



Analisis Perbandingan Kualitas Pakan dan Pertumbuhan Ikan Lele pada Kolam Beton Sederhana

Dedik Budiyanto^{1*}, Totok Hendarto¹, Sutarmin², Ardianik³

¹ Fakultas Pertanian, Universitas Dr. Soetomo, Indonesia

² Fakultas Ekonomi, Universitas Dr. Soetomo, Indonesia

³ Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Dr. Soetomo, Indonesia

Corresponding author: Dbudiyanto_unitomo@yahoo.com

Received: 1 April 2025; Accepted: 10 Mei 2025; Published: 30 Juli 2025

Abstrak

Penelitian ini membandingkan pertumbuhan ikan lele pada tiga kategori kualitas pakan dalam kolam beton sederhana. Panjang dan bobot diamati pada bulan pertama hingga ketiga dan dianalisis secara deskriptif karena jumlah unit percobaan, ulangan, serta data individual tidak tersedia. Seluruh kelompok awalnya memiliki panjang 5 cm dan bobot 3 g. Pada bulan ketiga, kelompok pakan rendah, sedang, dan tinggi mencapai panjang 15, 18, dan 24 cm serta bobot 46, 74, dan 86 g. Pertambahannya masing-masing 10, 13, dan 19 cm serta 43, 71, dan 83 g; kelompok pakan tinggi menunjukkan pertumbuhan terbesar. Rentang harga merupakan skenario naskah. Jumlah pakan, biomassa, kelangsungan hidup, dan biaya operasional tidak dilaporkan sehingga konversi pakan, produksi panen, serta keuntungan belum dapat dihitung. Rekomendasi ekonomi memerlukan pengujian nutrisi dan pencatatan produksi lengkap.

Kata kunci: ikan lele; kolam beton; konversi pakan; kualitas pakan; pertumbuhan

Abstract

This study compared catfish growth under three feed-quality categories in simple concrete ponds. Length and weight were observed in months one to three and analyzed descriptively because experimental-unit numbers, replication, and individual data were unavailable. All groups initially measured 5 cm and 3 g. In month three, low-, medium-, and high-quality feed groups reached 15, 18, and 24 cm and 46, 74, and 86 g. Increases were 10, 13, and 19 cm and 43, 71, and 83 g; the high-quality group showed the greatest growth. Price ranges represent manuscript scenarios. Feed quantities, biomass, survival, and operating costs were unreported, preventing calculation of feed conversion, harvest production, and profitability. Economic recommendations require nutritional testing and complete production records.

Keywords: catfish; concrete ponds; feed conversion; feed quality; growth

[1] D. Budiyanto, T. Hendarto, Sutarmin, and Ardianik, "Analisis Perbandingan Kualitas Pakan dan Pertumbuhan Ikan Lele pada Kolam Beton Sederhana," *Ekliptika: Jurnal Inovasi Teknologi Berkelanjutan*, vol. 6, no. 1, pp. 39–50, 2025, doi: 10.55757/ekliptika.v6i1.970.

PENDAHULUAN

Pakan merupakan sumber nutrisi utama pada budidaya ikan yang mengandalkan pemberian pakan buatan. Kesesuaian protein, energi, lemak, vitamin, dan mineral perlu dinilai bersama ketersediaan hayati serta kemampuan ikan memanfaatkan nutrisi [1]. Dalam akuakultur tropis, formulasi, penyimpanan, dan praktik pemberian pakan saling berkaitan dengan pertumbuhan serta efisiensi produksi [2]. Oleh karena itu, kategori kualitas pakan perlu didukung karakterisasi bahan dan komposisi, bukan semata-mata harga produk.

Kajian pada lele Afrika (*Clarias gariepinus*) menunjukkan bahwa kebutuhan nutrisi dan kondisi pemeliharaan bersama-sama memengaruhi kinerja ikan [3]. Pemeliharaan lele juga memerlukan pengaturan pemberian pakan, kepadatan, dan kondisi kolam [4]. Identitas spesies atau strain ikan dalam penelitian ini tidak dirinci; literatur *Clarias gariepinus* digunakan sebagai konteks dan tidak membuktikan identitas ikan yang diamati.

