budidaya ikan sistem keramba di Danau Rawa Pening perlu dilakukan, disertai dengan sosialisasi dan pelatihan mengenai aplikasinya kepada para pembudidaya.

Salah satu pakan alternatif yang mungkin dikembangkan lebih lanjut sebagai alternatif pakan untuk budidaya ikan sistem keramba di Danau Rawa Pening adalah pakan fermentasi dari Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). Tumbuhan tersebut sangat melimpah bahkan menjadi gulma yang menimbulkan permasalahan sedimentasi di badan perairan Danau Rawa Pening. Hasil penelitian Batubara et al., (2023) menunjukkan bahwa pakan fermentasi dari *Eichhornia crassipes* dapat meningkatkan pertumbuhan berat mutlak ikan nila (*Oreochromis niloticus*) sebesar 3,9 gram yang dipelihara selama 5 minggu dengan FCR sebesar 1,6.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa rata-rata indeks keberlanjutan manajemen pakan berdasarkan data kondisi eksisting yang diperoleh dari 12 responden sebagai unit analisis penelitian adalah 56,55 dan termasuk dalam kategori cukup berkelanjutan. Optimasi kadar protein sesuai fase pertumbuhan ikan (nilai RMS 6,79), ketepatan jumlah pakan yang diberikan berdasarkan biomassa ikan dan *feeding rate* dan evaluasi indikator kinerja budidaya ikan seperti FCR dan SR (nilai RMS 6,72), serta aplikasi pakan alternatif yang tepat (nilai RMS 6,51), menjadi hal utama yang perlu diupayakan untuk meningkatkan keberlanjutan manajemen pakan pada budidaya ikan sistem keramba di Danau Rawa Pening. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa keberlanjutan manajemen pakan juga dipengaruhi oleh aspek sosial ekonomi, yaitu keterbatasan kemampuan sebagian pembudidaya untuk menyediakan pakan karena kendala biaya. Solusi yang diusulkan adalah peningkatan kapasitas pembudidaya melalui kegiatan penyuluhan mengenai Standar Operasional Prosedur (SOP) budidaya ikan sistem keramba yang baik, serta penelitian lanjutan mengenai pakan alternatif yang tepat untuk digunakan dalam budidaya ikan sistem keramba di Danau Rawa Pening.

DAFTAR PUSTAKA

- Abaho, I., Zaabwe, T., Izaara, A., Kasigwa, H. N., Mushabe, N., Byenkya, S., Nkambo, M., Baguma, S. D., Hafashimana, D. L. N., & Efitre, J. (2020). Effect of stocking density on growth and survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758) under cage culture in Lake Albert, Uganda. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 12(2), 26–35. <https://doi.org/10.5897/ijfa2018.0671>
- Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Nader, M. M., Salem, H. M., El-Tahan, A. M., Soliman, S. M., & Khafaga, A. F. (2022). Effect of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Biometeorology*, 66, 2183–2194. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02347-6>
- Afianto, E., & Liviawaty, E. (2009). *Pakan Ikan* (Edisi ke-5, Vol. 5). Kanisius. <http://etd.repository.ugm.ac.id/>
- Amalia, A. V., Fariz, T. R., Atunnisa, R., Jabbar, A., Haris, A., Rahmawati, D., Sultan, H., Akmal, M. R., Siregar, Z. G.

- T., & Arifah, E. Z. (2023). Kondisi Lingkungan Danau Rawa Pening. In *Dalam Konservasi Alam Jilid 3 (Bab VI, hlm. 123-140)* (Number 3, pp. 123-148). Universitas Negeri Semarang. <https://doi.org/10.15294/ka.v1i3.152>
- Astuti, Y., Ain, C., Rahman, A., Jati, O. E., & Prakoso, K. (2024). Profil lingkungan dan kesuburan perairan di Danau Rawa Pening, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. *Jurnal Akuatiklestari*, 8(1), 85-90. <https://doi.org/10.31629/akuatiklestari.v8i1.6934>
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2018). *SNI 7242:2018 Pakan Buatan untuk Ikan Nila (Oreochromis spp)*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Batubara, J. P., Yoanda, A. C., Utami, D., & Marpaung, M. G. (2023). Pemanfaatan Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) terfermentasi sebagai bahan baku pembuatan pakan untuk meningkatkan pertumbuhan dan kelulushidupan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *TOR: Jurnal Budidaya Perairan*, 3(3), 20-29.
