

**PERFORMA PERTUMBUHAN UDANG WINDU (*Penaeus monodon*)  
SISTEM KO-KULTUR HEWAN AKUATIK DAN PADI DI AIR PAYAU  
THE GROWTH PERFORMANCE OF TIGER SHRIMP (*Penaeus monodon*)  
CO-CULTURE SYSTEMS OF AQUATIC ANIMALS AND PADDY IN BRACKISH WATER**

Frida Alifia<sup>1</sup>, Heriansah<sup>1\*</sup>, Arnold Kabangnga<sup>1</sup>, Selvianita<sup>2</sup>, Reski Wastuti Asnur<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa, Makassar, Indonesia

<sup>2</sup>Mahasiswa Peserta MBKM Riset Keilmuan, Program Studi Budidaya Perairan,  
Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa, Makassar, Indonesia

\*Corresponden author email: heriansah.itbm.bd@gmail.com

Submitted: 26 June 2023 / Revised: 24 October 2023 / Accepted: 02 November 2023

<http://doi.org/10.21107/juvenil.v4i4.20844>

**ABSTRAK**

Sistem ko-kultur yang menggabungkan hewan akuatik dengan tanaman padi selama ini lebih banyak dipraktekkan di air tawar. Eksprimen empat sistem budidaya (monokultur, polikultur, IMTA-non padi, dan IMTA-padi) di air payau dengan tiga ulangan telah diteliti untuk mengevaluasi Laju Pertumbuhan Spesifik (LPS) dan Pertumbuhan Karakteristik Morfometrik (PKM) udang windu. Sebanyak 20 ekor udang windu dikombinasikan dengan ikan nila dan kerang darah masing-masing 20 ekor dan 10 ekor teripang pasir. Sementara itu, 4 rumpun padi salin diapungkan pada bak pemeliharaan dengan menggunakan nampan. Selama 4 minggu, LPS udang windu relatif bervariasi diantara sistem monokultur, polikultur, IMTA-non Padi, dan IMTA-Padi, masing-masing  $2,6 \pm 0,1\%$  per hari,  $3,0 \pm 0,3\%$  per hari,  $2,9 \pm 0,1\%$  per hari, dan  $3,3\%$  per hari. Pola yang sama diperoleh untuk PKM (panjang total, panjang kepala, panjang badan, dan panjang karapaks). Analisis ragam menunjukkan bahwa sistem budidaya mempengaruhi secara signifikan LPS dan PKM udang windu ( $p < 0,05$ ). Uji HSD Tukey mengindikasikan bahwa LPS dan PKM tertinggi pada sistem IMTA-Padi secara signifikan ( $p < 0,05$ ) lebih tinggi dibandingkan sistem monokultur, polikultur, dan IMTA-non padi. Namun, pada ketiga sistem budidaya ini tidak mengindikasikan perbedaan yang signifikan ( $p > 0,05$ ). Hasil penelitian skala laboratorium ini memberikan informasi penting potensi pengembangan budidaya udang windu berkelanjutan melalui sistem IMTA-padi di air payau.

**Kata Kunci:** air payau, ko-kultur, pertumbuhan, udang windu

**ABSTRACT**

The co-culture systems that combine aquatic animals with paddy have been practiced more in fresh water. Four experimental culture systems (monoculture, polyculture, IMTA-non paddy, and IMTA-paddy) in brackish water with three replications were conducted to evaluate the Specific Growth Rate (SGR) and Growth Morphometric Characteristics (GMC) of tiger shrimp. A total of 20 tiger prawns were combined with 20 tilapia and blood clams and 10 individuals of sea cucumbers. Meanwhile, four clumps of saline paddy were floated in rearing tanks using trays. During the four weeks, SGR of tiger prawns varied relatively between monoculture, polyculture, IMTA-non paddy, and IMTA-paddy systems, respectively  $2.6 \pm 0.1\% \text{ day}^{-1}$ ,  $3.0 \pm 0.3\% \text{ day}^{-1}$ ,  $2.9 \pm 0.1\% \text{ day}^{-1}$ , and  $3.3\% \text{ day}^{-1}$ . The same pattern was obtained for GMC (total length, head length, body length, and carapace length). Analysis of variance showed that the aquaculture system significantly affected to SGR and GMC values ( $p < 0.05$ ). Tukey's HSD test indicated that the highest SGR and GMC values were significantly ( $p < 0.05$ ) higher in the IMTA-Paddy system than in the monoculture, polyculture, and IMTA-non paddy systems. However, three cultivation systems did not indicate significant differences ( $p > 0.05$ ). The results of this laboratory scale research provide important information on the potential for developing sustainable tiger prawns cultivation through the IMTA-paddy system in brackish water.

**Keywords:** brackish water, co-culture, growth, tiger prawns

## PENDAHULUAN

Terlepas dari histori menurunnya produksi karena berbagai penyakit (Rahi *et al.*, 2022), udang windu (*Penaeus monodon*) memiliki atribut biologis dan ekonomis yang menguntungkan, antara lain pertumbuhannya relatif cepat, toleransi luas terhadap salinitas, dan permintaan pasar yang tinggi (Mustafa *et al.*, 2021). Oleh karena itu, udang penaeid ini masih menjadi salah satu spesies target untuk dibudidayakan oleh petambak di air payau. Selain itu, udang windu memiliki rasa gurih dan kandungan gizi yang tinggi sehingga banyak dikonsumsi oleh masyarakat (Chodriyah & Faizah, 2018). Udang windu saat ini menempati urutan kedua terbesar spesies krustasea yang diproduksi secara global (Rahi *et al.*, 2022) sehingga berpotensi besar menyediakan pasokan pangan bagi penduduk dunia yang diperkirakan mencapai 9 miliar pada tahun 2050 (FAO, 2022). Produsen utama dari 83,4% produksi udang dunia adalah negara-negara di Asia Timur dan Tenggara (Emerenciano *et al.*, 2022), termasuk Indonesia (Supriatna *et al.*, 2019).

Pada perspektif produksi, selain manfaat ekonomis, aspek ekologis juga harus dipertimbangkan pada kegiatan budidaya karena telah menjadi isu penting dalam diskusi budidaya berkelanjutan (Jumiati *et al.*, 2023). Buangan limbah hasil budidaya, terutama sistem monokultur intensif telah terbukti mengancam ekosistem perairan (Thomas *et al.*, 2021). Pakan merupakan sumber dan pemicu utama limbah organik dan anorganik yang dapat mengganggu kualitas air (Bouwman *et al.*, 2013). Limbah buangan budidaya dapat berupa limbah padat (organik), seperti sisa pakan dan feses yang tersuspensi di-kolom air maupun mengendap di-dasar perairan dan berupa limbah terlarut (anorganik) dari hasil metabolisme dan sisa pakan yang terurai (Dauda *et al.*, 2019). Limbah-limbah ini diketahui menjadi penyebab tambak yang awalnya produktif tetapi akhirnya menjadi tidak produktif (Pantjara *et al.*, 2015).

