

**Prosiding Seminar Nasional
Pernakan, Kelautan, dan Perikanan I (Semnas PKP I)**



“Optimalisasi Peran Sektor Peternakan, Kelautan, dan Perikanan dalam Mendukung
Kemajuan Ibu Kota Negara (IKN) Nusantara dan Menyongsong Indonesia Emas 2045”

**Pakan Maggot pada Akuakultur Multi-Trofik untuk Biomassa Hewan
Akuatik: Sebuah Eksprimen Skala Laboratorium**

(Maggot Feed in Multi-Trophic Aquaculture for Aquatic Animal Biomass: A Laboratory Scale Experiment)

Heriansah^{1*}, Frida Alifia², Arnold Kabangnga³, Sri Rukmini Kustam², Reski Wastuti Asnur²

¹Program Studi Sumber Daya Akuatik, Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa

²Program Studi Budidaya Perairan, Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa

³Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa

*Corresponding author: heriansah.itbm.bd@gmail.com

ABSTRACT

This experiment aims to evaluate the impact of different maggot feed variations on the biomass of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), freshwater mussels (*Pilsbryoconcha exilis*), and freshwater crayfish (*Cherax quadricarinatus*) cultured in a multi-trophic aquaculture system. Three types of maggot feed (live, dried, and supplemented) and a commercial feed (control), each with three replicates, were applied four times daily over a 4-week cultivation period. The initial biomasses of the three aquatic species, which were not significantly different, were randomly distributed across 12 tanks containing 50 L of water, with a stocking density of 10 individuals per tank. The results showed that the final biomass of tilapia fed live maggots, dried maggots, supplemented maggots, and commercial feed were 77.4 g, 97.4 g, 93.2 g, and 80.9g, respectively. The final biomass of mussels was 147.2 g, 144.0 g, 146.0 g, and 143.4 g, respectively, while the final biomass of freshwater crayfish was 20.1 g, 17.3 g, 19.8 g, and 17.6 g, respectively. A significant effect ($P<0.05$) of maggot feed type on the increase in biomass of the aquatic species was observed in the multi-trophic system. The findings of this experiment suggest that maggot-based feeds could contribute to waste reduction and enhanced income to sustainable aquaculture practices.

Keywords: Aquatic animals, Biomass, Maggot feed, Multi-trophic Aquaculture

ABSTRAK

Eksperimen ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi pakan maggot terhadap biomassa ikan nila (*Oreochromis niloticus*), kerang kijing (*Pilsbryoconcha exilis*), dan lobster air tawar (*Cherax quadricarinatus*) yang dipelihara melalui sistem akuakultur multi-trofik. Tiga tipe maggot (hidup, kering, dan suplementasi) dan pakan komersil (kontrol) masing-masing dengan tiga ulangan diaplikasikan 4 kali sehari selama 4 minggu pemeliharaan. Biomassa awal ketiga hewan akuatik tersebut yang tidak berbeda signifikan distribusikan secara acak ke 12 bak berisi 50 L air dengan kepadatan masing-masing 10 individu. Hasil penelitian menunjukkan biomassa akhir ikan nila pada pakan maggot hidup, maggot kering, maggot suplementasi, dan pakan komersil masing-masing 77,4 g, 97,4 g, 93,2 g, dan 80,9 g. Biomassa akhir kerang kijing masing-masing 147,2 g, 144,0 g, 146,0 g, dan 143,4 g. Sementara itu, biomassa akhir lobster air tawar masing-masing 20,1 g, 17,3 g, 19,8 g, dan 17,6 g. Ada efek signifikan ($P<0,05$) dari tipe pakan maggot terhadap peningkatan biomassa hewan akuatik pada sistem multi-trofik. Temuan eksperimen ini mengarah pada pengurangan limbah dan peningkatan pendapatan untuk praktik akuakultur yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Akuakultur multi-trofik, Biomassa, Hewan akuatik, Pakan maggot

