

Kokultur hewan akuatik dan padi di air payau: Evaluasi pertumbuhan harian dan morfometrik ikan nila (*Oreochromis niloticus*) sebagai spesies yang diberi pakan

Coculture of aquatic animals and paddy in brackish water: Evaluation of the growth of daily growth and morphometrics of tilapia (*Oreochromis niloticus*) as a fed species

Heriansah^{a*}, Arnod Kabangnga^a, Nur Fajriani Nursida^b, Renal^c, dan Muh. Izzul Alfarifdi^c

Received: 02 July 2023, Revised: 17 October 2023, Accepted: 20 October 2023
DOI: 10.29103/aa.v10i3.11752

^aInstitut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa, Makassar 90245, Sulawesi Selatan, Indonesia

^bPoliteknik Pertanian Negeri Pangkajene dan Kepulauan, Pangkep 90655, Sulawesi Selatan, Indonesia

^cMahasiswa peserta MBKM Riset Keilmuan, Program Studi Budidaya Perairan, Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa, Makassar 90245, Sulawesi Selatan, Indonesia

Abstrak

Sebuah kajian budidaya ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di air payau melalui sistem kokultur (polikultur, IMTA-non padi, dan IMTA-padi) dan sistem monokultur telah dievaluasi pada skala laboratorium untuk mengetahui pertumbuhannya. Beberapa spesies hewan akuatik dan padi (sistem apung) dikombinasikan dengan ikan nila yang dipelihara pada bak plastik selama 28 hari. Ikan nila diberi pakan 4 kali sehari dengan *feeding rate* 10% dari biomassa. Nilai laju pertumbuhan spesifik (LPS) berturut-turut dari tertinggi, sistem IMTA-padi (4,24±0,08% per hari), polikultur (4,13±0,06% per hari), IMTA-non padi (3,84±0,23% per hari), dan monokultur (3,80±0,05% per hari). Pola yang sama ditemukan pada penambahan karakteristik morfometrik (PKM). Panjang total, panjang standar, panjang badan, dan tinggi badan berturut-turut dari tertinggi sistem IMTA-padi (2,49±0,12; 2,14±0,12; 1,81±0,14; 0,49±0,19 g), polikultur (2,32±0,16; 2,07±0,09; 1,72±0,11; 0,41±0,11 g), IMTA-non padi (2,18±0,12; 1,78±0,15; 1,62±0,15; 0,33±0,14 g), dan monokultur (2,02±0,09 1,67±0,08; 1,57±0,08; 0,30±0,10 g). Analisis ragam mengindikasikan LPS dan PKM ikan nila dipengaruhi secara signifikan oleh sistem budidaya (P<0,05). LPS dan PKM pada sistem IMTA-padi lebih tinggi secara signifikan (P<0,05) dibandingkan sistem monokultur dan sistem IMTA-non padi, tetapi tidak berbeda signifikan (P>0,05) dengan sistem polikultur. Secara umum, pertumbuhan ikan nila lebih tinggi pada sistem kokultur dibandingkan sistem monokultur di air payau yang mengarah pada diversifikasi produksi budidaya.

Kata kunci: Air payau; Ikan nila; Kokultur; Padi; Pertumbuhan

Abstract

A study on the cultivation of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in brackish water using co-culture systems (polyculture, IMTA-non paddy, and IMTA-paddy) and monoculture systems was evaluated on a laboratory scale to determine its growth. Several species of aquatic animals and paddy (floating system) were combined with tilapia reared in plastic tanks for 28 days. Tilapia were fed four times a day at a feeding rate of 10% of biomass. The highest specific growth rate (SGR), IMTA-paddy system (4.24±0.08% day⁻¹), polyculture (4.13±0.06% day⁻¹), IMTA-non paddy (3.84±0.23% day⁻¹), and monoculture (3.80±0.05% day⁻¹). The same pattern was found in the addition of morphometric characteristics (AMC). Total length, standard length, body length, and height respectively from the highest IMTA-paddy system (2.49±0.12; 2.14±0.12; 1.81±0.14; 0.49±0.19 g), polyculture (2.32±0.16; 2.07±0.09; 1.72±0.11; 0.41±0.11 g), IMTA-non paddy (2.18±0.12; 1.78±0.15; 1.62±0.15; 0.33±0.14 g), and monoculture (2.02±0.09 1.67±0.08; 1.57±0.08; 0.30±0.10 g). Analysis of variance indicated that SGR and AMC of tilapia were significantly influenced by the culture system (P<0.05). The SGR and AMC in the IMTA-paddy system were significantly higher (P<0.05) than those in the monoculture and IMTA-non-paddy systems, but not significantly different (P>0.05) from those in the polyculture system. In general, tilapia growth was higher in co-culture systems than in monoculture systems in brackish water, which led to the diversification of aquaculture production.

Keywords: Brackish water; Co-culture; Growth; Nile tilapia; Rice.

* Korespondensi: Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa, Makassar, Indonesia.

Tel: +62-085255243210

e-mail: heriansah.itbm.ba@gmail.com

1. Pendahuluan

Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) memiliki atribut biologis dan ekonomis yang menguntungkan sebagai spesies budidaya. Spesies ini menempati urutan ketiga produksi terbesar dunia dari kelompok ikan air tawar (FAO, 2022) dan Indonesia adalah produsen terbesar kedua dunia di Asia (Mehtar *et al.*, 2023).

Pertumbuhan yang cepat, toleransi kuat terhadap tekanan lingkungan yang ekstrim, dapat memanfaatkan berbagai bahan pakan (Zhao *et al.*, 2020), tahan penyakit, mudah dibudidayakan (Magbanua & Ragaza, 2023), serta kandungan nutrisi esensial yang beragam dan preferensi konsumen yang tinggi (Nuryanto *et al.*, 2022) menempatkannya sebagai salah satu spesies ikan air tawar yang banyak dibudidayakan secara komersil. Bahkan, ikan nila menjadi sumber protein penting di negara berkembang dan menyediakan lapangan pekerjaan (Kari *et al.*, 2022). Akibatnya, budidaya jenis ikan ini diekspansi secara luas dan intensif sehingga disoroti dapat mengancam keberlanjutan budidaya (Sri-uam *et al.*, 2016).

Seperti pada budidaya lainnya, pakan buatan merupakan item biaya utama dalam produksi ikan nila sistem intensif (An & Anh, 2020). Dua unsur utama pakan yang menjadi perhatian adalah nitrogen (N) dan fosfor (P) (Chatvijitkul *et al.*, 2018) karena sejumlah besar unsur ini terbuang menjadi sisa pakan, feses, dan produk ekskresi (Zhang *et al.*, 2020). Beberapa studi telah mengevaluasi buangan limbah pakan pada budidaya ikan nila. Neto & Ostrensky (2015) melaporkan ikan nila hanya mengasimilasi 35% N dan 28% P dari pakan, selebihnya menjadi feses, urine, dan sisa pakan. Sementara itu, pada studi (Abou *et al.*, 2010) asimilasi ikan nila hanya 14% N dan 36% P, selebihnya menjadi limbah. Kuantifikasi kurang lebih sama dilaporkan Sri-uam *et al.* (2016), ikan nila hanya mengasimilasi 38% N dan 31% P, selebihnya terbuang sebagai limbah. Limbah nutrisi dapat berdampak negatif pada ikan dan lingkungan (Dauda *et al.*, 2019) serta pemborosan pakan (Emerenciano *et al.*, 2022).