Hubungan antara kandungan protein dan energi pakan dengan pertumbuhan serta pemanfaatan pakan telah diteliti pada lele [5]. Meta-analisis kebutuhan protein ikan juga menunjukkan variasi menurut spesies, ukuran tubuh, dan lingkungan pemeliharaan [6]. Dengan demikian, pertumbuhan yang lebih tinggi dapat berkaitan dengan kesesuaian nutrisi, tetapi mekanismenya perlu dibuktikan melalui analisis pakan dan pengendalian faktor lingkungan.

Manajemen pemberian pakan mencakup pemilihan jenis pakan, jumlah ransum, jadwal pemberian, penyimpanan, dan pemantauan respons ikan [7]. Pengambilan keputusan usaha perlu mempertimbangkan biaya pakan per satuan produksi, bukan hanya harga per kilogram pakan [8]. Perubahan harga bahan baku dapat memengaruhi biaya formulasi dan produksi akuakultur [9], sehingga skenario harga perlu dibedakan dari catatan pembelian yang benar-benar digunakan selama penelitian.

Penelitian ini membandingkan data panjang dan bobot ikan pada kelompok pakan berkualitas rendah, sedang, dan tinggi dalam kolam beton sederhana. Pembahasan diarahkan pada pola pertumbuhan yang teramati, kebutuhan data untuk menghitung rasio konversi pakan, dan implikasi pengelolaan budidaya. Analisis ekonomi dan lingkungan ditempatkan sebagai arah pengembangan karena parameter pendukungnya belum tersedia.

METODE PENELITIAN

Pengamatan lapangan dan perlakuan

Penelitian melaporkan pengamatan lapangan pada beberapa kolam beton dengan kondisi yang diupayakan serupa. Tiga kelompok menerima pakan yang dikategorikan berkualitas rendah, sedang, dan tinggi. Panjang serta bobot tubuh dicatat pada bulan pertama, kedua, dan ketiga. Konteks pemeliharaan disebut sebagai dataran tinggi, tetapi lokasi, elevasi, tanggal pengamatan, dimensi kolam, dan volume air tidak dicantumkan. Alur kegiatan diringkas pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur pengamatan dan analisis pertumbuhan ikan lele.

Jumlah kolam per perlakuan, jumlah ikan, kepadatan tebar, metode alokasi ikan, serta ulangan independen tidak dilaporkan. Frekuensi pemberian pakan, ransum harian, merek pakan yang diuji, ukuran pelet, dan hasil analisis nutrisi juga tidak tersedia. Karena itu, istilah kualitas

merupakan label kelompok yang digunakan dalam naskah dan belum merupakan klasifikasi berdasarkan hasil uji laboratorium.

Pengukuran panjang dan bobot

Dokumentasi menunjukkan penggunaan penggaris untuk panjang tubuh dan timbangan digital untuk bobot. Nilai disajikan dalam sentimeter (cm) dan gram (g). Titik anatomis pengukuran panjang, ketelitian alat, prosedur penanganan ikan, serta jumlah ikan yang diukur pada setiap waktu tidak dirinci. Foto digunakan sebagai dokumentasi pendukung dan tidak membuktikan jumlah sampel maupun ulangan.

Nilai panjang dan bobot dianalisis sebagaimana dilaporkan karena data individual dan ukuran sampel tidak tersedia untuk memverifikasi nilai rata-rata. Hubungan panjang–bobot memerlukan pengukuran individual dan definisi panjang yang konsisten [10]; tiga nilai agregat per kelompok tidak digunakan untuk menetapkan hubungan alometrik.

Analisis deskriptif dan batas interpretasi

Analisis membandingkan nilai panjang serta bobot antarwaktu dan antarkelompok. Pertambahan dihitung sebagai nilai bulan ketiga dikurangi nilai bulan pertama. Selang tersebut merupakan jarak antara dua pengamatan dan tidak disamakan dengan pertumbuhan sejak awal penebaran, karena data bulan nol tidak tersedia. Simpangan baku, interval kepercayaan, dan nilai p tidak dihitung tanpa data individual serta struktur ulangan.