1. Pendahuluan

Manajemen pakan merupakan faktor kunci keberhasilan akuakultur komersil karena efeknya terhadap aspek biologis, ekonomis, dan ekologi. Produksi sangat tergantung pada tingkat kelangsungan hidup dan pertumbuhan organisme kultivan dan kedua faktor biologi ini sangat dipengaruhi oleh nutrisi yang disuplai dari pakan buatan [13]. Namun, proporsi pakan buatan lebih dari 50 % dari biaya produksi yang dapat berimplikasi terhadap profitabilitas [5, 20]. Selain itu, limbah nutrisi dari pakan buatan merupakan sebuah keniscayaan [17]. Dampak ekologisnya berupa beban limbah telah banyak dipublikasikan. Nutrisi pakan dilaporkan hanya diasimiliasi oleh ikan nila 35 – 40 % N dan 28 – 31 % P, selebihnya menjadi sisa pakan dan feses yang berdampak negatif terhadap kualitas air [8, 23, 25]. Fenomena *trade-off* pemanfaatan pakan ini mendorong riset pengelolaan pakan menjadi menarik sejalan dengan paradigma akuakultur berkelanjutan [13, 16].

Kompleksitas dampak ekologi dan ekonomi penggunaan pakan buatan perlu diatasi melalui strategi menggabungkan praktik baik sistem akuakultur dengan memanfaatkan pakan alternatif yang relatif murah [14]. Beberapa tinjauan tentang praktik akuakultur berkesimpulan bahwa sistem Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) merupakan solusi untuk meminimalisir limbah pakan [6, 22]. Sistem ini mengintegrasikan beberapa spesies dengan level trofik berbeda. Limbah nutrisi yang dihasilkan dari spesies yang diberi pakan dapat dimanfaatkan oleh spesies ekstraktif nutrisi organik dan spesies ekstraktif nutrisi anorganik [19, 29]. Oleh karena itu, sistem akuakultur ini merupakan salah satu praktik baik dalam koridor akuakultur yang ramah ekologi dan berkelanjutan.

Perhatian terhadap serangga sebagai bahan pakan alternatif semakin populer dan menjadi solusi untuk sumber protein yang mahal [26]. Pakan berbasis serangga khususnya larva dari *Black Soldier Fly* (BSF) (*Hermetia illucens*) atau maggot telah dipelajari sebagai sumber protein hewani alternatif pengganti tepung ikan. Serangga ini mudah dibudidayakan dan cocok

berkembangbiak di Indonesia yang beriklim tropis [27]. Selain itu, beberapa hasil riset menunjukkan bahwa maggot memiliki kandungan protein yang tinggi, profil asam amino serupa dengan tepung ikan, dan kaya akan karbohidrat, asam lemak, vitamin, dan mineral [12, 21].

Beberapa hasil riset terkait pemanfaatan maggot sebagai pakan melaporkan bahwa kandungan nutrisi maggot sangat dipengaruhi oleh tipe atau cara pengolahannya menjadi pakan, seperti dalam bentuk segar, kering, dan suplementasi [10, 30]. Maggot juga dilaporkan menghasilkan variasi pertumbuhan kultivan berdasarkan tipe maggot [2, 18]. Selain itu, kandungan lemak dan energinya yang tinggi dapat mengurangi laju konsumsi ikan [1] sehingga menghasilkan limbah dalam bentuk sisa pakan. Beberapa riset terdahulu ini dipraktikkan pada sistem monokultur.

Eksperimen skala laboratorium ini mempraktikkan sistem IMTA yang melibatkan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) sebagai spesies yang diberi pakan, lobster air tawar (*Cherax quadricarinatus*) dan kerang air tawar (*Pilsbryconcha exilis*) sebagai spesies ekstraktif nutrisi organik, serta padi (*Oryza sativa*) sebagai spesies ekstraktif nutrisi anorganik. Khusus untuk tanaman padi, pemeliharaannya menggunakan metode apung. Beberapa tipe maggot (hidup, kering, dan bahan suplementasi) diuji sebagai pakan pada eksperimen ini. Sejauh saat ini belum tersedia informasi eksperimen yang membangun model riset seperti ini. Eksperimen ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh tipe maggot terhadap biomassa hewan akuatik yang dipelihara menggunakan sistem IMTA.