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., McNevin, A. A., Tacon, A. G. J., Teletchea, F., Tomasso, J. R., Tucker, C. S., & Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578-633. <https://doi.org/10.1111/jwas.12714>
- Djumanto, Setyobudi, E., Simanjuntak, C. P. H., & Rahardjo, M. F. (2020). Estimating the spawning and growth of striped snakehead *Channa striata* Bloch, 1793 in Lake Rawa Pening Indonesia. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76825-5>
- El-Saidy, D. M. S. D., & Gaber, M. M. A. (2005). Effect of dietary protein levels and feeding rates on growth performance, production traits and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) cultured in concrete tanks. *Aquaculture Research*, 36, 163-171. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01201.x>
- Erlania, Rusmaedi, Prasetyo, A. B., & Haryadi, J. (2010). Dampak manajemen pakan dari kegiatan budidaya ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) di keramba jaring apung terhadap kualitas perairan Danau Maninjau. *Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur 2010*, 621-631.
- Gao, H., Zhou, J., Dong, S., & Kitazawa, D. (2022). Sustainability assessment of marine aquaculture considering nutrients inflow from the land in Kyushu Area. *Water (Switzerland)*, 14(6), 1-2. <https://doi.org/10.3390/w14060943>
- Gule, T. T., & Geremew, A. (2022). Dietary strategies for better utilization of aquafeeds in Tilapia farming. *Aquaculture Nutrition*, 2022, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2022/9463307>
- Haetami, K., Harmonis, J. A. A., Putri, N. J. A., Nussyabih, K. A., Putri, N. C., Syahputra, M. R., Aulia, R. F., & Kusmana, N. R. (2025). Mini review protein value and the importance of energy ratio (case study on *Oreochromis niloticus* diet). *Jurnal Biologi Tropis*, 25(3), 4161-4167. <https://doi.org/10.29303/jbt.v25i3.9597>
- Halver, J. E., & Hardy, R. W. (2002). *Third Edition Fish Nutrition* (3rd ed.). Academic Press.
- Hanif, S., Setyo, B. K., Syahputra, B., & Hutajulu, J. (2011). *Panduan Budidaya Ikan Nila Sistem Karamba Jaring Apung* (1st ed., Vol. 1). WWF- Indonesia.
- Harsya, E. P., Wulandari² Christine, Abidin, Z., Bakri, S., Setiawan, K., & Budiono, P. (2026). Analisis keberlanjutan sistem integrasi sapi dan kelapa sawit (SISKA) di Kabupaten Lampung Utara. *Jurnal Research Ilmu Pertanian*, 6(1), 19-31. <https://doi.org/10.31933/89z9c503>
- Hartono, T. T., Kodiran, T., Iqbal, A. M., & Koeshendrajana, S. (2005). Pengembangan teknik Rapid Appraisal for Fisheries (RAPFISH) untuk penentuan indikator kinerja perikanan tangkap berkelanjutan di Indonesia. *Buletin Ekonomi Perikanan*, VI(1), 65-76.
- Hutajulu, C. P., & Harahap, R. H. (2023). Dampak adanya budidaya keramba jaring apung terhadap ekosistem di awasan Danau Tobak. *AQUACOASTMARINE: Journal of Aquatic and Fisheries Sciences*, 2(1), 8-15. <https://doi.org/10.32734/jafs.v2i1.10126>
- Iddrisu, F. T., Agya, B. A., Edziyie, R. E., Campion, B. B., Akongyuure, D. N., & Adjei-Boateng, D. (2022). Assessing the impact of a budget cage technology on Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) production in the Bontanga, Golinga and Libga reservoirs in Northern Ghana, Africa. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 14(2), 22-36. <https://doi.org/10.5897/ijfa.2021.0827>
- Ihsanudin, I., Rejeki, S., & Yuniarti, T. (2014). Pengaruh Pemberian Rekombinan Hormon Pertumbuhan (rGH) melalui Metode Oral dengan Interval Waktu yang Berbeda terhadap Pertumbuhan dan Kelulushidupan Benih Ikan Nila Larasati (*Oreochromis Niloticus*). *Journal of Aquaculture Management and Technology*, 3(2), 94-102.