Kolam yang menerima perlakuan merupakan unit yang perlu diperhatikan dalam pengujian pengaruh pakan. Beberapa ikan dari kolam yang sama tidak otomatis menjadi ulangan perlakuan yang independen; pengabaian struktur ini dapat menimbulkan pseudoreplikasi [11]. Pelaporan jumlah hewan, rancangan, alokasi perlakuan, dan prosedur pemeliharaan diperlukan untuk menilai keterulangan penelitian, sebagaimana ditekankan dalam pedoman ARRIVE 2.0 [12]. Kepatuhan terhadap pedoman tersebut tidak dilaporkan.

Rasio konversi pakan atau feed conversion ratio (FCR) secara konseptual membandingkan jumlah pakan dengan pertambahan biomassa dalam periode yang sama [7]. Persamaan (1) disajikan sebagai kerangka evaluasi, bukan hasil perhitungan penelitian ini.

$$FCR = \frac{F}{\Delta B} \quad (1)$$

F adalah jumlah pakan yang diberikan (kg) dan ΔB adalah pertambahan biomassa ikan (kg) pada periode evaluasi. Perlakuan terhadap kematian, ikan yang dikeluarkan, dan pakan tersisa perlu dinyatakan secara konsisten. Data jumlah pakan, populasi ikan, mortalitas, serta biomassa awal dan akhir tidak tersedia, sehingga FCR tidak dapat ditentukan dari bobot individu saja.

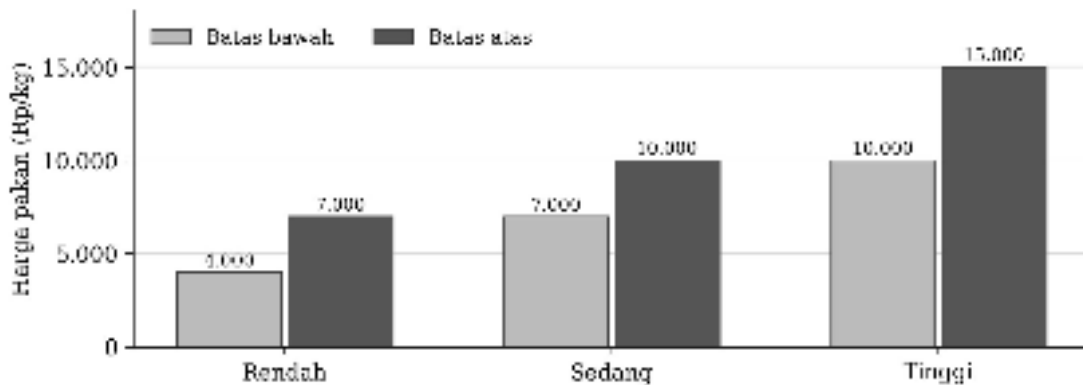
HASIL DAN PEMBAHASAN

Skenario harga tiga kategori pakan

Rentang harga yang dicantumkan adalah Rp4.000–Rp7.000/kg untuk pakan berkualitas rendah, Rp7.000–Rp10.000/kg untuk kualitas sedang, dan Rp10.000–Rp15.000/kg untuk kualitas tinggi. Angka tersebut dipertahankan sebagai skenario harga dalam naskah (Tabel 1). Tanggal, lokasi survei, bukti pembelian, dan spesifikasi produk tidak tersedia; rentang ini tidak dinyatakan sebagai harga pasar terkini.

Tabel 1. Skenario harga pakan yang dicantumkan dalam naskah.

Kategori pakan	Batas bawah (Rp/kg)	Batas atas (Rp/kg)
Rendah	4.000	7.000
Sedang	7.000	10.000
Tinggi	10.000	15.000



Gambar 2. Perbandingan batas harga pada skenario pakan.

Harga menunjukkan beban biaya per kilogram pakan, tetapi tidak mengukur kecukupan nutrisi atau keuntungan usaha. Perbandingan produk perlu mempertimbangkan kandungan protein dan energi, daya cerna, stabilitas pelet, ukuran ikan, dan ransum yang digunakan. Penyebutan kategori tinggi tidak dapat diartikan bahwa setiap produk yang lebih mahal selalu memberikan pertumbuhan atau efisiensi lebih baik.