Beberapa studi telah mengkuantifikasi buangan limbah dari praktik budidaya monokultur. Sahu *et al.* (2013) melaporkan 49,1% Nitrogen (N) dan 64,1% Posfor (P) input nutrisi dari pakan terbuang di sedimen dan 7,5%N dan 2,9%P tercatat di air buangan budidaya udang windu di tambak. Untuk organisme ikan, Neto & Ostrensky (2015) menyebutkan bahwa ikan nila hanya mengasimilasi 35%N dan 28%P dari pakan yang diberikan, sisanya dilepaskan sebagai feses, urine, dan sisa pakan. Bouwman *et al.* (2013) melaporkan buangan

nutrien N dan P pada budidaya sistem monokultur, yaitu 20%N dan 72%P menjadi limbah padat serta 45%N dan 18% P menjadi limbah terlarut pada budidaya udang dan 10%N dan 40%P menjadi limbah padat serta 54%N dan 27%P menjadi limbah terlarut pada budidaya ikan. Buangan limbah ini dapat menurunkan kualitas air (Dauda *et al.*, 2019; Heriansah *et al.*, 2022) serta pemborosan input pakan yang harganya mahal (Emerenciano *et al.*, 2022). Azizah *et al.* (2018) menambahkan bahwa budidaya udang windu sistem monokultur dan polikultur dapat memicu timbulnya akumulasi bahan organik dan anorganik berbahaya yang dapat mengancam keberlanjutan budidaya.

Saat ini sistem budidaya ko-kultur dinilai dapat mengatasi keterbatasan sistem monokultur (Campanati *et al.*, 2022; Thomas *et al.*, 2021). Sistem ko-kultur pada prinsipnya adalah sistem yang membudidayakan dua atau lebih organisme kultivan. Sistem ini dapat diklasifikasikan menjadi dua sistem budidaya, yaitu sistem polikultur dan sistem budidaya multitrofik terintegrasi atau *Integrated Multi Trophic Aquaculture (IMTA)*. Sistem IMTA merupakan pengembangan dari sistem polikultur (Astriana, 2015), namun keduanya relatif berbeda. Sistem polikultur membudidayakan dua atau lebih spesies tanpa memperhatikan kegunaan spesies dalam ekosistem (Biswas *et al.*, 2019), sedangkan sistem IMTA terdiri atas beberapa spesies dengan level trofik yang berbeda (Zhang *et al.*, 2019). Prinsip pada sistem IMTA adalah mengintegrasikan beberapa spesies dengan tingkat trofik berbeda, seperti spesies yang diberi pakan (udang atau ikan), spesies ekstraktif partikel organik (teripang, kerang, landak laut), dan spesies ekstraktif anorganik (rumput laut dan tanaman lainnya) untuk memanfaatkan limbah nutrisi berdasarkan level trofiknya (Knowler *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2019). Ko-kultur ikan atau udang yang dikombinasikan dengan spesies trofik rendah memiliki potensi untuk memanfaatkan lepasan limbah budidaya (Emerenciano *et al.*, 2022).

Udang windu (*P. monodon*) pada penelitian ini dibudidayakan dengan variasi sistem budidaya yang dikombinasikan dengan ikan nila (*Oreochromis niloticus*), teripang pasir (*Holothuria scabra*), kerang darah (*Tegillarca granosa*), dan padi (*Oryza sativa*). Kelima spesies lokal ini diketahui dapat dibudidayakan secara monokultur, polikultur, dan multitrofik. Namun, masih sangat terbatas informasi ilmiah yang mengkombinasikan hewan akuatik dan padi pada beberapa sistem budidaya. Sejauh

ini hanya diperoleh dari studi Hamsiah *et al.* (2021) yang berfokus pada sintasan hewan akuatik. Kemungkinan budidaya padi di air payau saat ini telah didukung oleh tersedianya varietas padi yang toleran salinitas (Jamil *et al.*, 2016) sehingga membuka kelayakan untuk diintegrasikan dengan hewan akuatik di air payau. Selain itu, padi sebagai spesies ekstraktif anorganik pada penelitian ini dipelihara di air payau dengan metode apung (*floating bed*) yang masih sangat langka diselidiki. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kombinasi spesies pada sistem budidaya ko-kultur terhadap performa pertumbuhan udang windu sebagai spesies

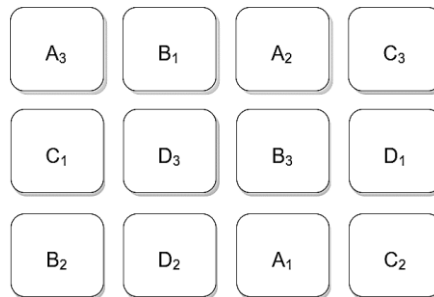
target. Hasil studi dapat memberikan informasi sistem akuakultur udang windu yang produktif dan berkelanjutan di air payau.

### MATERI DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Institut Akuakultur Moncongloe Maros, Sulawesi Selatan pada bulan Juli sampai September 2022. Penelitian didesain menggunakan 4 perlakuan dan 3 ulangan (**Tabel 1** dan **Gambar 1**). Wadah plastik ukuran 50x50x55 cm digunakan untuk hewan akuatik dan nampan ukuran 25x25 cm digunakan untuk padi (Heriansah *et al.*, 2023) (**Gambar 2**).

**Tabel 1.** Perlakuan penelitian

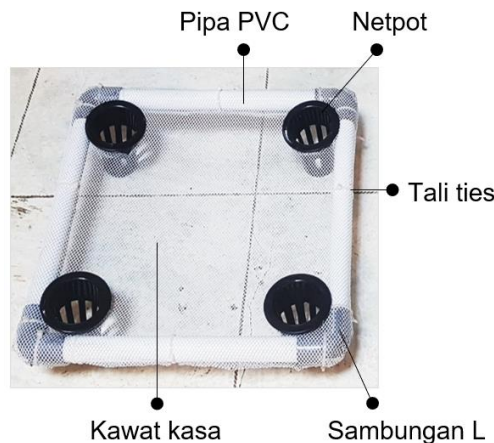
Perlakuan	Sistem Budidaya (Spesies)
A	Monokultur (udang windu)
B	Polikultur (udang windu, padi)
C	IMTA-non padi (udang windu, ikan nila, kerang darah, teripang pasir)
D	IMTA-padi (udang windu, ikan nila, kerang darah, teripang pasir, padi)