2. Metode Penelitian

2.1. Materi Penelitian

Bahan eksperimen meliputi maggot, pakan buatan, *rockwool*, air tawar, spesies akuatik (ikan nila, lobster air tawar, dan kerang air tawar), dan spesies tanaman (padi). Maggot hidup dan kering stadi pre pupa, pakan buatan (MS Preo 891), dan *rockwool* diperoleh secara komersil masing-masing dari produsen maggot (UA Makassar, Indonesia), produsen pakan (Matahari Sakti, Indonesia), dan

produsen *rockwool* (Cultilene, Indonesia). Air tawar disuplai dari sumber alami terdekat.

Benih ikan nila diperoleh dari Balai Benih Ikan (BBI) Belapunranga, Gowa. Benih lobster air tawar bersumber dari peternakan komersial LAT Manggala Makassar. Kerang air tawar dikumpulkan dari tangkapan petani di irigasi Garanta Bulukumba. Sementara itu, benih semaian padi diperoleh dari petani di Kabupaten Bone (Gambar 1).



Gambar 1. Organisme kultivan: (a) ikan nila, (b) lobster air tawar, (c) kerang air tawar, (d) padi.

Peralatan eksperimen meliputi bak plastik berukuran $50 \times 50 \times 55$ cm (Gator, Indonesia), pompa udara (Resun LP60, China), timbangan digital (WH-B28, China), netpot D10 cm (Agnis Indonesia), dan alat ukur kualitas air (5 in 1 AZ 86031, China). Sementara itu, peralatan lainnya, seperti nampan (25×25 cm) dikonstruksi dari pipa PVC 1 inci dan shelter panjang 2,5 inci didesain dari pipa PVC 2,5 yang diisi 35 sedotan plastik bubble.

2.2. Prosedur Penelitian

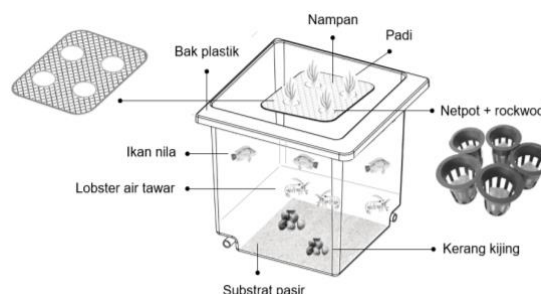
Persiapan Pemeliharaan

Benih ikan nila (bobot awal rata-rata $4,1 \pm 0,2$ g), lobster air tawar (berat awal rata-rata $1,5 \pm 0,2$ g), kerang air tawar (berat awal rata-rata individu $13,2 \pm 0,2$ g), dan semaian padi (tinggi awal rata-rata $10,3 \pm 0,2$ g) diadaptasikan terlebih dahulu selama 5 hari sebelum eksperimen. Diet maggot hidup (MH) dan maggot kering (MK) serta pellet komersil (PK) dari produsen disimpan pada tempat yang sejuk pada boks plastik sampai digunakan. Untuk diet suplemen maggot (SM) diramu mengikuti metode riset kami sebelumnya [15], yaitu maggot kering diblender lalu diayak (60 mesh) hingga berbentuk tepung. Selanjutnya 40 g tepung maggot diaduk dalam 100 mL air kemudian dicampur dengan 1 kg pellet komersil menggunakan 2 g putih telur sebagai

perekat. Pakan suplemen maggot ini kemudian dijemur dengan sinar matahari.

Pemeliharaan

Tangki plastik diisi air tawar sebanyak 50 L. Shelter ditempatkan di setiap tangki untuk tempat berlindung lobster. Selanjutnya masing-masing 10 individu ikan nila, kerang, dan lobster didistribusikan secara acak ke dalam 12 tangki. Empat rumpun padi ditempatkan di nampan menggunakan netpot dan rockwool dan selanjutnya diapungkan di permukaan tangki air. Padi ditebar setelah 7 hari penebaran hewan akuatik untuk memastikan tersedianya nutrisi terlarut. Ilustrasi desain tangki eksperimen ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi desain tangki eksperimen.