Limbah nutrisi merupakan keniscayaan pada budidaya berbasis pakan (Heriansah *et al.*, 2022). Oleh alasan ini berkembang teknologi budidaya untuk memanfaatkan limbah nutrisi melalui budidaya kokultur dengan memelihara dua atau lebih spesies dalam ruang fisik dan waktu yang sama (Papageorgiou *et al.*, 2023; Romana-Eguia *et al.*, 2021). Banyak riset telah mengkonfirmasi bahwa kokultur sejumlah spesies dengan trofik berbeda, seperti pada sistem *Integrated Multi Trophic Aquaculture* (IMTA) meningkatkan produktivitas dan kesehatan ekosistem (Campanati *et al.*, 2022; Nederlof *et al.*, 2021) yang relevan dengan budidaya berkelanjutan. Prinsip utama sistem kokultur ini adalah mengintegrasikan beberapa spesies dengan tingkat trofik berbeda, seperti spesies yang diberi pakan (udang atau ikan), spesies ekstraktif organik (teripang, kerang, landak laut), dan spesies ekstraktif anorganik (makroalga) (Chary *et al.*, 2020).

Kokultur ikan nila dengan sistem IMTA telah banyak dilakukan di air tawar dan terbukti bermanfaat secara ekologis dan ekonomis. Namun, keterbatasan air tawar saat ini menjadi tantangan untuk budidaya ikan nila (David *et al.*, 2021; El-Leithy *et al.*, 2019). Oleh karena ikan nila bersifat eurihaline, maka pemanfaatan air payau untuk budidaya ikan nila menjadi alternatif yang memungkinkan untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Selain itu, ekspansi ke air payau didukung oleh potensi luas lahan air payau di Indonesia sebesar 2,96 juta hektar dan baru sekitar 22,8% yang dimanfaatkan (KKP, 2022). Meskipun ikan nila telah banyak diteliti dan diterapkan di air payau (Holanda *et al.*, 2023; Juárez-Rosales *et al.*, 2020), tetapi sistem budidaya yang digunakan umumnya monokultur dan polikultur. Sepengetahuan penulis, budidaya ikan nila di air payau sistem IMTA yang melibatkan spesies dengan level trofik yang lengkap masih terbatas.

Pada penelitian ini, ikan nila sebagai spesies yang diberi pakan diintegrasikan dengan udang windu (*Penaeus monodon*), kerang darah (*Tegillarca granosa*), teripang pasir (*Holothuria scabra*), dan padi (*Oryza sativa*). Tersedianya varietas padi salin memungkinkan untuk diintegrasikan dengan hewan akuatik di air payau. Kelima spesies ini memiliki level trofik yang berbeda dan

diketahui dapat dibudidayakan secara monokultur dan kokultur. Khusus untuk padi, spesies ekstraktif anorganik ini dipelihara di air payau dan menggunakan metode apung (*floating bed*) yang juga masih sangat terbatas informasinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pertumbuhan ikan nila pada sistem kokultur hewan akuatik dan padi. Hasil penelitian dapat memberikan informasi penting menuju diversifikasi sistem budidaya yang berkelanjutan di air payau.

2. Materi dan Metode

2.1. Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Institut Akuakultur Moncongloe Maros, Sulawesi Selatan pada bulan Juli sampai September 2022. Khusus untuk pengukuran parameter amoniak analisis dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene dan Kepulauan.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan penelitian yang digunakan antara lain ikan nila, udang windu, kerang darah, teripang pasir, pakan komersil, dan air payau. Alat-alat yang digunakan antara lain bak plastik 50x50x55 cm³ sebagai wadah pemeliharaan hewan akuatik, nampan (*tray*) 25x25 cm² sebagai wadah apung padi (dikonstruksi dari pipa 1 inci dan kasa plastik, netpot diameter 8 cm, dan serabut kelapa), pasir laut sebagai substrat, peralatan aerasi, blower Resun LP60, timbangan digital WH-28 ketelitian 0,1 g, jangka sorong digital sigmat 150 mm, botol sampel PP 100 mL, dan instrumen *water quality meter 5 in 1 AZ 86031*.

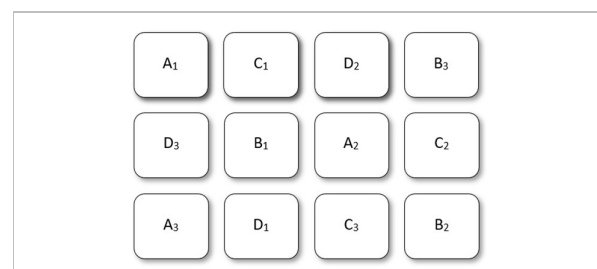
2.3. Rancangan Penelitian

Penelitian skala laboratorium ini didesain menggunakan 4 perlakuan dan 3 ulangan. Perlakuan yang dievaluasi adalah sistem budidaya monokultur dan kokultur (Tabel 1). Sistem kokultur terdiri atas sistem polikultur, IMTA-non padi, dan IMTA-padi. Tata letak unit perlakuan diatur secara acak (Gambar 1).

Tabel 1
Perlakuan penelitian.

Perlakuan	Sistem Budidaya (Spesies)
A	Monokultur (ikan nila) (kontrol)
B	Polikultur (ikan nila, padi)
C	IMTA-non padi (ikan nila, udang windu, kerang darah, teripang pasir)
D	IMTA-padi (ikan nila, udang windu, kerang darah, teripang pasir, padi)

Keterangan: A = Monokultur; B, C, dan D = kokultur



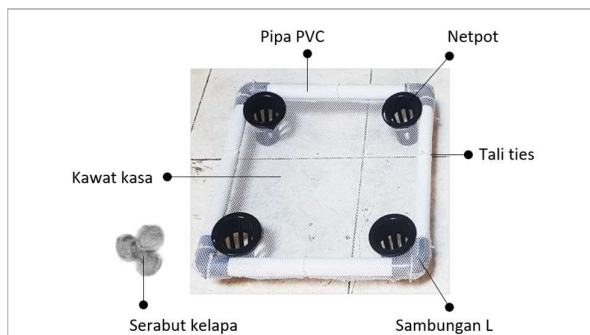
Gambar 1. Tata letak unit perlakuan.

2.4. Prosedur Penelitian

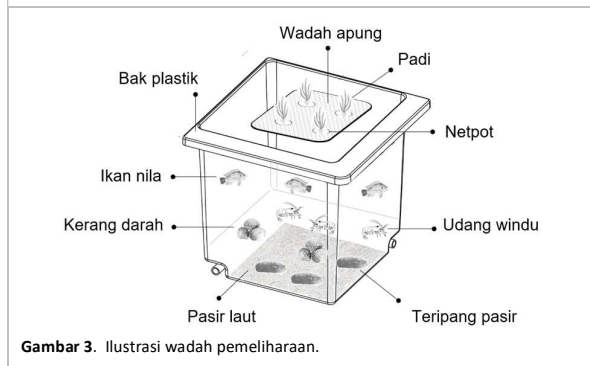
Ikan nila Sultana berbobot awal 2,1±0,1 g diperoleh dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Takalar yang telah diadaptasikan pada salinitas 5 ppt. Benih udang windu didapatkan dari unit penggelondongan di Kabupaten Pangkep dengan bobot awal 2,5±0,2 g. Untuk kerang darah dan teripang pasir dikumpulkan dari tangkapan alami nelayan di Kabupaten

Takalar dengan bobot awal masing-masing $22,6 \pm 0,3$ g dan $12,3 \pm 0,3$ g. Keempat benih hewan akuatik ini diaklimatisasi terlebih dahulu secara bertahap selama 30 hari untuk dapat hidup pada salinitas 20 ppt. Varietas padi yang digunakan tersedia secara komersial, dan sesuai label kemasan sangat mudah beradaptasi dalam berbagai kondisi. Benih padi terlebih dahulu direndam air payau dan selanjutnya disemai hingga ketinggian $15,1 \pm 0,2$ cm.