- Kavanagh, P., & Pitcher, T. J. (2004). Implementing microsoft excel software for Rapfish: a technique for the rapid appraisal of fisheries status. *Fisheries Centre Research Reports*, 12(2), 1-74.
- Khan, K. U., Rodrigues, A. T., Mansano, C. F. M., Queiroz, D. M. de A., Sakomura, N. K., Romanelli, R. de S., Do Nascimento, T. M. T., & Fernandes, J. B. K. (2019). Dietary protein quality and proper protein to energy ratios: a bioeconomic approach in aquaculture feeding practices. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47(2), 232-239. <https://doi.org/10.3856/vol47-issue2-fulltext-3>
- Kintani, I. M., Khikmah, N., & Kamal, U. (2024). Analisis rusaknya ekologis Danau Rawa Pening terhadap ekosistem disekitarnya Berdasarkan Peraturan Presiden No 60 Tahun 2021. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan, Desember*, (2), 557-567.
- Kordi, M. G. H. (2010). *Buku Pintar Pemeliharaan 14 Ikan Air Tawar Ekonomis di Keramba Jaring Apung*. Lily Publisher. <https://repositori.telkomuniversity.ac.id/pustaka/221460/buku-pintar-pemeliharaan-14-ikan-air-tawar-ekonomis-di-keramba-jaring-apung.html>
- Melo, R. H., Kusmana, C., Eriyatno, & Nurrochmat, D. R. (2020). Short communication: Mangrove Forest management based on multi dimension scalling (RAP-Mforest) in Kwandang sub-district, North Gorontalo District, Indonesia. *Biodiversitas*, 21(4), 1352-1357. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210411>
- Metananda, A. A., Al-Reza, D. D., Hanum, C. M., & Afrianto, W. F. (2025). Sustainability status of mangrove rehabilitation in Natuna Regency, Indonesia: a rapid

- appraisal using RAPFISH. *Narra X*, 3(3), e248. <https://doi.org/10.52225/narrax.v3i3.248>
- Miao, W., Hasan, M., & Funge Smith, S. (2014). FAO policies and initiatives promoting responsible and efficient use of feed ingredients from marine animal origin. In M. R. Catacutan, R. M. Coloso, & B. O. Acosta (Eds.), *Proceedings of the ASEAN Regional Technical Consultation on Development and Use of Alternative Dietary Ingredients or Fish Meal Substitutes in Aquaculture Feed Formulation*.
- Mujiburohman, D. A., & Andari, D. W. T. (2023). Revitalization of Rawa Pening Lake, Indonesia. *Environment Conservation Journal*, 24(2), 83–90. <https://doi.org/10.36953/ECJ.14112421>
- Nusantari, E. (2010). Kerusakan Danau Limboto dan upaya konservasi melalui pemberdayaan masyarakat dan peran perguruan tinggi. *Jurnal Pendidikan Biologi*, (1).
- Piranti, A. S. (2019). *Pengendalian Eutrofikasi Danau Rawapening* (T. Setyawardani & D. Wijayawati, Eds.; 1st ed., Number 1). Universitas Jendral Soedirman Press.
- Piranti, A. S., Rahayu, D. R., & Waluyo, G. (2018). Evaluasi status mutu air Danau Rawa Pening. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 8(2), 151–160. <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.2.151-160>
- Pitcher, T. J., Lam, M. E., Ainsworth, C., Martindale, A., Nakamura, K., Perry, R. I., & Ward, T. (2013). Improvements to Rapfish: A rapid evaluation technique for fisheries integrating ecological and human dimensions. *Journal of Fish Biology*, 83(4), 865–889. <https://doi.org/10.1111/jfb.12122>
- Pitcher, T. J., & Preikshot, D. (2001). RAPFISH: a rapid appraisal technique to evaluate the sustainability status of fisheries. *Fisheries Research*, 49(2001), 255–270.