Ikan nila selama 4 minggu pemeliharaan diberikan diet perlakuan empat kali sehari (pukul 07:00, 11:00, 15:00, dan 19:00 waktu setempat) sebanyak 10 % dari bobot biomassa. Sisa pakan dan feses tidak dikeluarkan dari tangki agar dapat dimanfaatkan oleh kultivan lain dalam sistem. Aerasi dijalankan secara terus menerus untuk mensuplai oksigen. Parameter kualitas air (suhu, oksigen terlarut, pH, dan amoniak) dipantau untuk menjaga nilai yang sesuai untuk setiap organisme kultivan.

Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui penimbangan satu per satu hewan akuatik pada hari ke- 0, 7, 14, 21, dan 28 eksperimen. Penimbangan juga dimaksudkan untuk menyesuaikan jumlah pakan yang diberikan setiap minggu berdasarkan pertambahan biomassa.

2.3. Rancangan Penelitian

Empat kelompok diet eksperimen dirancang secara acak dalam rangkap tiga, yaitu diet maggot hidup (MH), maggot kering

(MK), suplemen maggot (SM), dan pellet komersil (PK) sebagai kontrol (Gambar 3).



Gambar 3. Diet perlakuan. Maggot hidup (MH), maggot kering (MK), suplemen maggot (SM), dan pakan komersil (PK).

2.4. Variabel yang Diamati

Variabel yang diamati pada eksperimen ini adalah pertambahan biomassa (PB) hewan akuatik. Formula 1 digunakan untuk menghitung variabel PB [3].

$$PB = Bt - Bo \quad (1)$$

Keterangan:

PB = Pertambahan mutlak biomassa (g)

Bo = Biomassa awal pemeliharaan (g)

Bt = Biomassa akhir pemeliharaan (g)

2.5. Analisis Data

Distribusi normal data dan homogenitas varians diverifikasi melalui Shapiro-Wilk-test dan Levene-test dan hasilnya memenuhi

asumsi statistik parametrik. ANOVA satu arah dilanjutkan dengan uji *post hoc* Tukey ($P < 0,05$) digunakan untuk menganalisis data pada eksperimen ini. Perangkat lunak SPSS yang digunakan adalah SPSS 25.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) [11].

3. Hasil dan Pembahasan

Parameter kualitas air selama eksperimen merupakan faktor awal yang penting diverifikasi terlebih dahulu sebelum menjelaskan efek perlakuan. Sistem IMTA yang dipraktikkan pada eksperimen ini nampaknya berperan dalam menghasilkan kondisi kualitas air yang optimal melalui kemampuan setiap spesies ekstraktif untuk menyerap limbah. Selain itu, wadah terapung tanaman padi dapat mengurangi paparan panas di kolom air serta aerasi yang terus menerus dan kemampuan fotosintesis padi dapat menyediakan oksigen. Penjelasan ini terkonfirmasi dari hasil pengukuran suhu, oksigen terlarut, pH, dan amoniak selama eksperimen yang menunjukkan hasil yang relatif sama di setiap perlakuan dan berada pada kisaran yang optimal untuk kehidupan setiap hewan akuatik [4, 9] (Tabel 1). Dengan demikian, wajar untuk disebutkan bahwa variasi biomassa hewan akuatik pada eksperimen ini terutama dipengaruhi oleh diet perlakuan yang diberikan.

