

Pertumbuhan Kerang Darah (*Tegillarca granosa*) pada Berbagai Sistem Akuakultur

The Growth of Blood Clams (*Tegillarca granosa*) in Various Aquaculture Systems

Arnold Kabangnga¹, Heriansah^{*1}, Nursidi², Canra Kirana³, Febi Safitri³

^{*)} Email korespondensi: heriansah.itbm.bd@gmail.com

¹⁾ Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa, Jl. Perintis Kemerdekaan VIII No. 8, Tamalanrea, Kota Makassar, 90245, Sulawesi Selatan, Indonesia

²⁾ Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene dan Kepulauan, Jl. Poros Makassar – Parepare Km. 80, Mandalle, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan, 90655, Sulawesi Selatan, Indonesia

³⁾ MBKM Riset Keilmuan, Program Studi Budidaya Perairan, Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa, Jl. Perintis Kemerdekaan VIII No. 8, Tamalanrea, Kota Makassar, 90245, Sulawesi Selatan, Indonesia

ABSTRAK

Limbah akuakultur banyak yang tersuspensi di kolom air sehingga diperlukan keberadaan kerang sebagai *filter feeder* untuk memanfaatkan limbah tersebut untuk pertumbuhannya. Pada penelitian ini, kerang darah dari empat sistem akuakultur dievaluasi untuk mengetahui pertumbuhannya, yaitu sistem monokultur, polikultur, kokultur *Integrated Multi Trophic Aquaculture (IMTA)* non-padi, dan kokultur IMTA padi. Kerang darah, ikan nila, dan udang windu masing-masing ditebar sebanyak 20 ekor dalam 90 L air payau, sedangkan kepadatan teripang adalah 10 ekor. Untuk padi dipelihara dengan metode terapung menggunakan nampan. Selama empat minggu, pakan diberikan empat kali sehari sebanyak 10% dari biomassa. Hasil penelitian menunjukkan sistem akuakultur berpengaruh signifikan ($P < 0,05$) terhadap Laju Pertumbuhan Spesifik (LPS). LPS kerang darah bila dikombinasikan dengan sistem IMTA secara signifikan lebih tinggi ($P < 0,05$) dibandingkan dengan sistem monokultur dan polikultur. Berbeda dengan pertumbuhan, karakteristik morfometrik tidak dipengaruhi secara signifikan ($P > 0,05$) oleh sistem akuakultur. Terlepas dari penelitian yang dilakukan dalam skala laboratorium, pertumbuhan kerang darah tertinggi diperoleh jika dikultur dengan tingkat trofik lengkap melalui sistem IMTA padi.

Kata kunci: kerang darah; pertumbuhan; monokultur; polikultur; IMTA.

ABSTRACT

Many aquaculture wastes are suspended in the water column in that the presence of clams as *filter feeders* is required to utilize the waste for growth. In this study, blood clams from four aquaculture systems were evaluated to determine their growth, namely monoculture systems, polycultures, *Integrated Multi Trophic Aquaculture (IMTA)* non-paddy cocultures, and IMTA with paddy cocultures. Blood clams, tilapia, and tiger shrimp are stocked at as much as 20 each in 90 L of brackish water, whereas the density of sea cucumbers is 10 individuals. For paddy, reared using a floating method that uses trays. For four weeks, feed was given four times a day as much as 10% of the biomass. The results showed that the aquaculture system were a significant effect ($P < 0.05$) on Specific Growth Rate (SGR). The SGR of blood clams when combined with the IMTA systems were significantly higher ($P < 0.05$) than that of the monoculture and polyculture systems. In contrast to growth, morphometric characteristics were not significantly affected ($P > 0.05$) by aquaculture system. Apart from studies in laboratory scale, the highest growth of blood clams is obtained if cultured with complete trophic levels through the IMTA paddy system.

Keywords: blood clams; growth; monoculture; polyculture; IMTA.