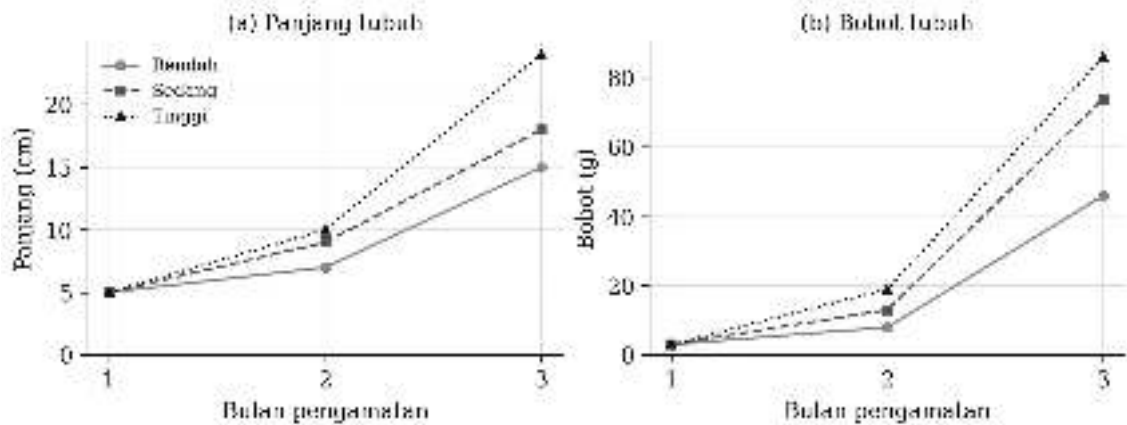
Panjang dan bobot pada setiap bulan pengamatan

Pada bulan pertama, seluruh kelompok dilaporkan memiliki panjang 5 cm dan bobot 3 g. Pada bulan kedua mulai terlihat perbedaan ukuran antarkelompok. Pada bulan ketiga, nilai tertinggi terdapat pada kelompok pakan berkualitas tinggi, diikuti kelompok sedang dan rendah. Nilai panjang dan bobot pada setiap kelompok disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Panjang dan bobot ikan yang dilaporkan pada tiga kategori pakan.

Bulan	Rendah Panjang (cm)	Rendah Bobot (g)	Sedang Panjang (cm)	Sedang Bobot (g)	Tinggi Panjang (cm)	Tinggi Bobot (g)
1	5	3	5	3	5	3
2	7	8	9	13	10	19
3	15	46	18	74	24	86

Keterangan: jumlah sampel dan ukuran penyebaran tidak dicantumkan.



Gambar 3. Perubahan panjang (a) dan bobot (b) pada tiga kategori pakan.

Pada kelompok rendah, panjang meningkat dari 5 menjadi 7 lalu 15 cm, sementara bobot meningkat dari 3 menjadi 8 lalu 46 g. Kelompok sedang mencapai panjang 5, 9, dan 18 cm serta bobot 3, 13, dan 74 g. Kelompok tinggi mencapai panjang 5, 10, dan 24 cm serta bobot 3, 19, dan 86 g.

Dokumentasi pengukuran tiap kategori pakan

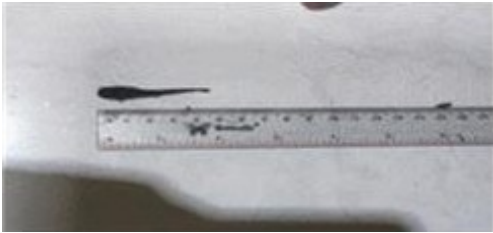
Dokumentasi pengukuran disajikan pada Tabel 3–5. Setiap baris memuat dokumentasi panjang dan bobot beserta nilai yang menyertainya. Foto awal yang sama muncul pada ketiga kategori pakan; dokumentasi tersebut tidak menunjukkan bahwa tiga sampel awal diukur secara independen.

Tabel 3. Dokumentasi pengukuran pada kelompok pakan berkualitas rendah.