Tabel 1. Nilai pengukuran parameter kualitas air setiap diet perlakuan selama pemeliharaan

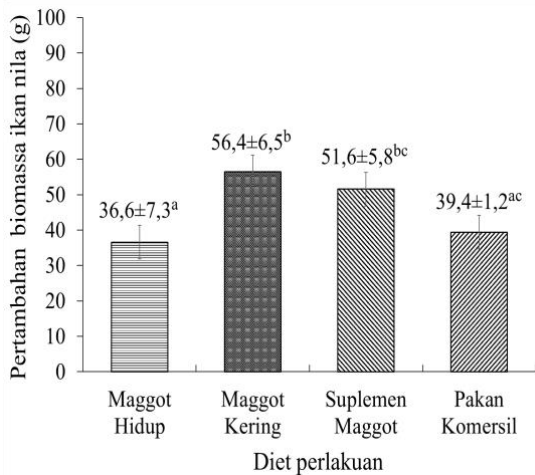
Parameter	Diet perlakuan			
	Maggot hidup	Maggot kering	Suplemen maggot	Pakan komersil
Suhu (°C)	25,2–27,8	25,4–27,6	25,2–27,9	25,4–27,8
Oksigen terlarut (mg/L)	5,3–7,1	5,4–7,0	5,4–7,1	5,4–6,9
pH	6,4–7,0	6,5–7,0	6,4–7,0	6,5–6,9
Amoniak (mg/L)	0,01–0,13	0,01–0,19	0,01–0,12	0,01–0,13

Sumber: Data promer hasil penelitian (2024).

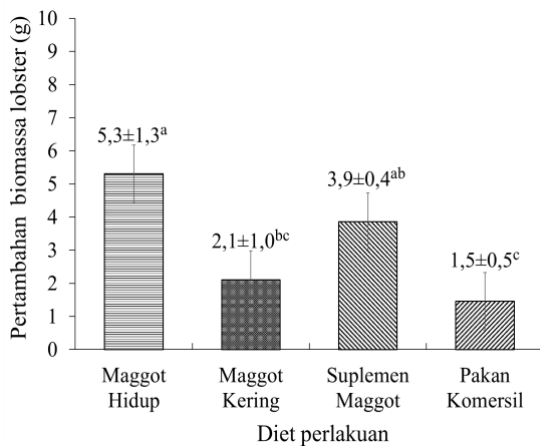
Biomassa yang tinggi sebagai representasi dari bobot dan jumlah kultivan merupakan target akhir usaha akuakultur karena menentukan volume produksi. Sistem IMTA pada eksperimen ini mengintegrasikan tiga hewan akuatik (ikan nila, kerang, dan lobster) dan tanaman padi. Biomassa hewan akuatik selama empat minggu pemeliharaan menunjukkan pertambahan berdasarkan diet perlakuan (Gambar 4, 5, dan 6). Secara umum, tipe diet pakan yang berbasis maggot diterima dengan baik oleh ikan nila dan lobster air tawar

sebagai spesies omnivora [7, 28]. Demikian pula dengan kerang, sebagai spesies yang bersifat *filter feeder*, dapat menyaring partikel yang tersuspensi, termasuk maggot [24].

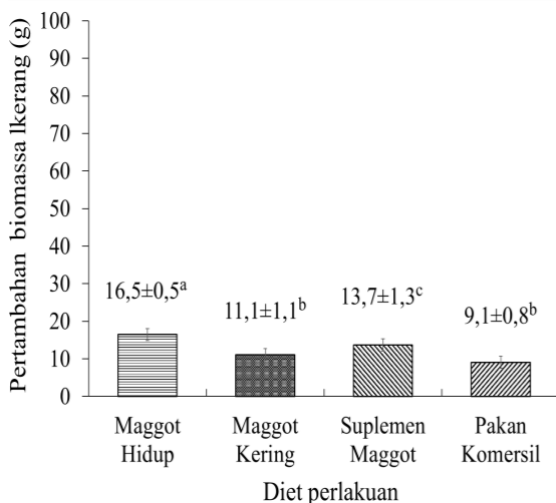
Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa diet perlakuan berpengaruh signifikan ($P < 0,05$) terhadap biomassa ketiga hewan akuatik. Hasil uji tukey mengindikasikan bahwa perbedaan biomassa bervariasi berdasarkan spesies dan karakteristik diet perlakuan. Hasil yang bervariasi tersebut adalah temuan penting pada eksperimen ini.