I. PENDAHULUAN

Limbah pakan dari proses akuakultur merupakan sebuah keniscayaan pada sistem monokultur (Heriansah *et al.*, 2022). Limbah tersebut terutama berupa limbah padat (organik), seperti sisa pakan dan feses yang ditemukan tersuspensi di kolom air serta mengendap di dasar perairan (Dauda *et al.*, 2019). Beberapa studi telah melaporkan kuantifikasi limbah organik yang relatif tinggi, khususnya pada sistem monokultur. Nederlof *et al.* (2021) melaporkan 18% Nitrogen (N) dan 52% Posfor (P) dalam pakan terlepas sebagai limbah organik pada akuakultur ikan. Al Azad *et al.* (2017) menyebutkan 14-53% N dan 39-67% P menjadi sisa pakan dan feses pada akuakultur udang. Limbah dari sistem akuakultur tersebut telah mengancam prinsip akuakultur berkelanjutan (Thomas *et al.*, 2021). Oleh karena itu, rekayasa sistem akuakultur ramah lingkungan yang dapat meminimalisir limbah organik sangat penting dilakukan.

Praktik akuakultur melalui sistem *Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA)* dinilai sebagai solusi untuk meminimalisir limbah pakan (Henares *et al.*, 2018; Melendres & Largo, 2021). Sistem kokultur ini mengintegrasikan beberapa spesies dengan tingkat trofik berbeda, antara lain spesies yang diberi pakan (ikan atau udang), spesies ekstraktif partikel organik (kerang, teripang, landak laut), dan spesies ekstraktif partikel anorganik (rumput laut dan tanaman lainnya) (Chopin *et al.*, 2012; Knowler *et al.*, 2020). Kokultur berbagai spesies ini dapat mengurangi limbah karena dapat dimanfaatkan oleh spesies lain berdasarkan trofik levelnya (Zhang *et al.*, 2019). Selain itu, sistem IMTA dapat meningkatkan produksi akuakultur, baik di media air laut, air payau, maupun air tawar (Chopin *et al.*, 2012).

Limbah padat berupa sisa pakan dan feses (limbah organik) banyak yang tersuspensi di kolom air. Dengan demikian, keberadaan *suspension feeder* atau *filter feeder*, seperti kerang pada sistem kokultur, sangat penting untuk memanfaatkan material tersuspensi dalam wadah akuakultur (Lander *et al.*, 2013). Beberapa studi telah membuktikan kemampuan kerang, khususnya kerang darah (*Tegillarca granosa*) dalam menurunkan limbah organik dan anorganik. Amalia *et al.* (2022) melaporkan tingkat pengurangan total bahan organik (19%), nitrit (40%), dan nitrat (33%) lebih tinggi pada kombinasi spesies kerang darah, udang windu, dan rumput laut, daripada sistem monokultur dan polikultur tanpa kerang darah. Nicholaus *et al.* (2019) dalam eksprimennya menemukan kadar N dan P menurun masing-masing 33% dan 46%, lebih tinggi dibandingkan tanpa kerang darah. Karakteristik ekologis kerang sebagai *filter feeder* memungkinkannya sebagai bahan mitigasi limbah organik, terlebih lagi merupakan bahan pangan yang memiliki nilai ekonomis (Kabangnga *et al.*, 2020).

Kerang darah (*Tegillarca granosa*) pada penelitian ini dipelihara dengan berbagai sistem akuakultur, antara lain monokultur, polikultur, dan IMTA. Empat spesies dengan level trofik berbeda dikombinasikan berdasarkan sistem akuakultur, antara lain ikan nila (*Oreochromis niloticus*), udang windu (*Penaeus monodon*), teripang pasir (*Holothuria scabra*), dan padi (*Oryza sativa*). Belum ada informasi ilmiah tentang kombinasi kerang darah dengan beberapa spesies lokal dan ekonomis ini pada sebuah sistem akuakultur. Studi ini penting karena kombinasi spesies sangat menentukan keberhasilan sistem kokultur.

Kombinasi spesies yang tepat dapat mengoptimalkan sinergitas antar spesies yang berdampak terhadap kinerja pertumbuhan (Hamsiah *et al.*, 2021; Knowler *et al.*, 2020; Thomas *et al.*, 2021). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pertumbuhan kerang darah dari berbagai sistem akuakultur melibatkan berbagai spesies. Hasil studi dapat memberikan informasi alternatif sistem akuakultur kerang untuk akuakultur payau yang berkelanjutan.

II. METODE PENELITIAN

1. Waktu dan Tempat Penelitian

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

2. Bahan dan Metode

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain bak plastik ukuran 50×50×50 cm, nampan (*tray*) ukuran 25×25 cm (dikonstruksi dari pipa 1 inci dan kasa plastik), netpot diameter 8 cm, serabut kelapa, pasir laut, blower Resun LP60, peralatan aerasi, jangka sorong digital sigmat 150 mm, water quality meter 5 in 1 AZ 86031, timbangan digital WH-28 ketelitian 0,1 g, dan botol sampel PP 100 mL. Sementara itu, bahan penelitian yang digunakan antara lain kerang darah, ikan nila salin, udang windu, teripang pasir, padi salin, pakan komersil, dan air payau.