Bulan	Dokumentasi panjang	Dokumentasi bobot
1	 5 cm	 3 g
2	 7 cm	 8 g
3	 15 cm	 46 g

Keterangan: foto berasal dari dokumentasi naskah; angka di bawah foto mengikuti nilai pengukuran yang dilaporkan.

Tabel 4. Dokumentasi pengukuran pada kelompok pakan berkualitas sedang.

Bulan	Dokumentasi panjang	Dokumentasi bobot
1	 5 cm	 3 g
2	 9 cm	 13 g
3	 18 cm	 74 g

Keterangan: foto mendokumentasikan contoh pengukuran dan tidak menunjukkan keseluruhan populasi ikan.

Tabel 5. Dokumentasi pengukuran pada kelompok pakan berkualitas tinggi.

Bulan	Dokumentasi panjang	Dokumentasi bobot
1	 5 cm	 3 g
2	 10 cm	 19 g
3	 24 cm	 86 g

Keterangan: resolusi mengikuti foto yang tersedia; identitas ikan antarwaktu dan jumlah ulangan tidak dicantumkan.

Pertambahan ukuran dan interpretasi nutrisi

Tabel 6. Pertambahan antara pengamatan bulan pertama dan ketiga.

Kategori pakan	Pertambahan panjang (cm)	Pertambahan bobot (g)
Rendah	10	43
Sedang	13	71
Tinggi	19	83

Keterangan: pertambahan dihitung dari nilai Tabel 2; hasil ini bukan laju pertumbuhan harian atau total biomassa kolam.

Kelompok tinggi memiliki pertambahan panjang terbesar, yaitu 19 cm, serta pertambahan bobot terbesar, yaitu 83 g. Pada bulan ketiga, bobot kelompok tinggi melebihi kelompok sedang sebesar 12 g dan kelompok rendah sebesar 40 g. Panjangnya lebih besar 6 cm daripada kelompok sedang dan 9 cm daripada kelompok rendah. Perbandingan tersebut bersifat deskriptif dan belum menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik.

Kesesuaian kandungan protein, energi, dan nutrisi lain merupakan kemungkinan penjelasan pola pertumbuhan. Penelitian Machiels dan Henken memperlihatkan pentingnya mempertimbangkan protein bersama energi dalam evaluasi pakan lele [5]. Namun, komposisi ketiga pakan pada penelitian ini tidak diuji, sehingga perbedaan ukuran tidak dapat secara khusus diatribusikan kepada kandungan protein, vitamin, mineral, atau daya cerna tertentu.

Faktor lain, seperti ransum, kepadatan, suhu, kesehatan, dan perbedaan kondisi kolam, juga dapat memengaruhi pertumbuhan. Kesamaan ukuran yang dilaporkan pada bulan pertama tidak menggantikan pengacakan dan pengendalian faktor tersebut. Penetapan hubungan

sebab-akibat memerlukan rancangan dengan kolam berulang yang independen serta catatan pemeliharaan yang sebanding.

FCR dan implikasi ekonomi pakan

Bobot ikan yang lebih besar tidak otomatis menunjukkan FCR lebih rendah. Kelompok tersebut mungkin menerima jumlah pakan berbeda, dan total biomassa juga bergantung pada jumlah ikan yang bertahan hidup. Penilaian efisiensi membutuhkan pencatatan jumlah pakan dan penambahan biomassa pada periode yang sama. Oleh karena itu, keunggulan FCR, percepatan waktu panen, serta peningkatan hasil panen belum dapat disimpulkan dari data ini.

Secara konseptual, biaya pakan per kilogram penambahan biomassa dapat dinyatakan melalui Persamaan (2). Hubungan ini membantu mengaitkan harga pakan dengan pemanfaatannya dan sejalan dengan evaluasi ekonomi praktik pemberian pakan [8].

$$C_p = H_p \times FCR \quad (2)$$

C_p adalah biaya pakan per kilogram penambahan biomassa (Rp/kg) dan H_p adalah harga pakan (Rp/kg pakan). Persamaan tersebut belum mencakup benih, tenaga kerja, energi, air, penyusutan kolam, serta biaya lain. Karena FCR tidak tersedia, skenario harga pada Tabel 1 tidak dapat diubah menjadi biaya produksi per kilogram ikan atau laba.