Wadah pemeliharaan ditambahkan pasir didasar wadah sebagai substrat kerang darah dan teripang pasir, kemudian diisi air payau sebanyak 90 liter dengan salinitas 20 ppt. Selanjutnya hewan akuatik ditebar dengan padat tebar ikan nila, udang windu, dan kerang darah masing-masing 20 individu, sedangkan kepadatan teripang pasir 10 individu. Khusus untuk benih padi, penebaran dilakukan setelah 7 hari penebaran hewan akuatik untuk memungkinkan tersedianya nutrisi anorganik pada wadah pemeliharaan. Benih padi yang telah disemai dimasukkan ke dalam 4 netpot dengan menggunakan media serabut kelapa dan selanjutnya diapungkan ke wadah pemeliharaan menggunakan naman. Ilustrasi naman dan desain wadah pemeliharaan ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Wadah apung padi (Heriansah *et al.*, 2023).



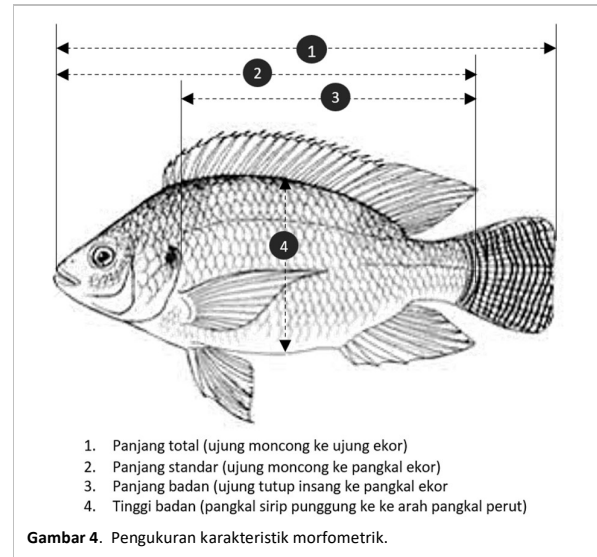
Gambar 3. Ilustrasi wadah pemeliharaan.

Selama 28 hari pemeliharaan dilakukan pemberian pakan ke ikan nila dengan frekuensi 4 kali sehari (pukul 07.00, 11.00, 15.00 dan 19.00 WITA) (Juárez-Rosales *et al.*, 2019) dengan *feeding rate* 10% dari biomassa. Pakan buatan yang diberikan bentuk krambel dengan kandungan protein 40%. Aerasi melalui blower dijalankan secara terus menerus selama periode pemeliharaan. Kualitas air dipantau setiap hari (pagi dan sore). Pergantian air pada penelitian ini tidak dilakukan, namun volume air secara konsisten dijaga melalui penambahan air.

2.5. Pengumpulan Data

Data pertumbuhan ikan nila yang dikumpulkan pada penelitian ini adalah data bobot dan morfometrik. Kedua data ini dikumpulkan melalui pengukuran setiap 7 hari. Penimbangan bobot dilakukan pada semua populasi ikan (sampel total) (Sugiyono, 2022) menggunakan timbangan digital WH-28.

Demikian pula dengan pengukuran morfometrik, seluruh populasi ikan diukur dengan menggunakan jangka sorong digital sigmat 150 mm. Ikan diukur dengan meletakkan di atas kertas yang tahan air dengan posisi kepala berada di sebelah kiri. Karakteristik morfometrik yang diukur adalah panjang total (PT), panjang standar (PS), panjang badan (PB), dan tinggi badan (TB) dengan mengacu pada (Kwikiriza *et al.*, 2023) (Gambar 4).



Gambar 4. Pengukuran karakteristik morfometrik.

2.6 Parameter uji

Indikator pertumbuhan ikan merupakan sebuah persamaan matematis yang digunakan untuk menyatakan pertumbuhan dimensi tubuh dari waktu ke waktu. Pertumbuhan ikan nila yang menjadi parameter uji pada penelitian ini adalah Laju Pertumbuhan Spesifik (LPS) dan Pertambahan Karakteristik Morfometrik (PKM). Indikator LPS yang digunakan sebagai parameter pertumbuhan karena jangka waktu eksperimen yang relatif singkat (28 hari) dan ikan nila yang digunakan sebagai organisme uji masih dalam ukuran yang kecil (juvenil) dengan pertambahan berat masih dalam fase kurva eksponensial (Lugert *et al.*, 2016).

LPS dihitung mengacu pada persamaan Lugert *et al.* (2016) sebagai berikut :

$$LPS = \frac{\ln Wt - \ln Wo}{t} \times 100$$

Keterangan: LPS adalah laju pertumbuhan spesifik (% per hari), Wt adalah berat-rata ikan nila di akhir penelitian (g), Wo adalah berat rata-rata ikan nila di awal penelitian (g), t adalah lama pemeliharaan.

PKM dihitung dengan memodifikasi persamaan (Lalramchani *et al.*, 2020) sebagai berikut :

$$PKM = PKt - PKo$$

Keterangan: PKM adalah pertambahan karakteristik morfometrik (cm), PKt adalah ukuran rata-rata karakteristik morfometrik di akhir penelitian (cm), PKo adalah ukuran rata-rata karakteristik morfometrik di awal penelitian (cm).

Kualitas air sebagai parameter tambahan juga diukur pada penelitian ini dengan beberapa parameter dan waktu pengukuran ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2

Parameter dan waktu pengukuran kualitas air.

No.	Parameter	Waktu pengukuran
1.	Salinitas (ppt)	Setiap hari (pagi dan sore)
2.	Oksigen terlarut (mg/L)	Setiap hari (pagi dan sore)
3.	Suhu (°C)	Setiap hari (pagi dan sore)
4.	pH	Setiap hari (pagi dan sore)
5.	Amoniak (NH ₃)	Awal dan akhir penelitian

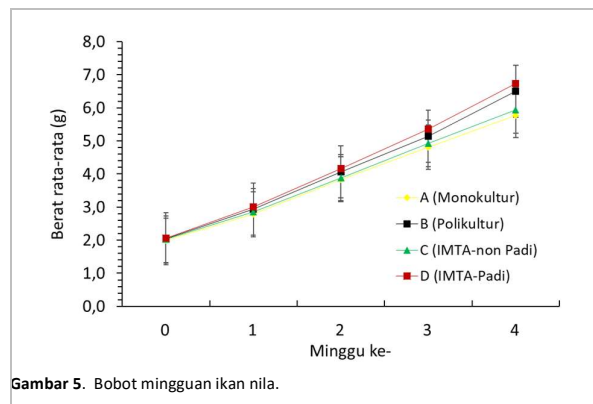
2.7. Analisis Data

Distribusi normal dan homogenitas varians data terlebih dahulu diuji melalui *Shapiro-Wilk test* dan *Levene test* untuk memenuhi asumsi statistik parametrik. Hasil uji menunjukkan semua data berdistribusi normal dan homogen ($p > 0,05$). Selanjutnya data dianalisis melalui analisis ragam (ANOVA) untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan terhadap pertumbuhan ikan nila. Pengaruh yang signifikan kemudian dibandingkan melalui uji *Tukey Honestly Significant Difference (HSD)* pada tingkat signifikansi 95% ($P < 0,05$). Seluruh uji statistik ini menggunakan *IBM SPSS Statistics Version 25*. Untuk data kualitas air dianalisis secara deksriptif dengan membandingkan kisaran toleransi ikan nila berdasarkan referensi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Laju Pertumbuhan Spesifik (LPS)