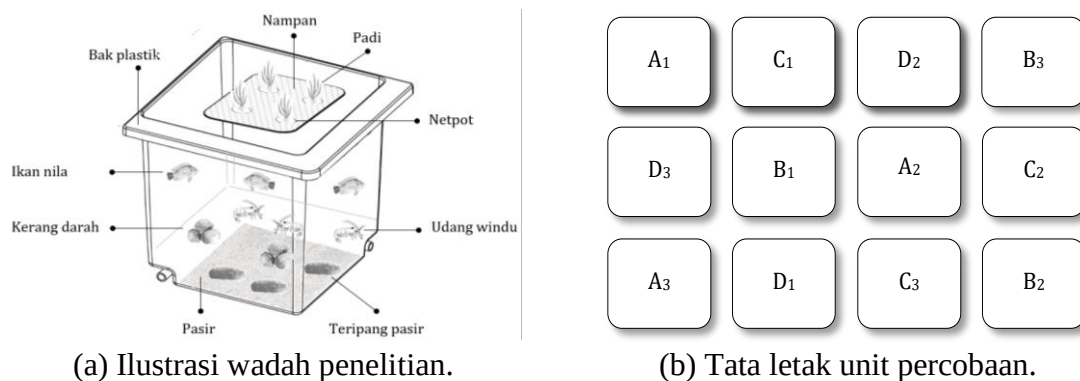
3. Desain Penelitian

Penelitian skala laboratorium ini didesain dengan menggunakan 4 perlakuan dan 3 replikasi. Perlakuan yang dievaluasi adalah sistem akuakultur, meliputi monokultur kerang darah (A), polikultur kerang darah dan padi (B), IMTA non padi dengan integrasi kerang darah, ikan nila, udang windu, dan teripang pasir (C), dan IMTA padi dengan integrasi kerang darah, ikan nila, udang windu, teripang pasir, dan padi (D).

Kerang darah dan teripang pasir berbobot awal masing-masing $22,6 \pm 0,2$ g dan $12,3 \pm 0,3$ g diperoleh dari tangkapan alami nelayan di Desa Laikang Kabupaten Takalar. Ikan nila salin berukuran $2,1 \pm 0,1$ g diperoleh dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Takalar. Udang windu diperoleh dari unit penggelondongan di Ma'rang Kabupaten Pangkep dengan bobot awal $2,5 \pm 0,2$ g. Keempat hewan akuatik ini diaklimatisasi secara bertahap dengan kondisi percobaan selama 30 hari untuk dapat hidup pada salinitas 20 ppt. Sementara itu, padi salin yang diperoleh secara komersil terlebih dahulu disemai sampai ketinggian $15,1 \pm 0,2$ cm.

Wadah pemeliharaan ditambahkan pasir didasar wadah sebagai substrat serta diisi air payau sebanyak 90 liter dengan parameter yang sesuai dengan media aklimatisasi. Padat tebar kerang darah, ikan nila, dan udang windu masing-masing 20 ekor per wadah, sedangkan teripang ditebar dengan kepadatan 10 individu per wadah. Khusus untuk tanaman padi, pemeliharaan dilakukan dengan sistem apung menggunakan nampan (*tray*) yang terdiri atas 4 lubang untuk netpot. Media tanam berupa serabut kelapa diletakkan di dalam netpot.

Penebaran padi dilakukan 7 hari setelah penebaran hewan akuatik. Ilustrasi desain wadah pemeliharaan dan tata letak unit percobaan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain penelitian pertumbuhan kerang darah.

Selama 4 minggu pemeliharaan dilakukan pemberian pakan terapung dan pakan tenggelam pada semua perlakuan dengan frekuensi 4 kali sehari (pukul 07.00, 11.00, 15.00 dan 19.00) (Juárez-Rosales *et al.*, 2019) dengan *feeding rate* 10% dari biomassa. Pakan buatan yang diberikan berbentuk krabel dengan kandungan protein 40%. Pemberian aerasi melalui blower pada setiap wadah dilakukan secara terus menerus selama pemeliharaan. Pergantian air tidak dilakukan, namun volume air secara konsisten dijaga dengan menambahkan air dari sumber yang sama.