Pakan dengan harga pembelian lebih tinggi dapat dipertimbangkan apabila peningkatan kinerja mampu mengimbangi biaya tambahannya. Sebaliknya, harga rendah belum menjamin biaya produksi lebih rendah apabila pemanfaatan pakan dan kelangsungan hidup kurang baik. Keputusan usaha memerlukan perbandingan seluruh komponen tersebut berdasarkan catatan aktual, bukan asumsi bahwa kelompok dengan pertumbuhan tertinggi pasti paling menguntungkan.

Kolam beton dan konteks lingkungan pemeliharaan

Perbandingan konseptual kolam beton dan terpal disajikan pada Tabel 7 sebagai pertimbangan pengelolaan. Perbandingan ini belum diuji melalui percobaan pada kedua jenis kolam. Keunggulan suhu, kualitas air, biaya, dan ketahanan memerlukan pengukuran setempat. Pengelolaan kualitas air mencakup interaksi faktor fisik, kimia, dan biologis [13], sehingga bahan kolam saja tidak menentukan kondisi pemeliharaan.

Tabel 7. Pertimbangan konseptual pemilihan kolam beton dan terpal.

Aspek	Kolam beton	Kolam terpal
Ketahanan struktur	Struktur permanen; mutu konstruksi perlu diperiksa.	Lapisan perlu diperiksa terhadap sobekan dan kerusakan.
Pemeliharaan air	Permukaan dan saluran pembuangan perlu mendukung pembersihan.	Pembersihan perlu menjaga lapisan dari goresan.
Kondisi termal	Stabilitas suhu perlu diukur pada kondisi setempat.	Fluktuasi suhu perlu dinilai menurut paparan dan desain.
Biaya dan umur pakai	Biaya awal, perawatan, dan penyusutan perlu dicatat.	Biaya awal dan penggantian lapisan perlu dicatat.
Predator dan kebocoran	Integritas dinding, retakan, serta akses predator perlu dipantau.	Sambungan, kerusakan lapisan, dan akses predator perlu dipantau.
Kondisi lahan dan cuaca	Kesesuaian fondasi dan drainase perlu dinilai.	Kesesuaian dasar, penyangga, dan drainase perlu dinilai.
Air dan skala usaha	Kebutuhan air serta ukuran disesuaikan dengan rancangan usaha.	Kebutuhan air serta ukuran disesuaikan dengan rancangan usaha.

Suhu, oksigen terlarut, pH, dan senyawa nitrogen perlu dipantau untuk menjelaskan kondisi pemeliharaan [14]. Data parameter tersebut tidak tersedia, sehingga lingkungan dataran tinggi tidak dinyatakan selalu lebih bersih, lebih stabil, atau menghasilkan ikan lebih sehat. Tabel 7 tidak menjadi dasar untuk menyimpulkan bahwa kolam beton mengungguli terpal secara ekonomi atau biologis pada seluruh lokasi.

Pengelolaan pakan dan keberlanjutan budidaya

Pakan berhubungan dengan beban nutrisi pada air melalui sisa pakan dan ekskresi. Cho dan Bureau menekankan keterkaitan formulasi serta sistem pemberian pakan dengan pengurangan limbah [15], sedangkan Bureau dan Hua membahas pengelolaan keluaran limbah melalui pendekatan nutrisi [16]. Keduanya menjadi dasar konseptual untuk menilai pertumbuhan bersama beban lingkungan; beban limbah penelitian ini tidak diukur.

Penelitian Sugiura dan rekan pada trout menunjukkan bahwa perubahan fosfor pakan dapat berkaitan dengan profil efluen dan biaya [17]. Temuan pada spesies serta sistem berbeda tersebut tidak dianggap sebagai hasil pada lele, tetapi menunjukkan perlunya menguji kompromi antara performa, biaya, dan buangan nutrisi. Analisis fosfor pakan dan efluen diperlukan sebelum menyatakan manfaat lingkungan dari suatu kategori pakan.