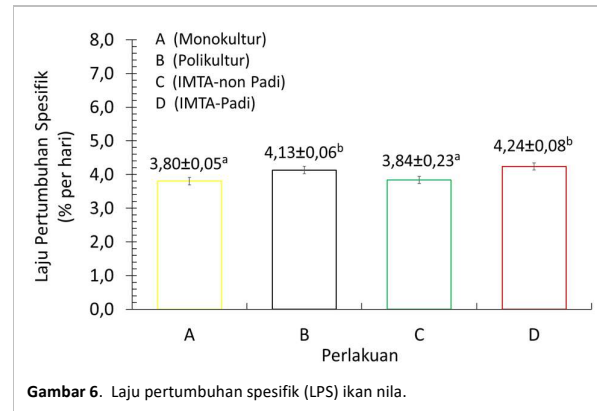
Salah satu target utama setiap aktivitas budidaya yang berkorelasi langsung dengan produksi adalah meningkatnya pertumbuhan selama periode pemeliharaan. Ikan nila pada awal penelitian dipelihara dengan berat rata-rata $2,1 \pm 0,1$ g yang tidak berbeda secara signifikan pada setiap perlakuan. Namun, setelah dipelihara selama 28 hari, bobot akhir yang dihasilkan relatif bervariasi antar perlakuan, masing-masing $5,8 \pm 0,1$ g (perlakuan A), $6,5 \pm 0,2$ g (perlakuan B), $6,0 \pm 0,1$ g (perlakuan C), dan $6,7 \pm 0,1$ g (perlakuan D) (Gambar 5).



Gambar 5. Bobot mingguan ikan nila.

Gambar 5 menunjukkan berat ikan nila pada setiap perlakuan yang meningkat seiring dengan periode mingguan pemeliharaan. Pertumbuhan ikan nila yang meningkat di setiap perlakuan dapat dikaitkan dengan konsep pembelanjaan energi (*energy budget*). Energi yang diasimilasi dari pakan (*net energy*) akan dialokasikan untuk pertumbuhan setelah energi yang tersedia telah digunakan untuk kebutuhan metabolisme basal (*basal metabolism*) dan energi gerak (*voluntary activity*) (Weidner *et al.*, 2020). Pada penelitian ini, energi dari pakan yang memiliki kandungan protein 40% yang diberikan dengan *feeding rate* 10% sebanyak 4 kali sehari nampaknya melebihi kebutuhan metabolisme basal dan energi gerak ikan nila, termasuk kebutuhan energi untuk proses penyesuaian salinitas (osmoregulasi) (Nassar *et al.*, 2021).

Gambar 6 menunjukkan bahwa LPS ikan nila bervariasi diantara perlakuan (sistem monokultur, polikultur, IMTA-non padi, dan IMTA-padi). Jika dibandingkan dengan penelitian lain, LPS ikan nila sistem monokultur (Perlakuan A) selama 28 hari pada salinitas 20 ppt relatif sama dengan hasil (An & Anh, 2020) $3,82 \pm 0,17\%$ per hari pada ikan nila yang dipelihara pada salinitas 5 ppt selama 8 minggu. Dibandingkan dengan hasil studi Dahril *et al.* (2017) pada salinitas dan lama pemeliharaan yang sama, LPS ikan nila merah yang diperoleh $6,82 \pm 0,23\%$ /hari, lebih tinggi dari hasil penelitian ini. Namun, hasil penelitian di air payau ini lebih tinggi dibandingkan hasil studi yang dilaporkan He *et al.* (2020) di air tawar dengan LPS $3,16 \pm 0,12$ dan $52 \pm 0,24\%$ per hari masing-masing di minggu ke-3 dan minggu ke-6.



Gambar 6. Laju pertumbuhan spesifik (LPS) ikan nila.

Sejauh ini belum diperoleh informasi ilmiah tentang polikultur ikan nila dengan padi apung di air payau sehingga masih sulit untuk memutuskan hasil studi ini lebih baik atau tidak daripada yang diteliti sebelumnya. Namun, sebuah studi menemukan LPS ikan nila yang dipolikultur dengan padi tanam di air tawar $3,48 \pm 0,05\%$ per hari (Anam *et al.*, 2016), lebih rendah dibandingkan hasil pada penelitian ini. Selain itu, LPS ikan nila yang dipolikultur dengan rumput laut *Gracilaria tenuistipitata* pada salinitas 5 ppt selama 8 minggu sebesar $3,80 \pm 0,21\%$ per hari (An & Anh, 2020), juga lebih rendah dibandingkan jika dipolikultur dengan padi.

Demikian pula dengan sistem kokultur IMTA-non padi dan IMTA-padi untuk kombinasi ikan nila, udang windu, kerang darah, teripang pasir, dan padi belum diketahui informasinya. Namun, penelitian Rejeki *et al.* (2016) yang mengkombinasikan ikan nila, udang windu, dan rumput laut di air payau mendapatkan LPS ikan nila masing-masing $3,07 \pm 0,3\%$ per hari, lebih rendah dibandingkan penelitian ini. Sementara itu, ikan nila yang dipelihara di tambak air payau selama 3 bulan bersama udang windu dan rumput laut *Gracilaria verrucosa* memiliki LPS sebesar $12,7 \pm 3,3\%$ per hari (Pantjara *et al.*, 2020).

Variabilitas metode antar studi adalah faktor yang paling memungkinkan bervariasinya hasil penelitian ini dengan hasil penelitian yang telah disebutkan di atas. Lama pemeliharaan, jumlah, jenis, dan frekuensi pemberian pakan, dan kepadatan dapat mempengaruhi pertumbuhan organisme (Barani *et al.*, 2019). Selain itu, variasi kombinasi spesies yang tepat dapat mengoptimalkan sinergitas antar spesies yang dapat berdampak positif terhadap kinerja pertumbuhan (Hamsiah *et al.*, 2021; Thomas *et al.*, 2021).

Pertumbuhan ikan nila pada penelitian ini yang direpresentasikan oleh LPS dipengaruhi secara signifikan oleh sistem budidaya ($P < 0,05$) berdasarkan hasil analisis ragam. LPS pada sistem IMTA-padi lebih tinggi secara signifikan ($P < 0,05$) dibandingkan sistem monokultur dan sistem IMTA-non padi, tetapi sistem IMTA-padi tidak berbeda signifikan ($P > 0,05$).

dengan sistem polikultur. Sementara itu, LPS antara sistem monokultur dan IMTA-non padi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Spesies padi nampaknya menjadi spesies kunci dari hasil LPS ikan nila yang lebih tinggi. Trend performa LPS ikan nila yang diamati dipengaruhi oleh kehadiran dan ketidakhadiran spesies padi. Pertumbuhan yang relatif rendah pada sistem IMTA-non padi dan monokultur dapat dijelaskan dari faktor ini. Oleh karena itu, pembentukan sistem kokultur nampaknya harus memasukkan organisme penyerap nutrisi anorganik (tanaman) untuk mendapatkan manfaat biologis, ekologis, dan ekonomis kegiatan budidaya (He *et al.*, 2020).