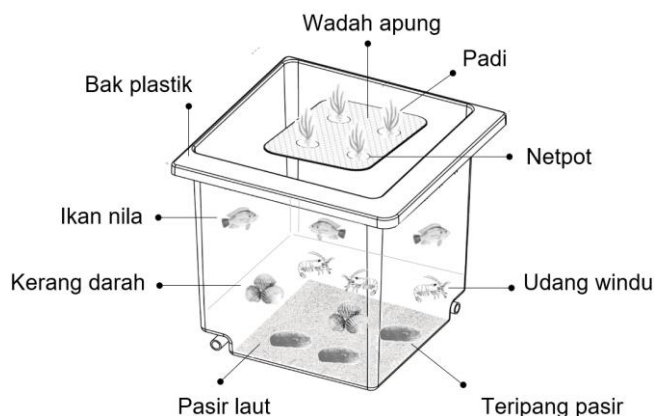
**Gambar 1.** Tata letak unit percobaan

Wadah pemeliharaan sebelum diisi 90 L air payau, terlebih dahulu ditambahkan pasir laut sebagai substrat kerang darah dan teripang pasir. Udang windu, ikan nila, dan kerang darah ditebar masing-masing 20 ekor per wadah, sedangkan teripang pasir 10 individu per wadah. Empat rumpun padi (3 batang setiap

rumpun) dimasukkan ke dalam netpot dengan media tanam serabut kelapa. Tanaman padi diapungkan menggunakan nampan dan ditebar setelah 7 hari pemeliharaan hewan akuatik. Ilustrasi wadah pemeliharaan ditunjukkan pada **Gambar 3**.



**Gambar 2.** Wadah apung padi (nampan)



**Gambar 3.** Ilustrasi wadah penelitian

Udang windu berbobot awal  $2,5 \pm 0,2$  g diperoleh dari unit penggelondongan di Ma'rang Kabupaten Pangkep. Ikan nila salin berukuran  $2,1 \pm 0,1$  g diperoleh dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Takalar. Teripang pasir dan kerang darah berbobot awal  $12,3 \pm 0,3$  g dan  $22,6 \pm 0,2$  g diperoleh dari tangkapan alami nelayan di Desa Laikang Kabupaten Takalar. Keempat hewan akuatik ini diaklimatisasi secara bertahap selama 20 hari. Sementara itu, padi varietas salin diperoleh secara komersial yang disemai sampai ketinggian  $15,1 \pm 0,2$  cm.

Selama 4 minggu pemeliharaan dilakukan pemberian pakan komersial (protein 40%, lemak 5%, serat kasar 3%) sebanyak 4 kali sehari (pukul 07.00, 11.00, 15.00 dan 19.00) dengan *feeding rate* 10%. Aerasi melalui blower Resun LP60 dijalankan secara terus menerus selama pemeliharaan. Pergantian air tidak dilakukan, namun volumenya dipertahankan melalui penambahan air. Data bobot dan morfometrik udang windu dikumpulkan melalui penimbangan dan pengukuran setiap interval 7 hari. Penimbangan bobot (sampel total) menggunakan timbangan digital WH-28 ketelitian 0,1 g. Pengukuran morfometrik (sampel 30% dari populasi) (Sugiyono, 2014) menggunakan jangka sorong 150 mm.

Variabel pertumbuhan pada penelitian ini adalah Laju Pertumbuhan Spesifik (LPS) dan Pertambahan Karakteristik Morfometrik (PKM).

LPS dihitung mengacu pada rumus (Effendie, 2012):

$$LPS = \frac{\ln W_t - \ln W_0}{t} \times 100\%$$

Keterangan: LPS adalah laju pertumbuhan spesifik (% per hari),  $W_t$  adalah berat-rata udang di akhir penelitian (g),  $W_0$  adalah berat rata-rata udang di awal penelitian (g).

Karakteristik morfometrik (panjang total, panjang kepala, panjang badan, dan panjang karapaks) diukur dengan mengacu pada Muryanto *et al.* (2015) (**Gambar 4**). PKM dihitung dengan memodifikasi rumus (Effendie, 2012):

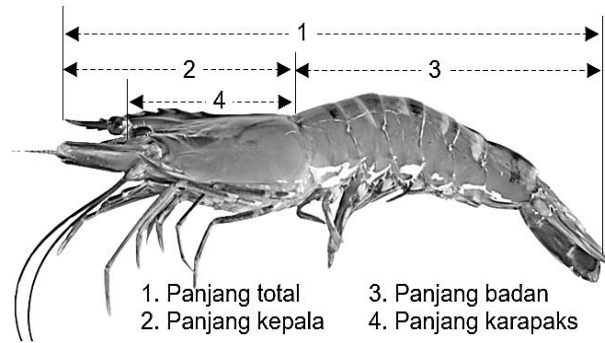
$$PKM = PK_t - PK_0 \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan: PKM adalah pertambahan karakteristik morfometrik (cm),  $PK_t$  adalah ukuran morfometrik di akhir penelitian (cm),  $PK_0$  adalah ukuran morfometrik di awal penelitian (cm).

Kualitas air juga diukur pada penelitian ini dengan parameter dan waktu pengukuran ditunjukkan pada **Tabel 2**. Salinitas, suhu, oksigen terlarut, dan pH, diukur menggunakan Water Quality Meter 5 in 1 AZ 86031 dan amoniak dianalisis di Laboratorium Kualitas Air Politeknik Pertanian Negeri Pangkep.

**Tabel 2.** Parameter dan waktu pengukuran kualitas air

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



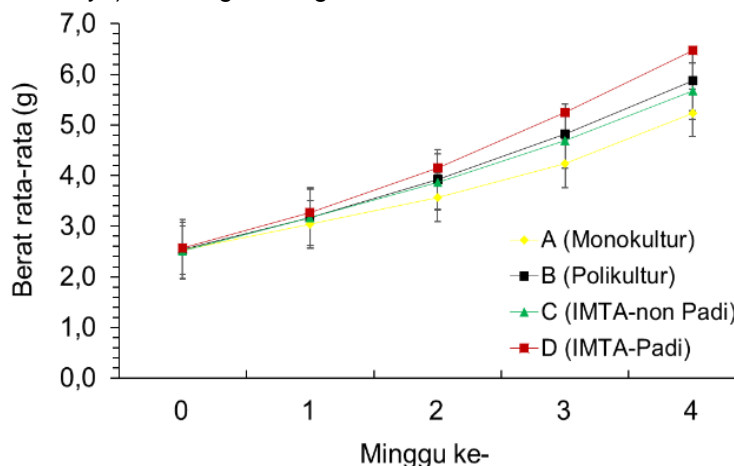
Gambar 4. Pengukuran morfometrik

Analisis ragam (tingkat signifikansi 95%) digunakan untuk mengevaluasi pengaruh sistem budidaya terhadap pertumbuhan udang windu. Variabel yang berpengaruh signifikan dibandingkan antar perlakuan dengan uji HSD Tukey. Uji statistik ini menggunakan IBM SPSS Statistik 25. Kualitas air dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan kisaran optimal udang windu berdasarkan referensi.