4. Parameter Pengamatan

Data yang dikumpulkan pada penelitian ini adalah data pertumbuhan kerang darah yang diperoleh melalui penimbangan dan pengukuran di awal dan akhir pemeliharaan. Selain itu, pengontrolan kualitas air juga dilakukan selama pemeliharaan.

a. Pertumbuhan

Laju Pertumbuhan Spesifik (LPS) dihitung dengan mengacu pada Persamaan 1 (Effendie, 2012). LPS adalah laju pertumbuhan spesifik (%/hari), W_t : berat-rata kerang di akhir pemeliharaan, W_o adalah berat rata-rata kerang di awal pemeliharaan, dan t adalah lama pemeliharaan. Karakteristik morfometrik kerang darah yang diukur, meliputi panjang cangkang, panjang umbo, dan tinggi cangkang. Karakteristik ini diukur dengan mengacu pada referensi pengukuran Dewi *et al.* (2019) disajikan pada Gambar 2.

$$LPS = \frac{\ln W_t - \ln W_o}{t} \times 100\% \quad (1)$$

b. Kualitas air

Kualitas air pada penelitian ini merupakan data pendukung yang diukur dengan parameter dan waktu pengukuran sebagaimana pada Tabel 1.

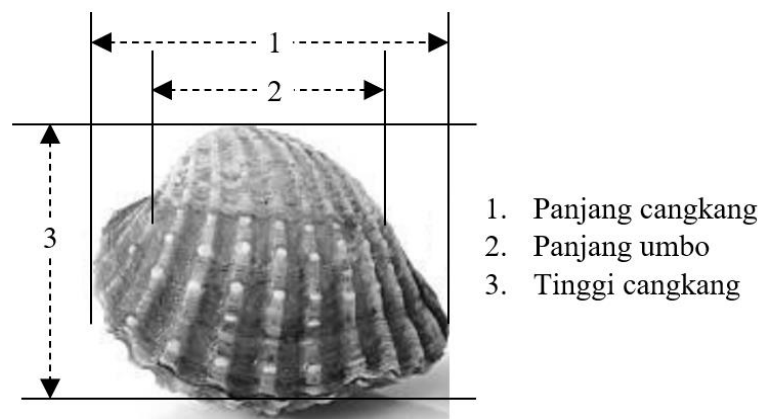
5. Analisa Data

Data setelah diuji *Shapiro-Wilk test* dan *Levene test* memenuhi asumsi statistik parametrik ($p > 0,05$). Analisis ragam digunakan untuk mengetahui pengaruh sistem akuakultur terhadap LPS dan morfometrik kerang darah yang dilanjutkan dengan uji *HSD Tukey*. Uji statistik dikonfirmasi pada tingkat signifikansi 95% ($p < 0,05$) menggunakan IBM

SPSS Statistik 25. Sementara itu, data kualitas air dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan kisaran optimal untuk kerang darah dari berbagai referensi.

Tabel 1. Parameter dan waktu pengukuran kualitas air.

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



Gambar 2. Pengukuran morfometrik kerang.

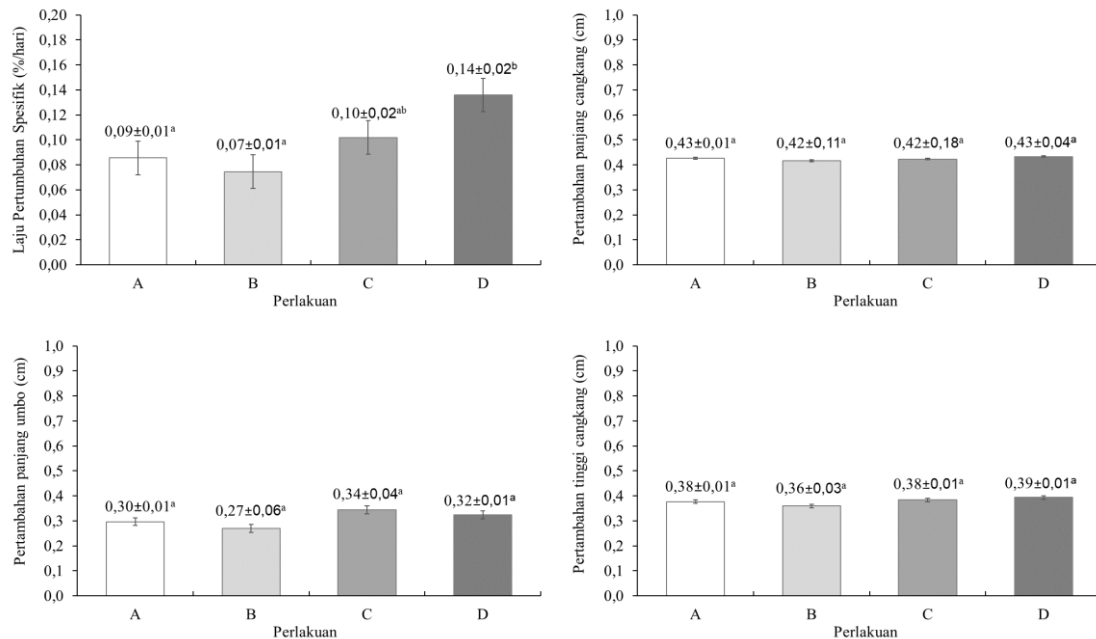
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pertumbuhan