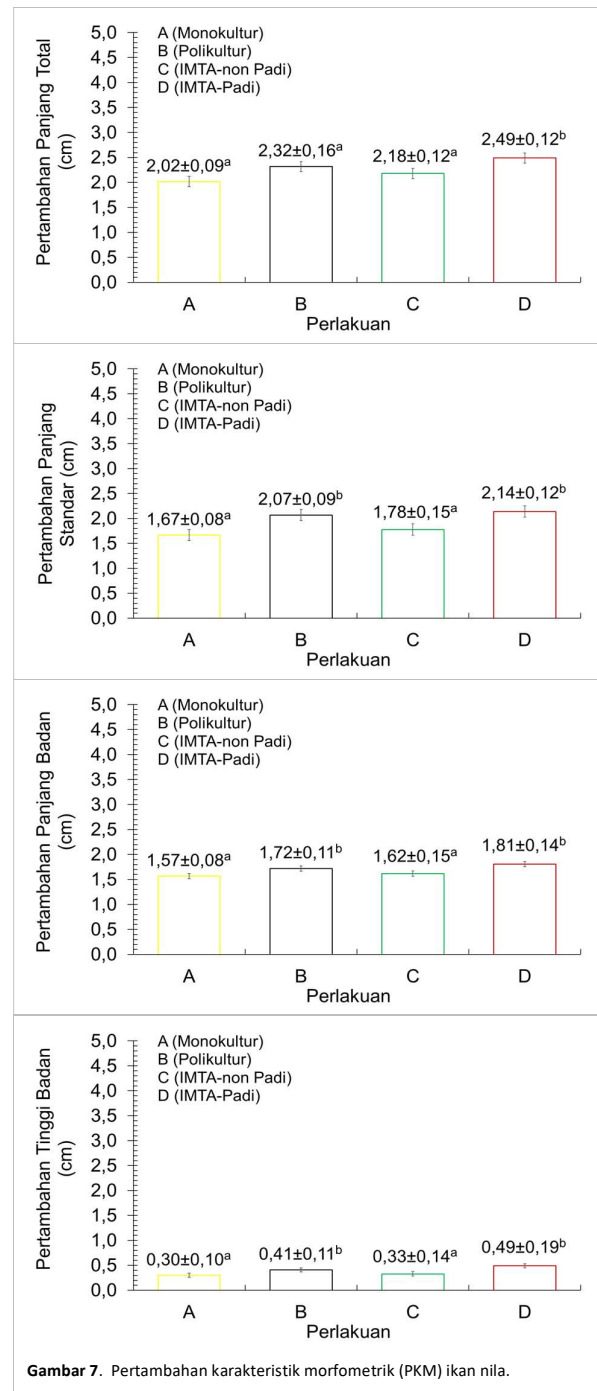
Banyak studi telah menyajikan informasi pendukung yang mengkonfirmasi bahwa kehadiran padi dalam sistem kokultur bermanfaat sebagai penyerap nutrisi anorganik (Li *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2021). Sistem kokultur berbasis ekologis yang melibatkan tanaman padi telah dilaporkan dapat meningkatkan kinerja pertumbuhan dan menjaga kualitas air yang baik karena sumber limbah anorganik, seperti sisa pakan dan feses dapat diasimilasi oleh padi untuk pertumbuhannya (He *et al.*, 2020). Limbah organik ini diketahui dapat menurunkan kualitas air yang merupakan salah satu faktor determinan yang menentukan pertumbuhan (Dauda *et al.*, 2019). Selain itu, akar padi dengan sistem apung seperti pada penelitian ini dapat mengasimilasi nutrisi terlarut secara efektif dari media, seperti amoniak (NH_3), amonium (NH_4), Nitrat (NO_3), dan Fosfat (PO_4) (Srivastava *et al.*, 2017). Studi He *et al.*, 2020 menemukan pertumbuhan ikan nila lebih tinggi secara signifikan pada sistem kokultur dengan padi dibandingkan sistem monokultur, sama dengan hasil yang diperoleh pada penelitian ini. Pada jenis tumbuhan lain, (Pantjara *et al.*, 2020) melaporkan produksi ikan nila yang lebih tinggi jika dikokultur dengan rumput menyebutkan pertumbuhan ikan nila yang lebih baik jika di kokultur dengan rumput laut dibandingkan di kokultur dengan udang windu. Ini adalah penjelasan yang relevan untuk tanaman padi sebagai spesies kunci yang mempengaruhi LPS ikan nila.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa sistem kokultur yang dibangun (polikultur, IMTA-non padi, dan IMTA-padi) menghasilkan LPS yang lebih tinggi dibandingkan sistem monokultur. Meskipun LPS antara sistem IMTA-non padi dan sistem monokultur serta sistem polikultur dengan sistem IMTA-padi tidak berbeda signifikan, tetapi jumlah spesies yang dipelihara lebih banyak sehingga tercipta diversifikasi produksi yang mengarah pada keuntungan ekonomis. Hal ini selaras dengan konsep yang disebutkan oleh Lalramzchani *et al.* (2020) bahwa untuk akuakultur air payau, diversifikasi sistem dan produk adalah salah satu strategi utama untuk keberlanjutan produksi. Selain itu, beberapa riset telah menunjukkan bahwa peningkatan jumlah spesies melalui sistem kokultur dapat meningkatkan produktivitas dan stabilitas ekosistem untuk mempromosikan budidaya berkelanjutan (Campanati *et al.*, 2022; Nederlof *et al.*, 2021).

3.2. Pertambahan Karakteristik Morfometrik (PKM)

Pengukuran bagian-bagian tertentu dari morfologi tubuh ikan merupakan metode paling sederhana dan langsung dalam mengidentifikasi karakteristik ikan (Makeche *et al.*, 2022). Khusus untuk ikan nila, pengukuran karakteristik morfometrik telah dilaporkan dalam beberapa penelitian, baik dari hasil tangkapan maupun budidaya (Kwikiriza *et al.*, 2023), namun morfometrik ikan nila dari sistem budidaya yang berbeda sejauh ini belum diketahui informasinya. Pembatas utama dari karakter morfologi adalah variasi fenotip yang tidak hanya dibawah kendali genetik tetapi juga dipengaruhi oleh respon lingkungan (Kwikiriza *et al.*, 2023). Oleh karena itu, karakteristik morfometrik antar sistem budidaya (monokultur, polikultur,

IMTA-non padi, dan IMTA-padi) diukur pada penelitian ini. Hasil pengukuran disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pertambahan karakteristik morfometrik (PKM) ikan nila.

Penting untuk disebutkan terlebih dahulu bahwa pilihan karakteristik morfometrik, meliputi panjang total (PT), panjang standar (PS), panjang badan (PB), dan tinggi badan (TB) yang diukur pada penelitian ini didasarkan pada pertimbangan bahwa keempat karakteristik ini memiliki kontribusi penting terhadap penambahan berat badan dan ikan di pasaran diberi harga berdasarkan berat (Ikpeme *et al.*, 2017).

Gambar 7 menunjukkan PKM ikan nila bervariasi diantara perlakuan (sistem monokultur, polikultur, IMTA-non padi, dan IMTA-padi). Untuk membandingkan hasil ini dengan penelitian sebelumnya, nampaknya cukup sulit karena belum ditemukan informasi ilmiah tentang morfometrik ikan nila yang relevan

untuk dibandingkan. Beberapa penelitian terdahulu lebih banyak mengukur karakteristik morfometrik pada ikan nila hasil tangkapan. Selain itu, untuk pengukuran morfometrik ikan nila dari hasil budidaya umumnya pada ukuran-ukuran yang telah besar seperti yang dilaporkan oleh Ikpeme *et al.* (2017), Kwikiriza *et al.* (2023), Makeche *et al.* (2022), dan beberapa penelitian lainnya. Variabilitas metode pemeliharaan pada beberapa penelitian terdahulu juga dapat menyebabkan bias jika dibandingkan dengan penelitian ini.