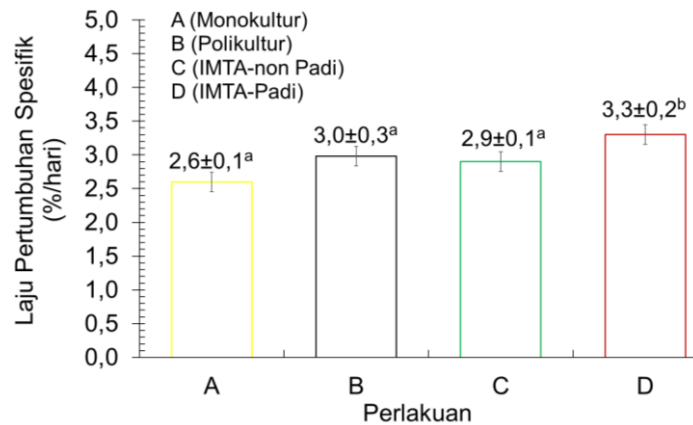
#### HASIL DAN PEMBAHASAN Pertumbuhan

Pertumbuhan yang meningkat merupakan salah satu target utama kegiatan budidaya karena berkorelasi langsung dengan kinerja produksi yang dicapai. Pada penelitian ini, udang windu awalnya dipelihara dengan bobot rata-rata  $2,54 \pm 0,08$  g yang tidak berbeda secara signifikan pada setiap perlakuan. Namun, setelah pemeliharaan selama 4 minggu pada skala laboratorium, diperoleh bobot akhir yang bervariasi pada setiap perlakuan (sistem budidaya), masing-masing

$5,24 \pm 0,11$  g (perlakuan A),  $5,88 \pm 0,63$  g (perlakuan B),  $5,67 \pm 0,09$  g (perlakuan C), dan  $6,47 \pm 0,16$  g (perlakuan D). Gambar 5 menunjukkan bahwa bobot udang windu, baik pada sistem monokultur, polikultur, IMTA-non padi, maupun IMTA-padi meningkat seiring dengan waktu pemeliharaan. Mengacu pada konsep penggunaan energi bahwa energi untuk pertumbuhan tersedia jika alokasi untuk kebutuhan basal telah terpenuhi (Weidner et al., 2020). Pertumbuhan yang meningkat di setiap perlakuan pada penelitian ini dapat dikaitkan dengan konsep penggunaan energi tersebut. Pada semua perlakuan, energi dari pakan yang diberikan dengan kandungan protein 40% dan frekuensi pemberian 4 kali sehari sebanyak 10% dari biomassa nampaknya melebihi dari cukup untuk kebutuhan metabolisme dasar udang windu. Hal ini menunjukkan bahwa tersedia energi untuk kebutuhan pertumbuhan yang dibuktikan dengan bertambahnya bobot udang windu setiap minggu pada setiap perlakuan.



Gambar 5. Bobot mingguan udang windu



**Gambar 6.** Laju pertumbuhan spesifik udang windu

**Gambar 6** menyajikan nilai LPS udang windu relatif bervariasi pada setiap sistem budidaya yang diamati, baik sistem monokultur, polikultur, IMTA-non padi, maupun IMTA-padi. Analisis ragam menunjukkan bahwa sistem budidaya mempengaruhi secara signifikan ( $p < 0,05$ ) LPS udang windu. Uji HSD Tukey selanjutnya mengindikasikan bahwa LPS tertinggi yang dihasilkan pada sistem IMTA-padi secara signifikan ( $p < 0,05$ ) lebih tinggi dibandingkan sistem monokultur, polikultur, dan IMTA-non padi. Namun, pada ketiga sistem budidaya tersebut (monokultur, polikultur, dan IMTA-non padi) tidak mengindikasikan perbedaan LPS yang signifikan ( $p > 0,05$ ). Nilai LPS pada penelitian ini relatif bervariasi jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya untuk sistem budidaya di air payau.

LPS udang windu sistem monokultur sebesar 2,6% per hari yang dicapai pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan hasil penelitian yang telah dilaporkan sebelumnya. LPS yang diperoleh Amalia *et al.* (2022) pada udang windu yang dipelihara di bak bervolume 1 m<sup>3</sup> selama 4 minggu (bobot awal rata-rata 0,29 g) dengan pemberian pakan 3 kali sehari sebanyak 5% dari biomassa (kandungan protein 41%) sebesar 5,6% per hari. Sementara itu, Azizah *et al.* (2018) mendapatkan LPS sebesar 3,9% per hari untuk udang windu yang dipelihara di tambak selama 6 minggu (bobot awal rata-rata 0,12 g) dengan pemberian pakan 2 kali sehari sebanyak 5% dari biomassa.

LPS udang windu yang dipolikultur dengan padi di air payau pada penelitian ini sebesar 3,0% per hari. Untuk sistem polikultur seperti ini tidak diperoleh informasi LPS udang windu dari hasil studi sebelumnya. Namun, polikultur udang windu dengan rumput laut telah banyak diteliti, misalnya Amalia *et al.* (2022) melaporkan LPS

udang windu yang dipolikultur dengan *Gracilaria sp.* sebesar 5,7% per hari, lebih tinggi dibandingkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini. Sementara itu, udang windu (bobot awal rata-rata 0,5 g) yang dipolikultur dengan *Gracilaria tenuistipitata* selama 3 minggu dengan pemberian pakan berbahan rumput laut sebanyak 25% dari biomassa sebesar 2,4% per hari menurut temuan Anh *et al.* (2018), lebih rendah dibandingkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini.