Pertumbuhan kerang darah, meliputi LPS, pertambahan panjang cangkang, pertambahan panjang umbo, dan pertambahan tinggi cangkang setelah 4 minggu pemeliharaan relatif bervariasi pada setiap perlakuan (Gambar 3). Hasil analisis ragam menunjukkan kombinasi spesies berpengaruh signifikan ($P < 0,05$) terhadap LPS kerang darah. Gambar 3 menunjukkan bahwa LPS kerang darah pada akuakultur sistem IMTA padi (Perlakuan D) lebih tinggi secara signifikan ($P < 0,05$) dibandingkan jika dipelihara secara monokultur (Perlakuan A) dan polikultur (Perlakuan B). Namun, pada dua tipe kokultur IMTA, tidak ada perbedaan signifikan ($P > 0,05$) antara kokultur IMTA dengan padi (Perlakuan D) dan kokultur IMTA non padi (Perlakuan C). Demikian pula LPS kerang darah antara sistem monokultur (Perlakuan A) dengan polikultur (Perlakuan B) tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P > 0,05$).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerang darah yang dipelihara bersama dengan ikan nila, udang windu, teripang pasir, dan padi menghasilkan LPS yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem monokultur dan polikultur (kerang darah dan padi). Temuan ini mengungkap bahwa menambahkan spesies dengan tingkat trofik yang berbeda dapat meningkatkan LPS kerang darah. Beberapa riset juga telah menginformasikan bahwa peningkatan jumlah spesies dengan trofik berbeda dapat meningkatkan pertumbuhan setiap spesies yang dikultur bersama (Campanati *et al.*, 2022; Nederlof *et al.*, 2021). Tidak ada

informasi pertumbuhan khusus untuk kerang darah dari berbagai sistem akuakultur, namun untuk spesies lain telah banyak dipublikasikan. Hayati *et al.* (2017) melaporkan bahwa kerang abalon jika diintegrasikan dengan rumput laut memiliki pertumbuhan yang lebih tinggi secara signifikan dibandingkan sistem monokultur. Riset Amalia *et al.* (2022) menemukan pertumbuhan udang windu yang lebih tinggi secara signifikan jika dikokultur dengan kerang darah dan rumput laut dibandingkan sistem monokultur dan polikultur.



Keterangan: A (Monokultur), B (Polikultur), C (IMTA non padi), dan D (IMTA Padi).

Gambar 3. Laju pertumbuhan spesifik, pertambahan panjang cangkang, pertambahan panjang umbo, dan pertambahan tinggi cangkang kerang darah.

Reid *et al.* (2020) mengkategorikan spesies pada sistem IMTA menjadi tiga trofik yang berbeda berdasarkan jenis aliran limbah nutrisi, yaitu: (1) trofik anorganik ekstraktif dari kelompok rumput laut dan tanaman air dengan target nutrisi anorganik terlarut, (2) trofik organik ekstraktif dari kelompok *deposit feeder* dengan target nutrisi padatan organik terendap, dan (3) trofik organik ekstraktif dari kelompok *suspension feeder* dan *filter feeder* dengan target nutrisi padatan organik tersuspensi. Pada penelitian ini, tiga level trofik (anorganik ekstraktif, organik ekstraktif *deposit feeder*, dan organik ekstraktif *filter feeder*) terdapat pada sistem IMTA padi (Perlakuan D). Kehadiran level trofik yang lengkap ini menjadi alasan yang paling logis untuk pertumbuhan yang lebih tinggi pada akuakultur sistem IMTA Padi.