Hasil analisis ragam mengindikasikan PKM ikan nila dipengaruhi secara signifikan oleh sistem budidaya ($P < 0,05$). PKM pada sistem IMTA-padi lebih tinggi secara signifikan ($P < 0,05$) dibandingkan sistem monokultur dan sistem IMTA-non padi, tetapi sistem IMTA-padi tidak berbeda signifikan ($P > 0,05$) dengan sistem polikultur. Hasil penelitian menunjukkan variasi PKM dan LPS memiliki pola yang sama. Hasil ini dapat dikaitkan pertambahan bobot merupakan representasi dari pertambahan karakteristik morfometrik (PT, PS, PB, dan TB). Hasil yang diperoleh dari analisis korelasi Pearson menguatkan kaitan ini. PT, PS, PB, dan TB yang diamati berkorelasi positif dan signifikan dengan berat badan ikan nila ($P < 0,05$). Korelasi positif dan signifikan sama yang dilaporkan oleh Ikpeme *et al.* (2017) antara PT, PS, PB, dan TB dan berat ikan nila dari hasil tangkapan dan budidaya. Implikasi dari hasil ini adalah pentingnya perhatian terhadap PT, PS, PB, dan TB untuk penambahan berat badan ikan nila pada kegiatan budidaya.

Temuan pada penelitian ini mengkonfirmasi bahwa morfometrik ikan sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Sistem budidaya diketahui dapat mempengaruhi kondisi lingkungan, terutama sumber nutrisi dan kesehatan lingkungan (Dauda *et al.*, 2019; Nederlof *et al.*, 2021). Pada konteks ikan nila yang dibudidayakan, banyak penelitian tentang morfometrik telah menunjukkan variasi yang disebabkan oleh pengaruh kualitas air dan kondisi habitat yang dapat mempengaruhi perilaku makan, laju metabolisme, pertumbuhan, dan reproduksi ikan nila (Kwikiriza *et al.*, 2023). Sistem budidaya yang berbeda sebagaimana pada penelitian ini nampaknya menghasilkan respon ikan nila yang juga berbeda secara adaptif terhadap lingkungan dengan modifikasi fisiologi dan perilakunya yang mengarah pada perubahan morfologi (Turan, 1999). Ini salah satu penjelasan yang memungkinkan berbedanya morfometrik antar sistem budidaya, selain faktor penyebab yang telah dijelaskan pada pertumbuhan spesifik.

3.3. Kualitas Air

Parameter kualitas air merupakan salah satu parameter terpenting yang menentukan keberhasilan kegiatan budidaya, terutama pertumbuhan organisme (Dauda *et al.*, 2019). Rangkuman hasil pengukuran lima parameter umum kualitas air yang diukur pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3. Ikan nila sebagai species euryhaline dapat hidup pada kisaran salinitas 0-35‰ (Nassar *et al.*, 2021). Pada penelitian ini, meskipun telah dilakukan adaptasi bertahap selama 30 hari, salinitas 19,6-20,9 ppt nampaknya memberikan pengaruh tersendiri terhadap ikan nila. Gejala yang teramati di akhir penelitian pada warna ikan yang berubah agak pucat keperakan dan garis-garis hitam pada badan memudar (Gambar 8). Perubahan warna ini diduga merupakan respon stres ikan nila terhadap salinitas yang relatif tinggi (Nassar *et al.*, 2021). Penelitian Withyachumnarnkul (2017) juga menemukan bahwa ikan nila yang bertahan pada salinitas tinggi memiliki warna kulit perak dan tanpa garis hitam.

Tabel 3

Hasil pengukuran kualitas air.

No.	Parameter	Perlakuan			
		A	B	C	D
1.	Salinitas (ppt)	20,7-20,9	20,2-20,8	19,7-20,9	19,6-20,9
2.	Oksigen terlarut (mg/L)	4,4-4,6	4,4-4,8	4,1-4,4	4,3-4,5
3.	Suhu ($^{\circ}$ C)	27,3-28,8	27,3-28,7	27,3-28,7	27,3-28,4
4.	pH	7,1-7,4	7,3-7,6	7,7-7,9	7,5-7,9
5.	Amoniak (NH_3)	0,003-0,835	0,003-0,154	0,003-0,191	0,003-0,153

Perlakuan : A = monokultur, B = polikultur, C = IMTA-non padi, D = IMTA-padi



Gambar 8. Warna ikan nila akhir penelitian.

Nilai oksigen terlarut selama penelitian dari masing-masing perlakuan relatif stabil dan berada di atas ≥ 3 mg/L yang kondusif untuk pertumbuhan ikan nila (Lucas *et al.*, 2018). Aerasi yang terus menerus dioperasikan selama penelitian dan proses fotosintesis dari (Srivastava *et al.*, 2017) berkontribusi pada tingginya oksigen terlarut pada penelitian ini. Sisa pakan, feses, dan produk metabolisme adalah sumber nitrogen anorganik dalam bentuk amonia, amonium, nitrit, dan nitrat. Konsentrasi oksigen yang rendah menyebabkan nitrogen bergerak menuju senyawa amoniak, sedangkan konsentrasi oksigen tinggi menyebabkan nitrogen bergerak menuju senyawa amonium (Hidayati *et al.*, 2019). Suhu selama penelitian yang tercatat pada setiap perlakuan berada pada rentang 24-32 $^{\circ}$ C yang aman dan mendukung kehidupan ikan nila (Lucas *et al.*, 2018). Suhu yang tinggi dapat meningkatkan nilai pH dan toksisitas (amoniak) dari akumulasi sisa metabolisme, sisa pakan, dan feses. Suhu yang relatif stabil dan tidak tinggi pada penelitian ini mempengaruhi nilai pH pada kisaran 6,5-8,5 yang optimal untuk pemeliharaan ikan nila (Lucas *et al.*, 2018).

Amonia bebas yang tidak terionisasi dalam bentuk amoniak (NH_3) beracun bagi organisme akuatik dan amoniak pada konsentrasi yang tinggi dapat menjadi indikasi adanya pencemaran bahan organik pada sebuah perairan (Hidayati *et al.*, 2019). Konsentrasi amoniak pada setiap sistem budidaya, baik monokultur, polikultur, IMTA-non padi, maupun IMTA-padi selama penelitian dibawah 1 mg/L yang aman untuk kehidupan dan pertumbuhan ikan (Lawson, 1995). Namun, amoniak yang lebih tinggi tercatat pada sistem monokultur yang mendekati ambang batas yang aman karena akumulasi selama pemeliharaan. Mungkin ini penyebab rendahnya pertumbuhan ikan nila pada sistem monokultur. Berperannya padi sebagai penyerap nutrisi anorganik, kerang darah sebagai suspension feeder, dan teripang pasir sebagai *deposit feeder* diduga menjadi penyebab lebih rendahnya nilai amoniak pada sistem kokultur dibandingkan monokultur. Hasil yang sama dilaporkan Feng *et al.* (2016) bahwa konsentrasi amoniak jauh lebih rendah pada sistem kokultur dibandingkan monokultur ikan.

4. Kesimpulan

Sistem kokultur di air payau yang melibatkan beberapa spesies hewan akuatik lain dan padi dapat meningkatkan

pertumbuhan ikan nila yang lebih tinggi dibandingkan sistem monokultur. Hasil ini memberikan informasi awal potensi pengembangan budidaya berkelanjutan melalui kokultur hewan akuatik dan padi di air payau. Penelitian lebih lanjut dari potensi ini perlu dikembangkan untuk memastikan bahwa sistem ini dapat dipraktikkan dalam skala lapangan.

Acknowledgment

Penelitian ini merupakan Program Riset Keilmuan kerjasama Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi dan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Republik Indonesia (Nomor kontrak 230/E4.1/AK.04.RA/2021). Oleh karena itu, penulis berterima kasih kepada kedua lembaga tersebut atas dukungan dana yang diberikan untuk penelitian ini. Penulis mengapresiasi LP2M Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa, Institut Akuakultur sebagai mitra riset, dan mahasiswa peserta program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) atas kerjasamanya selama program dan penelitian ini terlaksana.