Gambar 4. Pertambahan biomassa ikan nila. Superskrip yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$).



Gambar 5. Pertambahan biomassa lobster. Superskrip yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$).



Gambar 6. Pertambahan biomassa kerang. Superskrip yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$).

Protein merupakan nutrisi penting untuk biomassa organisme kultivan [8]. Publikasi kami sebelumnya melaporkan bahwa kandungan protein maggot hidup 33,6 %, maggot kering 31,2 %, suplemen maggot 14,9 %, dan pakan komersil 13,2 % yang berbeda signifikan diantara diet perlakuan. Hasil uji proksimat ini membuktikan bahwa kandungan protein maggot dipengaruhi oleh cara pengolahannya [10, 30].

Meskipun kandungan protein sangat mempengaruhi biomassa organisme kultivan, kinerjanya juga tergantung dari karakteristik pakan. Pengamatan untuk setiap diet perlakuan menunjukkan bahwa diet maggot kering dan suplemen maggot serta pakan komersil cenderung lama dipermukaan air sehingga memudahkan ikan nila sebagai pemakan permukaan untuk mengkonsumsinya. Sementara itu, untuk maggot hidup cenderung bergerak di air kemudian mati dan tenggelam di dasar. Ikan nila diamati sering membiarkan maggot hidup bergerak dan tenggelam. Saat maggot hidup tenggelam, maka kerang melalui mekanisme filtrasi mengkonsumsi maggot di kolom air, sedangkan maggot yang di dasar dikonsumsi oleh lobster sebagai spesies pemakan di dasar. Penjelasan ini mungkin relevan dengan kinerja biomassa hewan akuatik setiap diet perlakuan dalam eksperimen ini.

Hasil eksperimen ini memberikan pengetahuan penting bahwa menggabungkan pakan alternatif (maggot) dengan sistem IMTA memiliki beberapa atribut yang menguntungkan. Misalnya, untuk menyediakan diet maggot yang mengandung protein yang relatif tinggi tidak memerlukan biaya yang tinggi. Selain itu, terdapat sinergitas yang positif antar kultivan dalam hal pemanfaatan limbah dan manajemen kualitas air. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa peningkatan jumlah spesies dengan trofik yang berbeda dapat meningkatkan produktivitas dan stabilitas ekosistem [22]. Lebih dari itu, memelihara organisme multi spesies pada waktu dan tempat yang sama mengarah pada peningkatan hasil panen. Oleh karena itu, hasil eksperimen ini dapat menjadi informasi awal untuk mengatasi kompleksitas yang terkait dengan penggunaan pakan buatan untuk akuakultur berkelanjutan. Demikian pula dapat memberikan solusi terhadap

mahalnya harga pakan yang menjadi permasalahan klasik para pembudidaya selama ini.

4. Kesimpulan

Eksperimen laboratorium ini memberikan wawasan yang penting terkait pemanfaatan pakan berbasis maggot pada sistem akuakultur terintegrasi. Penggunaan pakan berbasis maggot melalui sistem IMTA berpotensi meningkatkan biomassa, menurunkan biaya produksi, dan meminimalkan dampak limbah pakan. Penelitian lebih lanjut, termasuk eksperimen lapangan, diperlukan untuk mendukung hasil eksperimen laboratorium ini.