Pertumbuhan yang lebih tinggi pada sistem IMTA padi dipengaruhi oleh dampak sistem ini dalam menciptakan kondisi lingkungan yang dapat mendukung pertumbuhan melalui reduksi limbah (Knowler *et al.*, 2020; Melendres & Largo, 2021). Reduksi limbah pada sistem IMTA padi dapat dijelaskan dari aliran limbah nutrisi. Limbah nutrisi dimulai dari pakan yang diberikan pada ikan nila dan udang windu yang menyisahkan sisa pakan dan menghasilkan feses. Sisa pakan dan feses dalam bentuk partikel yang tersuspensi dimanfaatkan oleh kerang darah sebagai *suspension feeder*, sedangkan yang mengendap di

dasar perairan dimanfaatkan oleh teripang pasir sebagai *deposit feeder* (Chopin *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2019).

Sementara itu, limbah hasil ekskresi setiap spesies dimanfaatkan oleh padi sebagai penyerap bahan anorganik terlarut (Srivastava *et al.*, 2017). Hasil studi ini semakin menguatkan konsep akuakultur multi-trofik yang tidak hanya mempertimbangkan banyaknya spesies, tetapi setiap spesies yang terlibat harus berada pada berbagai level trofik berdasarkan fungsinya dalam ekosistem (Chopin *et al.*, 2012; Nederlof *et al.*, 2021). Khusus untuk kerang, pembentukan sistem IMTA menurut Lander *et al.* (2013) harus memasukkan spesies ini sebagai organisme *suspension feeder* untuk mendapatkan manfaat dari efek peningkatan bahan tersuspensi dalam wadah budidaya.

Berbeda dengan pertumbuhan, karakteristik morfometrik yang diukur (panjang cangkang, panjang umbo, dan tinggi cangkang) tidak dipengaruhi secara signifikan ($P > 0,05$) oleh sistem akuakultur. Lama pemeliharaan yang relatif singkat (4 minggu) diduga menjadi penyebab tidak adanya perbedaan karakteristik morfometrik kerang darah pada setiap sistem akuakultur. Mulki *et al.* (2014) menyebutkan bahwa kerang darah yang dibudidayakan perlu waktu satu tahun lebih untuk tumbuh mencapai ukuran panjang lebih dari 3 cm (rata-rata 2,5 cm per bulan). Kisaran panjang cangkang, panjang umbo, dan tinggi cangkang kerang darah pada semua sistem akuakultur masing-masing 0,42-0,43 cm, 0,27-0,34 cm, 0,36-0,39 cm yang menunjukkan pertumbuhan morfometrik yang relatif tinggi. Sebagaimana diketahui bahwa variasi morfometrik dipengaruhi oleh lingkungan fisik tempat hidup organisme (Dewi *et al.*, 2019). Dengan demikian, faktor lingkungan yang terkontrol dan ketersediaan makanan merupakan faktor yang diduga mendukung relatif tingginya pertumbuhan morfometrik pada penelitian ini.

2. Kualitas Air

Kualitas air pada sistem akuakultur merupakan faktor kunci yang erat hubungannya dengan pertumbuhan (Dauda *et al.*, 2019). Hasil pengukuran kualitas air selama penelitian disajikan pada Tabel 2. Suhu merupakan faktor yang membatasi efisiensi serapan, terutama ketika tidak ada pergantian air (Macchiavello & Bulboa, 2014), seperti yang diterapkan pada penelitian ini. Suhu air selama penelitian untuk semua sistem akuakultur relatif stabil pada kisaran 27,2–28,8°C dan kondusif untuk kerang darah (Amalia *et al.*, 2022). Salinitas selama penelitian pada kisaran 19,6–20,9 ppt yang nampaknya tidak bermasalah bagi kerang darah yang bersifat *euryhaline* (Wulandari *et al.*, 2019). Oksigen terlarut selalu di atas 4 mg/L karena aerasi terus menerus selama penelitian sehingga kondusif untuk kerang darah (Amalia *et al.*, 2022). pH juga tidak bermasalah bagi kerang darah yang dapat mentolerir pH antara 6-9 (Wulandari *et al.*, 2019).