Pemilihan bahan baku juga perlu memperhatikan ketersediaan sumber protein dan minyak. Tacon dan Metian membahas penggunaan tepung serta minyak ikan dalam pakan komersial [18], sementara kajian akuakultur global menunjukkan bahwa efisiensi pakan dan sumber bahan baku merupakan bagian dari persoalan keberlanjutan [19]. Penggunaan bahan alternatif perlu diuji terhadap kecukupan nutrisi, pertumbuhan, biaya, dan dampak lingkungan.

Teknologi bioflok dapat menjadi salah satu arah penelitian pengelolaan nutrisi dalam kondisi yang dikendalikan [20]. Sistem tersebut tidak diterapkan atau diuji dalam penelitian ini. Pengembangan budidaya kolam beton perlu didasarkan pada pencatatan air, energi, nutrisi, dan biaya agar rekomendasi keberlanjutan memiliki dasar pengukuran.

Keterbatasan dan arah penelitian lanjutan

Hasil terbatas pada tiga waktu pengamatan dan tiga kategori pakan tanpa informasi ulangan atau ukuran sampel. Komposisi pakan, jumlah pakan, biomassa kolam, kelangsungan hidup, kualitas air, serta biaya aktual belum tersedia. Kondisi ini membatasi kesimpulan tentang pengaruh kausal pakan, signifikansi perbedaan, FCR, produksi panen, dan keuntungan.

Penelitian lanjutan perlu menentukan spesies atau strain, menguji komposisi pakan, mengacak perlakuan pada kolam yang memiliki ulangan independen, dan mencatat konsumsi atau pemberian pakan secara konsisten. Pengamatan pertumbuhan individual, mortalitas, kualitas air, dan biaya hingga panen diperlukan untuk membandingkan performa biologis dengan hasil ekonomi. Pelaporan prosedur penanganan serta persetujuan etik hewan juga perlu dilengkapi.

KESIMPULAN

Pada data yang tersedia, kelompok pakan berkualitas tinggi mencapai panjang dan bobot terbesar pada bulan ketiga, yaitu 24 cm dan 86 g. Kelompok sedang mencapai 18 cm dan 74 g, sedangkan kelompok rendah mencapai 15 cm dan 46 g. Pertambahan antara pengamatan bulan pertama dan ketiga masing-masing sebesar 19, 13, dan 10 cm serta 83, 71, dan 43 g untuk kelompok tinggi, sedang, dan rendah.

Perbandingan tersebut menunjukkan pola pertumbuhan deskriptif dan belum membuktikan perbedaan signifikan secara statistik. FCR, hasil panen, biaya produksi per kilogram ikan, dan keuntungan belum dapat ditentukan karena data pendukung tidak tersedia. Pemilihan pakan perlu mempertimbangkan komposisi nutrisi, jumlah pakan, kelangsungan hidup, kualitas air, serta biaya aktual. Keunggulan kolam beton atas terpal dan manfaat lingkungan belum diuji secara langsung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengapresiasi dukungan yang diberikan dalam pelaksanaan pengamatan budidaya dan pendokumentasian pengukuran ikan. Dokumentasi tersebut mendukung penyajian data pertumbuhan serta pembahasan pengelolaan pakan pada kolam beton sederhana.

Pernyataan Kontribusi Penulis (CRediT Statement)

Dedik Budiyanto, Totok Hendarto, Sutarmin, dan Ardianik tercantum sebagai penulis artikel. Pembagian peran individual menurut taksonomi CRediT tidak dilaporkan.

Pernyataan Ketersediaan Data

Ringkasan pertumbuhan, skenario harga pakan, dan dokumentasi pengukuran disajikan dalam artikel. Data individual, catatan pakan, biomassa kolam, serta ketentuan akses data mentah tidak disertakan.