5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Institut Akuakultur Moncongloe yang telah menyediakan fasilitas eksperimen. Kami juga menyampaikan terima kasih kepada Panitia Seminar Nasional Peternakan, Kelautan, dan Perikanan I Universitas Sulawesi Barat serta seluruh pihak yang telah berkontribusi pada penyusunan dan publikasi artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] Ahmad, I., Ullah, M., Alkafafy, M., Ahmed, N., Mahmoud, S.F., Sohail, K., Ullah, H., Ghoneem, W.M., Ahmed, M.M. dan Sayed, S. 2022. Identification of the economics, composition, and supplementation of maggot meal in broiler production. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 29, 6 (2022), 103277. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.03.027>.
- [2] Alofa, C.S., Olodo, I.Y., Chabi Kpéra Orou Nari, M. dan Abou, Y. 2023. Effects of the fresh and dried housefly (*Musca domestica*) larvae in the diets of nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758): growth, feed utilization efficiency, body composition and biological indices. *Aquatic Research*. 6, 1 (2023), 1–10. DOI: <https://doi.org/10.3153/ar23001>.
- [3] Anand, S.P.S., Balasubramanian, C.P., Lalramchhani, C., Panigrahi, A., Gopal, C., Ghoshal, T.K. dan Vijayan, K.K. 2018. Comparison of mudcrab-based brackishwater polyculture systems with different finfish species combinations in Sundarban, India. *Aquaculture Research*. 49, 9 (2018), 2965–2976. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.13755>.
- [4] Azhar, M.H., Suciyo, S., Budi, D.S., Ulkhaq, M.F., Anugrahwati, M. dan Ekasari, J. 2020. Biofloc-based co-culture systems of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) with different carbon–nitrogen ratios. *Aquaculture International*. 28, 3 (2020), 1293–1304. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00526-z>.
- [5] Braga, A., Magalhães, V., Hanson, T., Morris, T.C. dan Samocha, T.M. 2016. The effects of feeding commercial feed formulated for semi-intensive systems on *Litopenaeus vannamei* production and its profitability in a hyper-intensive biofloc-dominated system. *Aquaculture Reports*. 3, (2016), 172–177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2016.03.002>.
- [6] Campanati, C., Willer, D., Schubert, J. dan 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 (2022), 143–169. DOI: <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1897520>.
- [7] Chivambo, S., Mussagy, A. dan Barki, A. 2020. Assessment of interspecific interactions between the invasive red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) and the mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Brazilian Journal of Biology*. 80, 4 (2020), 717–726. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.217868>.
- [8] Craig, S. dan Helfrich, L. a. 2002. Understanding fish nutrition, feeds, and feeding. *Virginia Cooperative Extension*. (2002), 1–18.
- [9] Darmawan, M.F., Rahayu, S.Y.S. dan

- Sudrajat, C. 2020. Pemanfaatan kijang lokal (*Pilsbryoconcha exilis*) sebagai biofiltrasi logam Arsen (As). *Ekologia*. 20, 2 (2020), 58–63. DOI: <https://doi.org/10.33751/ekologia.v20i2.2174>.
- [10] Devic, E., Leschen, W., Murray, F. dan Little, D.C. 2018. Growth performance, feed utilization and body composition of advanced nursing Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal. *Aquaculture Nutrition*. 24, 1 (2018), 416–423. DOI: <https://doi.org/10.1111/anu.12573>.
- [11] Gaspersz, V. 1991. *Metode Perancangan Percobaan*. Armico.
- [12] Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G. dan Fountoulaki, E. 2015. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology*. 203, 1 (2015), 1–22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>.
- [13] Heriansah, Cahyono, I. dan Hamsiah 2023. The combination of aquatic species in integrated multi-trophic aquaculture with paddy in brackish Water: An investigation of feed utilization performance. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*. 25, 2 (2023), 143–149. DOI: <https://doi.org/10.22146/jfs.83347>.
- [14] Heriansah, Fathuddin, Nursidi dan Alfariydy, M.I. 2024. Enhanced growth potential of tilapia (*Oreochromis niloticus*) through maggot-based feeding in multi-trophic systems. *Journal of Aquaculture and Fish Health*. 13, 3 (2024), 375–387. DOI: <https://doi.org/10.20473/jafh.v13i3.51287>.
- [15] Heriansah, Nursyahrani, Nursidi, N., Nursida, N.F. dan Najamuddin 2021. Practical application of sea urchin shell flour supplementation as a stimulant moulting in vannamei shrimp. *Depik*. 10, 2 (2021), 107–114. DOI: <https://doi.org/10.13170/depik.10.2.19456>.
- [16] Heriansah, Syamsuddin, R., Najamuddin dan Syafiuddin 2022. Effect of feeding rate on growth and feed conversion ratio in the cultivation recirculation systems of multi trophic model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (2022), 012066.
- [17] Heriansah, Syamsuddin, R., Najamuddin dan Syafiuddin 2022. Growth of *Kappaphycus alvarezii* in vertical method of multi-trophic system based on feeding rate. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*. 26, 5 (2022), 1197–1210. DOI: <https://doi.org/10.21608/ejabf.2022.267643>.
- [18] Indriawati, V., Rahardja, B.S. dan Prayogo 2021. The effectiveness combination of maggot (*Hermetia illucens*) flour with commercial feed on growth rate, feed conversion ratio, and feed efficiency of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 679, 1 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/679/1/012054>.
- [19] Knowler, D., Chopin, T., Martínez-Espínheira, R., Neori, A., Nobre, A., Noce, A. dan 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 (2020), 1579–1594. DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12399>.
- [20] Macusi, E.D., Cayacay, M.A., Borazon, E.Q., Sales, A.C., Habib, A., Fadli, N. dan Santos, M.D. 2023. Protein fishmeal replacement in aquaculture: A systematic review and implications on growth and adoption viability. *Sustainability (Switzerland)*. 15, 16 (2023), 12500. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151612500>.
- [21] Mangindaan, D., Kaburuan, E.R. dan Meindrawan, B. 2022. Black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) for biodiesel and/or animal feed as a solution for waste-food-energy nexus: Bibliometric analysis. *Sustainability (Switzerland)*. 14, 21 (2022), 13993. DOI: <https://doi.org/10.3390/su142113993>.