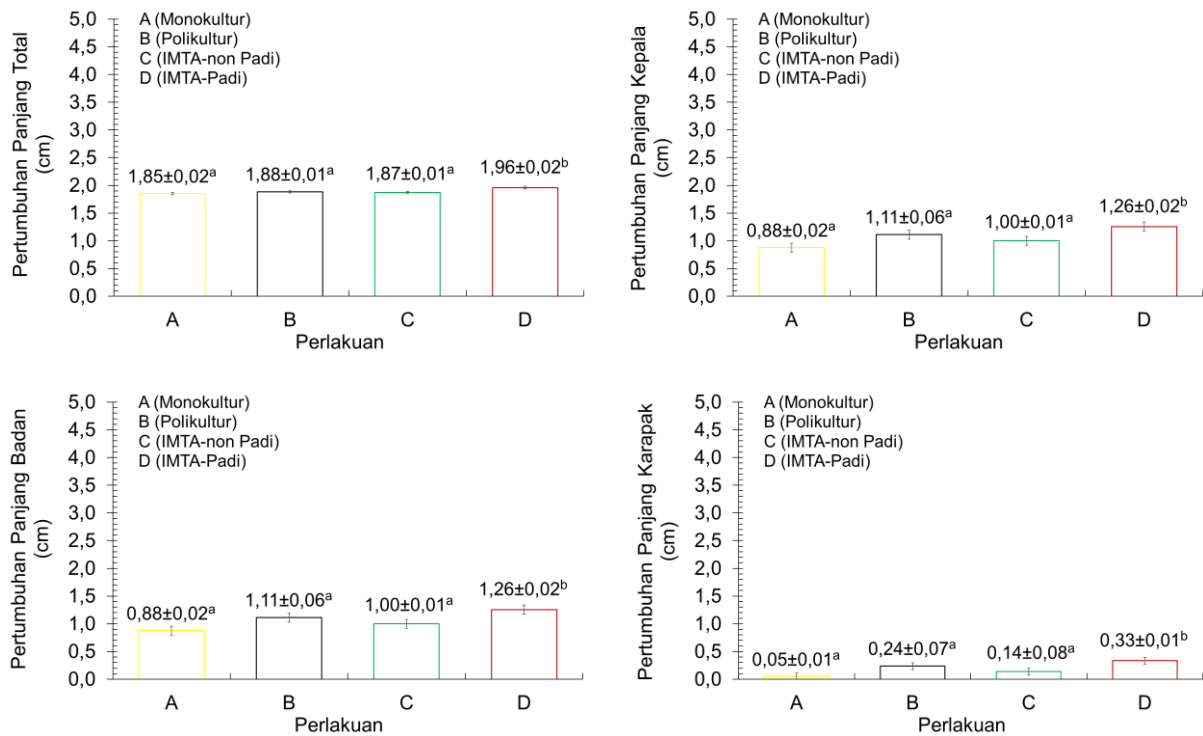
Demikian pula pertumbuhan udang windu pada sistem IMTA-non padi dan IMTA-padi sejauh ini belum diperoleh informasi ilmiahnya sehingga sulit untuk memutuskan apakah pertumbuhan udang windu pada sistem ko-kultur pada penelitian ini lebih tinggi atau lebih rendah dibanding penelitian sebelumnya. Namun, studi Amalia *et al.* (2022) baru-baru ini dengan metode telah disebutkan sebelumnya menemukan bahwa LPS udang windu yang di ko-kultur dengan kerang darah (polikultur) dan di ko-kultur bersama dengan kerang darah dan rumput laut (IMTA) masing-masing 5,6% dan 5,7% per hari, lebih tinggi dibandingkan dengan hasil yang dicapai pada penelitian ini.

Faktor yang paling mungkin menjadi penyebab adanya perbedaan LPS pada penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah variabilitas metode penelitian yang digunakan. Barani *et al.* (2019) menyebutkan bahwa perbedaan lama pemeliharaan, jumlah dan frekuensi pemberian pakan, kepadatan, dan kondisi kualitas air adalah faktor utama yang umumnya mempengaruhi pertumbuhan biota perairan, termasuk udang windu. Bobot awal udang windu yang berbeda nampaknya juga berkontribusi terhadap perbedaan LPS tersebut. Organisme ukuran yang kecil memiliki penambahan bobot dalam fase logaritmik atau eksponensial dengan laju pertumbuhan yang

cepat (Lugert *et al.*, 2016). Selain itu, diduga dipengaruhi pula oleh variasi kombinasi spesies yang diintegrasikan pada setiap sistem budidaya. Sebagaimana diketahui bahwa kombinasi spesies yang tepat dapat mengoptimalkan sinergitas antar spesies yang dapat berdampak terhadap kinerja pertumbuhan setiap spesies (Hamsiah *et al.*, 2021; Thomas *et al.*, 2021).

Untuk Pertambahan Karakteristik Morfometrik (PKM), meliputi panjang total, panjang kepala, panjang badan, dan panjang karapaks juga menunjukkan variasi diantara sistem monokultur, polikultur, IMTA-non padi, dan IMTA-padi (**Gambar 7**). Analisis ragam menunjukkan bahwa sistem budidaya mempengaruhi secara signifikan ( $p < 0,05$ ) PKM udang windu. Uji HSD Tukey selanjutnya mengindikasikan bahwa PKM tertinggi pada sistem IMTA-padi secara signifikan ( $p < 0,05$ ) lebih tinggi dibandingkan sistem monokultur,

polikultur, dan IMTA-non padi. Namun, pada ketiga sistem budidaya ini tidak mengindikasikan perbedaan PKM yang signifikan ( $p > 0,05$ ). Kecenderungan nilai PKM mengikuti pola yang terjadi pada LPS di semua karakteristik morfometrik. Pengukuran morfometrik udang windu hasil budidaya, terutama pada sistem ko-kultur masih sangat langka sehingga informasinya belum diperoleh sampai saat ini. Informasi morfometrik umumnya terhadap udang windu hasil tangkapan. Sebagaimana diketahui bahwa sebaran dan variasi morfometrik organisme merupakan respon terhadap lingkungan fisik tempat hidup organisme, termasuk pada lingkungan budidaya (Antonucci *et al.*, 2012). Oleh karena itu, informasi morfometrik udang windu dari sistem budidaya yang berbeda seperti pada penelitian ini mungkin penting sebagai salah satu informasi awal kajian morfometrik pada lingkungan budidaya.



**Gambar 7.** Pertumbuhan karakteristik morfometrik (PKM) udang windu

Karakteristik morfometrik udang windu yang mengikuti pola LPS dapat dikaitkan dengan proses moulting pada udang. Moulting atau pergantian cangkang merupakan syarat keharusan udang untuk tumbuh yang terjadi secara periodik sepanjang hidup udang. Permukaan tubuh udang ditutupi oleh eksoskeleton atau cangkang yang kaku sebagai kerangka luar yang harus dilepaskan secara berkala agar dapat tumbuh. Pelepasan kerangka luar tersebut adalah bentuk

penyesuaian terhadap ukuran daging yang bertambah tetapi ukuran cangkang tidak bertambah (Hosamani *et al.*, 2017). Cangkang lama dilepas dan digantikan oleh cangkang baru dengan ukuran sesuai dengan penambahan ukuran tubuhnya (Lemos & Weissman, 2021). Oleh karena itu, perubahan morfometrik udang windu pada penelitian ini adalah hasil dari penambahan ukuran daging dari hasil moulting. Dengan demikian, logis jika pola perubahan karakteristik morfometrik

(panjang total, panjang kepala, panjang badan, dan panjang karapaks) mengikuti pola perubahan LPS.