Bibliography

- Abou, Y., Fiogbe, E., Aina, M., and Buldgen, A., 2010. Evaluation of Nitrogen and Phosphorus Wastes Produced by Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) Fed Azolla-diets in Concrete Tanks. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(1): 502–507. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v4i1.54229>
- An, B.N.T., and Anh, N.T.N. 2020. Co-culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and red seaweed (*Gracilaria tenuistipitata*) Under Different Feeding Rates. *Journal of Applied Phycology*, 32(3): 2031–2040. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02110-7>
- Anam, M.K., Basuki, F., and Widowati, L.L. 2016. Performa Pertumbuhan, Kelulushidupan, dan Produksi Biomassa Ikan Nila dengan Debit Air yang Berbeda pada Sistem Budidaya Minapadi di Dusun Kandhangan, Sleman, Yogyakarta. *Sains Akuakultur Tropis*, 1(1): 52–61.
- Barani, H.K., Dahmardeh, H., Miri, M., and Rigi, M. 2019. The Effects of Feeding Rates on Growth Performance, Feed Conversion Efficiency and Body Composition of Juvenile Snow. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 18(3): 507–516. <https://doi.org/10.22092/ijfs.2019.118285>
- Campanati, C., Willer, D., Schubert, J., and Aldridge, D.C. 2022. Sustainable Intensification of Aquaculture through Nutrient Recycling and Circular Economies: More Fish, Less Waste, Blue Growth. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, 30(2): 143–169. <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1897520>
- Chary, K., Aubin, J., Sadoul, B., Fiandrino, A., Covès, D., and Callier, M.D. 2020. Integrated Multi-Trophic Aquaculture of Red Drum (*Sciaenops ocellatus*) and Sea Cucumber (*Holothuria scabra*): Assessing Bioremediation and Life-Cycle Impacts. *Aquaculture*, 516: 734621. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734621>
- Chatvijitkul, S., Boyd, C.E., and Davis, D.A. 2018. Nitrogen, Phosphorus, and Carbon Concentrations in Some Common Aquaculture Feeds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 49(3): 477–483. <https://doi.org/10.1111/jwas.12443>
- Dahril, I., Tang, U.M., dan Putra, I. 2017. Pengaruh Salinitas Berbeda terhadap Pertumbuhan dan Kelulushidupan Benih Ikan Nila Merah (*Oreochromis* sp.). *Berkala Perikanan Terubuk*, 45(3): 67–75. <https://terubuk.ejournal.unri.ac.id/index.php/JT/article/view/5198>
- Dauda, A.B., Ajadi, A., Tola-Fabunmi, A.S., and Akinwale, A.O. 2019. Waste Production in Aquaculture: Sources, Components and Managements in Different Culture Systems. *Aquaculture and Fisheries*, 4(3): 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.10.002>
- David, F.S., Proença, D.C., Flickinger, D.L., Wolff Bueno, G., and Valenti, W.C. 2021. Carbon Budget in Integrated Aquaculture Systems with Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Amazon river prawn (*Macrobrachium amazonicum*). *Aquaculture Research*, 52(11): 5155–5167. <https://doi.org/10.1111/are.15384>
- El-Leithy, A.A.A., Hemeda, S.A., El Naby, W.S.H.A., El-Deeb, S.I., and Helmy, Z.A. 2019. Optimum salinity for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) Growth and mRNA Transcripts of Ion-Regulation, Inflammatory, Stress- and Immune-Related Genes. *Fish Physiology and Biochemistry*, 45(4): 1217–1232. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00640-7>
- Emerenciano, M.G.C., Rombenso, A.N., Vieira, F.D. N., Martins, M. A., Coman, G. J., Truong, H. H., Noble, T. H., and Simon, C. J. 2022. Intensification of penaeid Shrimp Culture: An Applied Review of Advances in Production Systems, Nutrition And Breeding. *Animals*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/ani12030236>
- FAO. 2022. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. Rome, FAO. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Feng, J., Li, F., Zhou, X., Xu, C., and Fang, F. 2016. Nutrient Removal Ability and Economical Benefit of A Rice-Fish Co-Culture System in Aquaculture Pond. *Ecological Engineering*, 9: 315–319. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.002>
- Hamsiah, Cahyono, I., Heriansah, Kantun, W., and Kabangnga, A. 2021. The Survival Rate of Biota in Integrated Multi Trophic Aquaculture (IMTA)-Paddy System. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 5(2): 127–136.
- He, J., Feng, P., Lv, C., Lv, M., Ruan, Z., Yang, H., Ma, H., and Wang, R. 2020. Effect of a Fish-Rice Co-Culture System on The Growth Performance and Muscle Quality of Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Reports*, 17: 100367. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100367>
- Heriansah, Kabangnga, A., and Nursida, N. F. 2023. *Panduan Pembuatan dan Penggunaan Wadah Apung Tanaman untuk Riset Akuakultur Multi-Trofik*. Hak Cipta, 000443037. Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia.
- Heriansah, Syamsuddin, R., Najamuddin., and Syafiuddin. 2022. Growth of *Kappaphcus alvarezii* in Vertical Method of Multi-Trophic System Based on Feeding Rate. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 26(5): 1197–1210. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2022.267643>