- [22] Nederlof, M.A.J., Verdegem, M.C.J., Smaal, A.C. dan Jansen, H.M. 2022. Nutrient retention efficiencies in integrated multi-trophic aquaculture. *Reviews in Aquaculture*. 14, 3 (2022), 1194–1212. DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12645>.
- [23] Neto, R.M. dan 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 (2015), 1309–1322. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.12280>.
- [24] Putra, S., Arianto, A., Efendi, E., Hasani, Q. dan Yulianto, H. 2016. Efektifitas kijing air tawar (*Pilsbryoconcha exilis*) sebagai biofilter dalam sistem resirkulasi terhadap laju penyerapan amoniak dan pertumbuhan ikan lele sangkuriang (*Clarias gariepinus*). *e-Jurnal Rekayasa dan Teknologi Budidaya Perairan*. 4, 2 (2016), 497–506.
- [25] Sri-uam, P., Donnuea, S., Powtongsook, S. dan Pavasant, P. 2016. Integrated multi-trophic recirculating aquaculture system for nile tilapia (*Oreochlomis niloticus*). *Sustainability (Switzerland)*. 8, 7 (2016), 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8070592>.
- [26] Wang, Y.S. dan Shelomi, M. 2017. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*. 6, 10 (2017), 1–23. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods6100091>.
- [27] Wardhana, A.H. 2017. Black soldierfly (*Hermetia illucens*) as an alternative protein source for animal feed. *Indonesian Bulletin of Animal and Veterinary Sciences*. 26, 2 (2017), 069–078. DOI: <https://doi.org/10.14334/wartazoa.v26i2.1327>.
- [28] Wuertz, S., Pahl, C.H. dan Kloas, W. 2022. Influence of substrates on the quality of hermetia meal for fish meal substitution in nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Water (Switzerland)*. 14, 19 (2022), 1–11. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14192953>.
- [29] Zhang, J., Zhang, S., Kitazawa, D., Zhou, J., Park, S., Gao, S. dan Shen, Y. 2019. Bio-mitigation based on integrated multi-trophic aquaculture in temperate coastal waters: Practice, assessment, and challenges. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 47, 2 (2019), 212–223. DOI: <https://doi.org/10.3856/vol47-issue2-fulltext-1>.
- [30] Zulkifli, N.F.N.M., Seok-Kian, A.Y., Seng, L.L., Mustafa, S., Kim, Y.S. dan Shapawi, R. 2022. Nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae processed by different methods. *PLoS ONE*. 17, 2 February (2022), 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263924>.