Zhang *et al.* (2019) dan Knowler *et al.* (2020) mengelompokkan empat spesies IMTA berdasarkan level trofiknya, yaitu spesies yang diberi pakan (spesies *feed species*, seperti udang atau ikan), spesies ekstraktif partikel organik (spesies *suspension feeder* dan *filter feeder*, seperti kerang, teripang, landak laut), dan spesies ekstraktif anorganik (rumput laut dan tanaman lainnya). Peningkatan jumlah spesies dengan level trofik berbeda dapat meningkatkan kinerja pertumbuhan pada setiap spesies (Campanati *et al.*, 2022; Nederlof *et al.*, 2021). Pada penelitian ini, kehadiran spesies dengan berbagai level trofik menjadi alasan yang paling relevan untuk pertumbuhan (LPS dan PKM) udang windu yang lebih tinggi pada sistem IMTA-padi. Empat organisme dengan level trofik yang berbeda dan lengkap terdapat pada sistem IMTA-padi yang menghasilkan pertumbuhan udang windu yang tertinggi. Pada sistem ini, udang windu dan ikan nila sebagai *feed species*, kerang darah dimanfaatkan sebagai *suspension feeder*, teripang pasir sebagai *deposit feeder*, dan padi sebagai tanaman penyerap bahan anorganik. Sinergitas yang kompatibel dari keempat spesies ini dalam memanfaatkan limbah nutrisi nampaknya menciptakan kondisi lingkungan yang kondusif sehingga proses fisiologi udang windu mendukung untuk pertumbuhannya.

Keberadaan kerang darah dan teripang pasir yang diintegrasikan dengan udang windu pada penelitian ini nampaknya berdampak positif terhadap pertumbuhan udang windu. Penelitian terdahulu telah mengkonfirmasi dampak positif kedua organisme ekstraktif ini. Amalia *et al.* (2022) melaporkan pertumbuhan udang windu yang lebih tinggi dan limbah organik yang lebih rendah pada ko-kultur dengan kerang darah dan/atau rumput laut daripada sistem monokultur. Pertumbuhan dan sintasan udang windu yang tidak berbeda signifikan jika diintegrasikan dengan kerang hijau, meskipun kepadatan udang windu ditingkatkan (Retnosari *et al.*, 2019). Sementara itu, pada udang vaname juga dilaporkan pertumbuhan yang lebih tinggi secara signifikan pada polikultur dengan teripang pasir dibandingkan dengan sistem monokultur (Jiang *et al.*, 2017). Spesies kerang melalui mekanisme filtrasi menjadikannya sebagai biofilter untuk mitigasi limbah organik (Kabangnga *et al.*, 2020). Demikian pula spesies teripang memiliki kemampuan untuk mengurangi beban bahan organik dengan mengonsumsi feses, sisa

pakan, dan organisme mati (Sadeghi-Nassaj *et al.*, 2018). Selain itu, kerang dan teripang juga menghasilkan produk limbah (feses) (Meirinawati *et al.*, 2020; Srisunont & Babel, 2015) yang dapat dimanfaatkan oleh udang windu sebagai spesies benthik (Simao *et al.*, 2013). Referensi ini mungkin relevan untuk menjelaskan bahwa keberadaan kerang darah dan teripang pasir dalam sistem dapat menghasilkan pertumbuhan yang lebih baik pada udang windu.

Keberadaan padi dalam sistem nampaknya juga berkontribusi positif terhadap pertumbuhan udang windu. Tumbuhan padi dalam sistem ko-kultur mampu memanfaatkan nutrisi maupun limbah dalam perairan, khususnya nutrisi terlarut (anorganik) (Li *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2021). Informasi pertumbuhan udang windu yang di-kokultur dengan padi di air payau sejauh ini belum diketahui, namun untuk sintasan telah dilaporkan oleh Hamsiah *et al.* (2021) dengan nilai yang lebih tinggi pada udang windu yang diintegrasikan dengan ikan bandeng, kerang kijing, dan padi di air payau. Untuk spesies lain, He *et al.* (2021) memperoleh pertumbuhan ikan nila yang lebih tinggi secara signifikan pada sistem polikultur dengan padi dibandingkan sistem monokultur di air tawar karena pada sistem polikultur sisa pakan dan feses terlarut diasimilasi oleh padi sehingga menciptakan kualitas air yang kondusif untuk pertumbuhan ikan nila. Padi yang dipelihara dengan sistem apung pada penelitian ini nampaknya juga berkontribusi terhadap kinerja pertumbuhan udang windu. Akar padi yang terapung dapat mengasimilasi nutrisi terlarut secara efektif di kolom perairan, seperti senyawa nitrogen dan fosfor (Srivastava *et al.*, 2017). Penjelasan ini dapat dikaitkan dengan pertumbuhan yang lebih baik pada udang windu jika diintegrasikan dengan padi dalam sebuah sistem budidaya.

Potensi limbah nutrisi pada penelitian ini adalah nutrisi organik berupa sisa pakan, feses, dan produk metabolisme dalam bentuk nutrisi anorganik. Aliran limbah nutrisi, khususnya pada sistem IMTA-padi dimulai dari udang windu dan ikan nila sebagai *feed species*. Limbah berupa sisa pakan dan feses yang tersuspensi di kolom perairan dari kedua spesies ini difiltrasi oleh kerang darah sebagai *suspension feeder*, sedangkan yang mengendap di dasar perairan dimanfaatkan oleh teripang pasir sebagai *deposit feeder* (Chopin *et al.*, 2012; Namukose *et al.*, 2016). Hasil yang diperoleh pada penelitian ini semakin memastikan konsep sistem ko-kultur yang tidak hanya mempertimbangkan



banyaknya spesies, tetapi setiap spesies memiliki level trofik berbeda untuk mendapatkan manfaat dari peningkatan limbah nutrisi dalam wadah budidaya (Chopin *et al.*, 2012; Nederlof *et al.*, 2021). Kombinasi udang windu, ikan nila, kerang darah, teripang pasir, dan padi mengarah pada peningkatan hasil panen sebagaimana keunggulan ko-kultur IMTA yang dapat meningkatkan produksi dan produktivitas karena pada luasan lahan dan waktu yang sama diperoleh produksi yang lebih banyak (Chopin *et al.*, 2012; Heriansah *et al.*, 2022). Pengetahuan yang diperoleh dari penelitian ini dapat menjadi dasar untuk strategi pengembangan budidaya udang windu bersama ikan nila, kerang darah, teripang pasir,

dan padi sebagai sistem yang menguntungkan untuk budidaya air payau terintegrasi dan berkelanjutan di wilayah pesisir. Strategi pengembangan sistem ini di air payau, khususnya di Indonesia semakin memungkinkan karena baru sekitar 22,8% lahan yang dimanfaatkan dari 2,96 juta hektar potensial (KKP, 2022).