- Pranata, B., & Kusuma, A. B. (2021). Pembesaran Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) pada Budidaya Sistem Resirkulasi Menggunakan Filtrasi Tanaman *Hydrilla verticillata* dan *Ceratophyllum demersum*. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 5(3), 245–252. <https://doi.org/10.46252/jsai-fpik-unipa.2021.vol.5.no.3.153>
- Putra, Y. H. S., & Kusdianti. (2023). Review: bahan aquafeed yang berpotensi meningkatkan laju pertumbuhan dan kualitas pada *Oreochromis niloticus*. *Prosiding Seminar Nasional Biologi (SEMABIO) 7 Tahun 2022*, 79–85.
- Rahma, D. A., Permadani, P., Nisa, S., Alif, I. C. P., Alisia, H. A. P., Intan, V. S., Husna, A. N. F., Khoirunnisa, N., & Nurrofiq, W. I. (2024). Dampak sosial masyarakat dari pendangkalan Danau Rawa Pening. *Jurnal Mediasi*, 3(2), 141–153. <http://jurnalilmiah.org/journal/index.php/mediasi>
- Ramadhanty, N. R., Setiawan, J. F., Rudiyanto, Widodo, Kristijarso, Aini, S., Putra, A., & Arisandi, P. (2022). Rapfish analysis (Rapid Appraisal for Fisheries) for sustainability of lobster (*Panulirus* Sp.) in coastal Cilacap with a blue economy approach to maritime security. *American Academic Scientific Research Journal for Engineering*, 85(1), 41–59. <http://asrjetsjournal.org/>
- Rosle, S., Rahim, M. S. M., Agustono, A., & Hassin, N. H. (2024). Alternative feeds for sustainable aquaculture: a comprehensive structured review. *Journal of Science, Technology and Innovation Policy*, 10(2), 1–11. <https://doi.org/10.11113/jostip.v10n2.150>
- Samudra, S. R., Soeprbowati, T. R., & Izzati, M. (2013). Daya tampung beban pencemaran fosfor untuk budidaya perikanan Danau Rawapening. *Prosiding Workshop Penyelamatan Ekosistem Danau Rawapening: Penelitian Ilmiah sebagai Solusi Teknis Penyelamatan Ekosistem Danau Rawapening dalam Skala Super Priorita*, 134–142.
- Soeprbowati, R. T. (2012). Peta batimetri Danau Rawapening. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi*, 14(2), 75–78.
- Sukadi, M. F. (2010). Ketahanan dalam air dan pelepasan nitrogen & fosfor ke air media dari berbagai pakan ikan air tawar. *Jurnal Riset Akuakultur*, 5(1), 12.
- Tucker, C. S., & Hargreaves, J. A. (2008). *Environmental Best Management Practices for Aquaculture*. In *Environmental Best Management Practices for Aquaculture* (1st ed.). John Wiley & Sons, Inc. (Wiley-Blackwell). <https://doi.org/10.1002/9780813818672.fmatter>
- White, P. G., Shipton, T. A., Bueno, P. B., & Hasan, M. R. (2018). *Better Management Practices for Feed Production and Management of Nile Tilapia and Milkfish in The Philippines (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 614)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Widiawan, A. P., Soesanta, P. E., & Hasrianti, H. (2025). Analisis keberlanjutan operasi tambang PT Anugrah Harisma Barakah dengan Multidimensional Scaling (MDS). *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 12(1), 27–42. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2025.012.01.4>
- Yuningsih, H. D., Anggoro, S., & Soedarsono, P. (2014). Hubungan bahan organik dengan produktivitas perairan pada kawasan tutupan eceng gondok, perairan terbuka dan keramba jaring apung di Rawa Pening Kabupaten Semarang Jawa Tengah. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 3(1), 37–43. <https://doi.org/10.14710/marj.v3i1.4284>