- Hidayati, D., Nurtjahyani, S.D., Oktafitria, D., Ashuri, N.M., and Kurniallah, W. 2019. Short Communication: Evaluation of Water Quality and Survival Rate of Red Tilapia (*Oreochromis niloticus*) by Using Rice-Fish Culture System in Quarry Land of Clay. *Biodiversitas*, 20(2): 589–594. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200240>
- Holanda, M., Ravagnan, E., Lara, G., Santana, G., Furtado, P., Cardozo, A., Wasielesky, W., and Poersch, L. H. 2023. Integrated Multitrophic Culture of Shrimp *Litopenaeus vannamei* and Tilapia *Oreochromis niloticus* in Biofloc System: A Pilot Scale Study. *Frontiers in Marine Science*, 10: 1–8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1060846>
- Ikpeme, E., Ekerette, E., Udensi, O., and Ozoje, M. 2017. Assessment of Morphological Variation in Wild and Cultured Populations of Tilapia Fish (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 13(2): 1–10. <https://doi.org/10.9734/jabb/2017/33777>
- Juárez-Rosales, J., Ponce-Palafox, J. T., Román-Gutiérrez, A.D., Otazo-Sánchez, E.M., Pulido-Flores, G., and Castillo-Vargasmachuca, S.G. 2019. Effects of White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and Tilapia Nilotica (*Oreochromis niloticus*) Var. Spring) in Monoculture and Co-Culture Systems on Water Quality Variables and Production in Brackish Low-Salinity Water Earthen Ponds During Rainy and Dry Season. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 17(3). <https://doi.org/10.5424/sjar/2019173-14938>
- Juárez-Rosales, J., Román-Gutiérrez, A.D., Otazo-Sánchez, E.M., Pulido-Flores, G., Esparza-Leal, H.M., Aragón-Noriega, E.A., and Seidavi, A. 2020. The Effect of Tilapia *Oreochromis niloticus* Addition on The Sediment of Brackish Low-Salinity Ponds to White Shrimp *Penaeus vannamei* Farming System During the Wet and Dry Season. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 48(1): 7–14. <https://doi.org/10.3856/vol48-issue1-fulltext-2365>
- Kari, Z.A., Wee, W., Abdul Hamid, N.K., Dawood, M.A.O., Azwanida Binti Zakaria, N.N., and Wei, L.S. 2022. The Roles of Polysaccharides in Tilapia Farming: A Review. *Aquaculture and Fisheries*. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2022.09.005>
- KKP. 2022. Laporan Kinerja (LKj) Ditjen Perikanan Budidaya. Kementerian Kelautan dan Perikanan RI. Jakarta.
- Knowler, D., Chopin, T., Martínez-Espifeira, R., Neori, A., Nobre, A., Noce, A., and Reid, G. 2020. The Economics of Integrated Multi-Trophic Aquaculture: Where Are We Now and Where Do We Need To Go? *Reviews in Aquaculture*, 12(3): 1579–1594. <https://doi.org/10.1111/raq.12399>
- Kwikiriza, G., Yegon, M.J., Byamugisha, N., Beingana, A., Atukwatse, F., Barekye, A., Nattabi, J.K., and Meimberg, H. 2023. Morphometric Variations of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Linnaeus, 1758) Local Strains Collected from Different Fish Farms in South Western Highland Agro-Ecological Zone (SWHAEZ), Uganda: Screening Strains for Aquaculture. *Fishes*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/fishes8040217>
- Lalramchhani, C., Paran, B.C., Shyne Anand, P.S., Ghoshal, T.K., Kumar, P., and Vijayan, K.K. 2020. Integrated Rearing System Approach in the Farming of Mud Crab, Shrimp, Fish, Oyster and Periphyton in Brackishwater Pond. *Aquaculture Research*, 51(10): 4165–4172. <https://doi.org/10.1111/are.14758>
- Lawson, T.B. 1995. *Fundamentals of Aquacultural Engineering*. Chapman and Hall Publishers.
- Li, F., Feng, J., Zhou, X., Xu, C., Haissam Jijakli, M., Zhang, W., and Fang, F. 2019. Impact of Rice-Fish/Shrimp Co-Culture on the N₂O Emission and NH₃ volatilization in Intensive Aquaculture Ponds. *Sci. of the Tot. Env.*, 655: 284–291. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.440>
- Li, T., Zhang, B., Zhu, C., Su, J., Li, J., Chen, S., and Qin, J. 2021. Effects of an Ex Situ Shrimp-Rice Aquaponic System on the Water Quality of Aquaculture Ponds in the Pearl River estuary, China. *Aquaculture*, 545: 737179. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737179>
- Lucas, J.S., Southgate, P.C., and Tucker, C.S. 2018. *Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants, 3rd Edition*. John Wiley & Sons, New York.
- Lugert, V., Thaller, G., Tetens, J., Schulz, C., and Krieter, J. 2016. A Review on Fish Growth Calculation: Multiple Functions in Fish Production and Their Specific Application. *Reviews in Aquaculture*, 8(1): 30–42. <https://doi.org/10.1111/raq.12071>
- Magbanua, T.O., and Ragaza, J.A., 2023. Growth and Whole-body Proximate Composition of *Oreochromis niloticus* Nile tilapia Fed Pea Meal: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1103263>
- Makeche, M.C., Nhiwatiwa, T., Ndebe, J., Mulavu, M., Khumalo, C.S., Simulundu, E., Changula, K., Chitanga, S., Mubemba, B., and Muleya, W. 2022. Characterisation of *Oreochromis niloticus* Fish Species of Lake Kariba, Zambia, Using Morphological, Meristic And Genetic Methods . *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 2(2): 116–129. <https://doi.org/10.1002/aff2.36>
- Mehar, M., Mekkawy, W., McDougall, C., and Benzie, J.A.H. 2023. Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Trait Preferences By Women and Men Farmers in Jessore and Mymensingh districts of Bangladesh. *Aquaculture*, 562: 738799. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738799>
- Nassar, S.A., Hassan, A.G.A., Badran, M.F., and Abdel-Rahim, M.M. 2021. Effects of Salinity Level on Growth Performance, Feed Utilization, and Chromatic Deformity Of The Hybrid Red Tilapia, *Oreochromis niloticus* X *Oreochromis mossambicus*. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 25(2): 49–61. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2021.158248>
- Nederlof, M.A.J., Verdegem, M.C.J., Smaal, A.C., and Jansen, H.M. 2021. Nutrient Retention Efficiencies in Integrated Multi-Trophic Aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 1–19. <https://doi.org/10.1111/raq.12645>
- Neto, R.M., and Ostrensky, A. 2015. Nutrient Load Estimation in the Waste of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) Reared in Cages in Tropical Climate Conditions. *Aquaculture*

- Research*, 46(6): 1309–1322. <https://doi.org/10.1111/are.12280>
- Nuryanto, N., Afifah, D.N., Sulchan, M., Martosuyono, P., Ihsani, K., and Kurniasuti, P.L. 2022. Potential of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) as an Alternative Complementary Food Ingredient for Stunting Children. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 10(A): 1170–1177. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2022.9650>
- Pantjara, B., Sarijanah, A., and Hermawan, M. 2020. Improved Pond Productivity through Integrated Cultivation of Red Tilapia (*Oreochromis niloticus*), Tiger Shrimp (*Penaeus monodon*) and Seaweed (*Gracilaria verrucosa*) in Maros, South Sulawesi, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 521(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/521/1/012001>
- Papageorgiou, N., Dimitriou, P.D., Chatzivasileiou, D., Tsapakis, M., and Karakassis, I. 2023. Can IMTA Provide Added Ecosystem Value Services in the Fish Farms of Greece? *Frontiers in Marine Science*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1083099>
- Rejeki, S., Ariyati, R.W., and Widowati, L.L. 2016. Application of Integrated Multi Tropic Aquaculture Concept in An Abraded Brackish Water Pond. *Jurnal Teknologi*, 78(4–2): 227–232. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.8213>
- Romana-Eguia, M.R.R., Rutaquio, M.P., Gutierrez, R.C., and Salayo, N.D. 2021. Assessment of Tilapia–freshwater Prawn Co-Culture Schemes in Tanks and Lake-Based Cages for Increased Farm Production. *Sustainability (Switzerland)*, 13(24): 1–17. <https://doi.org/10.3390/su132413574>
- Sri-uam, P., Donnuea, S., Powtongsook, S., and Pavasant, P. 2016. Integrated Multi-Trophic Recirculating Aquaculture System for Nile Tilapia *Sustainability*, 8(592): 1–15. <https://doi.org/10.3390/su8070592>
- Srivastava, A., Chun, S.J., Ko, S.R., Kim, J., Ahn, C.Y., and Oh, H.M. 2017. Floating Rice-Culture System for Nutrient Remediation and Feed Production in A Eutrophic Lake. *Journal of Environmental Management*, 203: 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.08.006>
- Sugiyono. 2022. *Metode Penelitian Kuantitatif* (Cetakan ke). CV Alfa Beta, Bandung.
- Thomas, M., Pasquet, A., Aubin, J., Nahon, S., and Lecocq, T. 2021. When More is More: Taking Advantage of Species Diversity to Move Towards Sustainable Aquaculture. *Biological Reviews*, 96(2): 767–784. <https://doi.org/10.1111/brv.12677>
- Weidner, J., Jensen, C.H., Giske, J., Eliassen, S., and Jørgensen, C. 2020. Hormones as Adaptive Control Systems In Juvenile Fish. *Biology Open*, 9(2). <https://doi.org/10.1242/bio.046144>
- Withyachumnarnkul, B. 2017. *Salinity Tolerance in Nile Tilapia (Oreochromis niloticus)*. Prince of Songkla University.
- Zhang, X., Zhang, Y., Zhang, Q., Liu, P., Guo, R., Jin, S., Liu, J., Chen, L., Ma, Z., and Ying, L. 2020. Evaluation and Analysis of Water Quality of Marine Aquaculture Area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4): 1–15. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041446>
- Zhao, Y., Zhang, C., Zhou, H., Song, L., Wang, J., and Zhao, J. 2020. Transcriptome Changes for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Response to Alkalinity Stress. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part D: Genomics and Proteomics*, 33: 100651. <https://doi.org/10.1016/j.cbcd.2019.100651>