Persetujuan Etik

Dokumentasi penelitian tidak mencantumkan lembaga atau nomor persetujuan etik hewan maupun rincian prosedur penanganan dan kesejahteraan ikan selama pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] National Research Council, Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. Washington, DC: The National Academies Press, 2011, doi: 10.17226/13039.
- [2] O. M. Millamena, R. M. Coloso, and F. P. Pascual, ed., Nutrition in Tropical Aquaculture: Essentials of Fish Nutrition, Feeds, and Feeding of Tropical Aquatic Species. Tigbauan: SEAFDEC Aquaculture Department, 2002.
- [3] S. Langi, S. Maulu, O. J. Hasimuna, V. K. Kapula, and M. Tjipute, "Nutritional requirements and effect of culture conditions on the performance of the African catfish (*Clarias gariepinus*): A review," *Cogent Food & Agriculture*, vol. 10, no. 1, Art. no. 2302642, 2024, doi: 10.1080/23311932.2024.2302642.
- [4] G. de Graaf and H. Janssen, Artificial Reproduction and Pond Rearing of the African Catfish *Clarias gariepinus* in Sub-Saharan Africa: A Handbook. FAO Fisheries Technical Paper No. 362. Rome: FAO, 1996.
- [5] M. A. M. Machiels and A. M. Henken, "Growth rate, feed utilization and energy metabolism of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), as affected by dietary protein and energy content," *Aquaculture*, vol. 44, no. 4, pp. 271–284, 1985, doi: 10.1016/0044-8486(85)90226-1.
- [6] A. Oliva Teles, A. Couto, P. Enes, and H. Peres, "Dietary protein requirements of fish—A meta-analysis," *Reviews in Aquaculture*, vol. 12, no. 3, pp. 1445–1477, 2020, doi: 10.1111/raq.12391.
- [7] M. R. Hasan and M. B. New, ed., On-farm Feeding and Feed Management in Aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 583. Rome: FAO, 2013.
- [8] M. R. Hasan, ed., Economics of Aquaculture Feeding Practices in Selected Asian Countries. FAO Fisheries Technical Paper No. 505. Rome: FAO, 2007.
- [9] K. J. Rana, S. Siriwardena, and M. R. Hasan, Impact of Rising Feed Ingredient Prices on Aquafeeds and Aquaculture Production. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 541. Rome: FAO, 2009.
- [10] R. Froese, "Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendations," *Journal of Applied Ichthyology*, vol. 22, no. 4, pp. 241–253, 2006, doi: 10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x.
- [11] S. H. Hurlbert, "Pseudoreplication and the design of ecological field experiments," *Ecological Monographs*, vol. 54, no. 2, pp. 187–211, 1984, doi: 10.2307/1942661.
- [12] N. Percie du Sert et al., "The ARRIVE guidelines 2.0: Updated guidelines for reporting animal research," *PLOS Biology*, vol. 18, no. 7, Art. no. e3000410, 2020, doi: 10.1371/journal.pbio.3000410.
- [13] C. E. Boyd and C. S. Tucker, Pond Aquaculture Water Quality Management. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998, doi: 10.1007/978-1-4615-5407-3.
- [14] C. E. Boyd, Water Quality: An Introduction, ed. 2. Cham: Springer, 2015, doi: 10.1007/978-3-319-17446-4.
- [15] C. Y. Cho and D. P. Bureau, "A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture," *Aquaculture Research*, vol. 32, suppl. 1, pp. 349–360, 2001, doi: 10.1046/j.1355-557x.2001.00027.x.

- [16] D. P. Bureau and K. Hua, "Towards effective nutritional management of waste outputs in aquaculture, with particular reference to salmonid aquaculture operations," *Aquaculture Research*, vol. 41, no. 5, pp. 777–792, 2010, doi: 10.1111/j.1365-2109.2009.02431.x.
- [17] S. H. Sugiura, D. D. Marchant, K. Kelsey, T. Wiggins, and R. P. Ferraris, "Effluent profile of commercially used low-phosphorus fish feeds," *Environmental Pollution*, vol. 140, no. 1, pp. 95–101, 2006, doi: 10.1016/j.envpol.2005.06.020.
- [18] A. G. J. Tacon and M. Metian, "Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects," *Aquaculture*, vol. 285, no. 1–4, pp. 146–158, 2008, doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.08.015.
- [19] R. L. Naylor et al., "A 20-year retrospective review of global aquaculture," *Nature*, vol. 591, pp. 551–563, 2021, doi: 10.1038/s41586-021-03308-6.
- [20] P. De Schryver, R. Crab, T. Defoirdt, N. Boon, and W. Verstraete, "The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture," *Aquaculture*, vol. 277, no. 3–4, pp. 125–137, 2008, doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.02.019.