### Kualitas air

Lima parameter umum kualitas air dirangkum sebagai nilai kisaran pada setiap sistem budidaya selama penelitian seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Hasil pengukuran parameter kualitas air selama penelitian

Parameter	Perlakuan			
	Monokultur	Polikultur	IMTA-non Padi	IMTA-Padi
Salinitas (ppt)	20,7-20,9	20,8-20,9	19,7-20,9	19,6-20,9
Suhu (°C)	27,3-28,7	27,2-28,8	27,3-28,6	27,3-28,4
Oksigen Terlarut (mg/L)	4,3-4,6	4,4-4,7	4,1-4,4	4,3-4,5
pH	7,1-7,4	7,3-7,6	7,7-7,9	7,5-7,9
Amoniak (mg/L)	0,003-0,835	0,003-0,154	0,003-0,191	0,003-0,153

Kualitas air yang baik pada sistem sebuah sistem budidaya merupakan faktor kunci yang berkorelasi dengan performa pertumbuhan organisme (Dauda *et al.*, 2019), termasuk udang windu. Mengacu pada referensi, udang windu dapat tumbuh dengan baik pada salinitas, suhu, dan pH masing-masing antara 15-25 ppt, 26-32°C, dan pH 7,5-8,7 (Poernomo, 1996), sedangkan oksigen terlarut yang optimal antara 4-7 mg/L (Tricahyo, 1995). Jika dibandingkan antara hasil pengukuran dan nilai kisaran toleransi berdasarkan referensi, parameter kualitas air selama penelitian pada semua sistem budidaya kondusif dan aman bagi udang windu.

Konsentrasi amoniak pada setiap sistem budidaya selama penelitian dibawah 1 mg/L yang aman untuk udang windu (Lawson, 1995). Nitrogen dalam bentuk amoniak merupakan indikasi limbah sisa pakan, feses, dan hasil ekskresi yang terlarut di air (Dauda *et al.*, 2019; Nederlof *et al.*, 2021) yang dipengaruhi oleh sistem budidaya. Pada penelitian ini, keberadaan padi nampaknya berkontribusi penting dalam asimilasi nitrogen. Amoniak pada sistem budidaya yang melibatkan padi (polikultur dan IMTA-Padi) cenderung lebih rendah dibandingkan tanpa kehadiran padi (monokultur dan IMTA-non padi). Padi melalui metode apung dapat mengabsorpsi secara langsung nitrogen melalui akarnya (Srivastava *et al.*, 2017). Feng *et al.* (2016) melaporkan konsentrasi amoniak jauh lebih rendah pada

sistem polikultur dibandingkan sistem monokultur, sama dengan hasil yang diperoleh pada penelitian.

### KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian skala laboratorium ini memberikan indikasi positif tentang potensi pertumbuhan udang windu yang di ko-kultur bersama dengan ikan nila, kerang darah, teripang pasir, dan padi di air payau. Hasil ini memberikan informasi penting kemungkinan pengembangan budidaya udang windu melalui sistem IMTA-padi berkelanjutan di air payau. Penelitian lebih lanjut dari potensi ini perlu dikembangkan untuk memastikan bahwa sistem ini dapat dipraktikkan dalam skala lapangan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi serta LPDP Kementerian Keuangan Republik Indonesia atas dana Program Riset Keilmuan (Nomor kontrak 230/E4.1/AK.04.RA/2021). Apresiasi kepada LP2M Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa dan Institut Akuakultur sebagai mitra riset.

### DAFTAR PUSTAKA

Amalia, R., Rejeki, S., Widowati, L. L., & Ariyati, R. W. (2022). The growth of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and its dynamics of

- water quality in integrated culture. *Biodiversitas*, 23(1), 593–600. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230164>
- Anh, N. T., Hong Ngan, L. T., Vinh, N. H., & Hai, T. N. (2018). Co-Culture of red seaweed (*Gracilaria tenuistipitata*) and black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) with different feeding rations. *International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)*, 8(9). <https://doi.org/10.29322/ijsrp.8.9.2018.p8138>
- Antonucci, F., Boglione, C., Cerasari, V., Caccia, E., & Costa, C. (2012). External shape analyses in *Atherina boyeri* (Risso, 1810) from different environments. *Italian Journal of Zoology*, 79(1), 60–68. <https://doi.org/10.1080/11250003.2011.595431>
- APHA. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In *American Public Health Association*. American Public Health Association. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382165-2.00237-3>
- Astriana, B. H. (2015). Konseptual modul dinamika nitrogen dalam sistem Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) menggunakan *Penaeus monodon*, *Crassostrea* sp. dan *Gracilaria* sp. *BioWallacea*, 1(3), 159–165.
- Azizah, I., Rejeki, S., & Ariyati, R. W. (2018). Performa pertumbuhan udang (*Penaeus monodon*) yang dibudidayakan bersama rumput laut (*Gracilaria* sp.) dengan padat tebar yang berbeda menerapkan sistem Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA). *Jurnal Sains Akuakultur Tropis*, 2(2), 1–11.
- Barani, H. K., Dahmardeh, H., Miri, M., & 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>
- Biswas, G., Kumar, P., Kailasam, M., Ghoshal, T. K., Bera, A., & Vijayan, K. K. (2019). Application of Integrated Multi Trophic Aquaculture (IMTA) concept in brackishwater ecosystem: The first exploratory trial in the Sundarban, India. *Journal of Coastal Research*, 86(sp1), 49–55. <https://doi.org/10.2112/SI86-007.1>
- Campanati, C., Willer, D., Schubert, J., & 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>
- Chopin, T., Cooper, J. A., Reid, G., Cross, S., & Moore, C. (2012). Open-water integrated multi-trophic aquaculture: Environmental biomitigation and economic diversification of fed aquaculture by extractive aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 4(4), 209–220. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01074.x>
- Chodrijah, U., & Faizah, R. (2018). Beberapa aspek biologi udang windu (*Penaeus Monodon* (Fabricus, 1789) di Perairan Tarakan, Kalimantan Utara. *BAWAL Widya Riset Perikanan Tangkap*, 10(1), 49.
- Dauda, A. B., Ajadi, A., Tola-Fabunmi, A. S., & Akinwole, A. O. (2019). Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. *Aquaculture and Fisheries*, 4(3), 81–88.
- Effendie, M. I. (2012). Biologi perikanan. Yayasan Pustaka Nusatama, Jakarta.
- Emerenciano, M. G. C., Rombenso, A. N., Vieira, F. D. N., Martins, M. A., Coman, G. J., Truong, H. H., Noble, T. H., & 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., & Fang, F. (2016). Nutrient removal ability and economical benefit of a rice-fish co-culture system in aquaculture pond. *Ecological Engineering*, 94(359), 315–319. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.002>
- Hamsiah, Cahyono, I., Heriansah, Kantun, W., & Kabangnga, A. (2021). The Survival rate of biota in Integrated Multi Trophic Aquaculture (IMTA)-Paddy system. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 5(2), 127–136.
- Heriansah, Kabangnga, A., & Nursida, N. F. (2023). *Panduan Pembuatan dan Penggunaan Wadah Apung Tanaman*

- Untuk Riset Akuakultur Multi-Trofik. Hak Cipta. Nomor Pencatatan 000443037. Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia.
- Heriansah, Syamsuddin, R., Najamuddin, & 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), 1197–1210. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2022.267643>
- Hosamani, N., Reddy B, S., & Reddy P, R. (2017). Crustacean molting: Regulation and effects of environmental toxicants. *Journal of Marine Science: Research & Development*, 07(05). <https://doi.org/10.4172/2155-9910.1000236>
- Jamil, A., Mejaya, M. J., Praptana, R. H., Subekti, N. A., Aqil, M., Musaddad, A., & Putri, F. (2016). *Deskripsi Varietas Unggul Tanaman Pangan 2010-2016*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian, Jakarta.
- Jiang, S., Zhou, F., Mo, X., Huang, J., Yang, Q., & Yang, L. (2017). Polyculture of sea cucumber *Holothuria scabra* with pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgheh*, 69(1–8). <https://doi.org/10.46989/001c.21029>
- Jumiati, Maulana, N., Heriansah, Lapong, I., & Kabangnga, A. (2023). Potensi ko-kultur (*Caulerpa lentillifera*) dan udang windu (*Penaeus monodon*) di tambak tradisional air payau. *Jurnal Juvenil*, 4(1), 21–30. <https://doi.org/http://doi.org/10.21107/juvenil.v4i1.18563>
- Kabangnga, A., Zulkhairiyah, & Rumambo, C. T. T. (2020). Monitoring dan mitigasi gas H<sub>2</sub>S limbah organik tambak intensif dengan menggunakan biomarker sederhana. *Jurnal Airaha*, IX(1), 1–6.
- KKP. 2022. Laporan Kinerja Ditjen Perikanan Budidaya. Kementerian Kelautan dan Perikanan RI. Jakarta.
- Knowler, D., Chopin, T., Martínez-Espiñeira, R., Neori, A., Nobre, A., Noce, A., & 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>
- Lawson, T. B. (1995). *Fundamentals of Aquacultural Engineering*. Chapman and Hall Publishers.
- Lemos, D., & Weissman, D. (2021). Moulting in the grow-out of farmed shrimp: a review. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 5–17. <https://doi.org/10.1111/raq.12461>
- Lugert, V., Thaller, G., Tetens, J., Schulz, C., & 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>
- Meirinawati, H., Prayitno, H. B., Indriana, L. F., Firdaus, M., & Wahyudi, A. J. (2020). Water quality assessment and monitoring of closed rearing system of the sea cucumber *Holothuria scabra*. *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*, 37(2), 73–80. <https://doi.org/10.29037/AJSTD.624>
- Muryanto, T., Sukanto, & Romdon, S. (2015). Teknik pengukuran morfometrik udang windu (*Penaeus monodon*) hasil tangkapan nelayan di pesisir Aceh Timur. *BTL*, 13(1), 1–6.
- Mustafa, A. A., Asaad, A. I. J., & Linthin, D. (2021). Performa budidaya udang windu (*Penaeus monodon*) pada musim kemarau di tambak Kecamatan Marusu Kabupaten Maros. *Media Akuakultur*, 16(1), 45. <https://doi.org/10.15578/ma.16.1.2021.45-56>
- Namukose, M., Msuya, F. E., Ferse, S. C. A., Slater, M. J., & Kunzmann, A. (2016). Growth performance of the sea cucumber *Holothuria scabra* and the seaweed *Euclima denticulatum*: Integrated mariculture and effects on sediment organic characteristics. *Aquaculture Environment Interactions*, 8(Fao 2014), 179–189. <https://doi.org/10.3354/aei00172>
- Nederlof, M. A. J., Verdegem, M. C. J., Smaal, A. C., & Jansen, H. M. (2021). Nutrient retention efficiencies in integrated multi-trophic aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, October, 1–19. <https://doi.org/10.1111/raq.12645>
- Neto, R. M., & 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>
- Pantjara, B., Syafaat, M. N., & Kristanto, A. H. (2015). Effect of dynamical water quality on shrimp culture in the Integrated Multitrophic Aquaculture (IMTA). *Indonesian Aquaculture Journal*, 10(1), 81.

- Poernomo. (1996). Masalah Budidaya Udang Penaeid di Indonesia. *Simposium Modernisasi Perikanan Rakyat*. Jakarta.
- Rahi, M. L., Sabbir, W., Salin, K. R., Aziz, D., & Hurwood, D. A. (2022). Physiological, biochemical and genetic responses of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) to differential exposure to white spot syndrome virus and *Vibrio parahaemolyticus*. *Aquaculture*, 546(July 2021), 737337. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737337>
- Retnosari, D., Rejeki, S., Susilowati, T., & Ariyati, R. W. (2019). Filtration rate of organic matter by green mussel (*Perna viridis*) as a biofilter and the impact on growth and survival rate of tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Jurnal Sains Akuakultur Tropis*, 3, 36–46.
- Sadeghi-Nassaj, S. M., Batanero, G. L., Mazuecos, I. P., Alonso, C., & Reche, I. (2018). Sea cucumbers reduce nitrogen, bacteria and transparent exopolymer particles in *Anemonia sulcata* aquaculture tanks. *Aquaculture Research*, 49(11), 3669–3681.
- Sahu, B. C., Adhikari, S., & Dey, L. (2013). Carbon, nitrogen and phosphorus budget in shrimp (*Penaeus monodon*) culture ponds in eastern India. *Aquaculture International*, 21(2), 453–466. <https://doi.org/10.1007/s10499-012-9573-x>
- Simão, B. R., Brito, L. O., Campos Maia, A. S., Miranda, L. C., & da Silveira Borges Azevedo, C. M. (2013). Stocking densities and feeding strategies in shrimp and tilapia polyculture in tanks. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(8), 1088–1095. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800039>
- Srisunont, C., & Babel, S. (2015). Uptake , release , and absorption of nutrients into the marine environment by the green mussel (*Perna viridis*). *Marine Pollution Bulletin*, 97, 285–293. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.06.004>
- Srivastava, A., Chun, S. J., Ko, S. R., Kim, J., Ahn, C. Y., & 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. (2014). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R & D*. CV Alfa Beta. Jakarta.
- Supriatna, A., Nurhatijah, N., Sarong, M. A., & Muchlisin, Z. A. (2019). Effect of biofloc density and crude protein level in the diet on the growth performance, survival rate, and feed conversion ratio of black tiger prawn (*Penaeus monodon*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 348(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/348/1/012131>
- Thomas, M., Pasquet, A., Aubin, J., Nahon, S., & 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>
- Tricahyo. (1995). *Biologi dan Kultur Udang Windu (Penaeus monodon)*. Akademika Pressindo. Jakarta.
- Weidner, J., Jensen, C. H., Giske, J., Eliassen, S., & Jørgensen, C. (2020). Hormones as adaptive control systems in juvenile fish. *Biology Open*, 9(2). <https://doi.org/10.1242/bio.046144>
- Zhang, J., Zhang, S., Kitazawa, D., Zhou, J., Park, S., Gao, S., & Shen, Y. (2019). Bio-mitigation based on integrated multi-trophic aquaculture in temperate coastal waters: Practice, assessment, and challenges. In *Latin American Journal of Aquatic Research* (Vol. 47, Issue 2). <https://doi.org/10.3856/vol47-issue2-fulltext-1>