Amoniak diakhir penelitian relatif bervariasi pada setiap sistem akuakultur dan konsentrasinya < 1 mg/L yang aman untuk kerang (Boyd & McNevin, 2015). Sistem kokultur IMTA diketahui mampu mencegah penurunan kualitas air karena limbah nutrisi yang berpotensi meningkatkan amoniak berupa sisa pakan dan feses dimanfaatkan oleh organisme lain berdasarkan tingkat trofiknya (Chopin *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2019). Terbukti pada penelitian ini konsentrasi amoniak diakhir penelitian pada sistem polikultur dan sistem IMTA lebih rendah dibandingkan dengan sistem monokultur.

Tabel 2. Hasil pengukuran kualitas air dengan berbagai perlakuan akuakultur.

Parameter	Perlakuan			
	Monokultur	Polikultur	IMTA non padi	IMTA padi
Suhu (°C)	27,3–28,7	27,2–28,8	27,3–28,6	27,3–28,4
Salinitas (ppt)	20,7–20,9	20,8–20,9	19,7–20,9	19,6–20,9
Oksigen Terlarut (mg/L)	4,4–4,6	4,4–4,8	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

IV. KESIMPULAN

Sistem *Integrated Multi Trophic Aquaculture* (IMTA) yang melibatkan berbagai spesies dengan tingkat trofik yang berbeda mampu meningkatkan pertumbuhan spesifik kerang darah secara signifikan. Hasil ini memberikan informasi berharga kemungkinan pengembangan akuakultur kerang darah melalui sistem IMTA untuk akuakultur berkelanjutan di air payau. Namun demikian, lebih banyak studi eksperimental perlu dilakukan untuk memastikan bahwa sistem ini dapat dipraktikkan dalam skala lapangan.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi serta Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Republik Indonesia atas program riset keilmuan dan dukungan dananya (Nomor kontrak 230/E4.1/AK.04.RA/2021). Penulis juga berterima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP2M) Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa dan Institut Akuakultur sebagai mitra riset.

VI. REFERENSI

- Altinok, I., & Ozturk, R. C. (2017). Adverse effects of mariculture activities and practices on marine environment. *Oceanography & Fisheries Open Access Journal*, 4(1). <https://doi.org/10.19080/foaj.2017.04.555630>
- 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>
- Azad, A. S., Estim, A., Mustafa, S., & Sumbing, M. V. (2017). Assessment of nutrients in seaweed tank from land based integrated multitrophic aquaculture module. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 05(08): 137–147. <https://doi.org/10.4236/gep.2017.58012>
- Boyd, C. E., & McNevin, A. A. (2015). *Aquaculture, Resource Use, and the Environment*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- 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>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.10.002>
- Dewi, S. E., Eddiwan, E., & Efawani, E. (2019). Morphometric and growth patterns of the blood clam (*Anadara granosa*) from the Bagan Siapi-API Coastal Area Rokan Hilir. *Berkala Perikanan Terubuk*, 46(3): 37–45.
- Effendie, M. I. (2012). *Biologi Perikanan*. Yayasan Pustaka Nusantara, Yogyakarta.
- Granada, L., Lopes, S., Novais, S. C., & Lemos, M. F. L. (2018). Modelling integrated multi-trophic aquaculture: Optimizing a three trophic level system. *Aquaculture*, 495: 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.05.029>
- 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.
- Hayati, H., Dirgayusa, I. G. N. P., & Puspitha, N. L. P. R. (2017). Laju pertumbuhan kerang abalon *Haliotis squamata* melalui budidaya IMTA (*Integrated Multi Trophic Aquaculture*) di Pantai Geger, Nusa Dua, Kabupaten Badung, Provinsi Bali. *JMAS*, 4(2): 253. <https://doi.org/10.24843/jmas.2018.v4.i02.253-262>
- Henares, M. N. P., Medeiros, M. V., & Camargo, A. F. M. (2018). Overview of strategies that contribute to the environmental sustainability of pond aquaculture: rearing systems, residue treatment, and environmental assessment tools. *Reviews in Aquaculture*, 12(1): 453–470. <https://doi.org/10.1111/raq.12327>
- 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>
- 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 - Bamidgeh*, 69. <https://doi.org/10.46989/001c.21029>
- Juárez-Rosales, J., Ponce-Palafox, J. T., Román-Gutiérrez, A. D., Otazo-Sánchez, E. M., Pulido-Flores, G., & Castillo-Vargasmachuca, S. G. (2019). Effects of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*) 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>
- Kabangnga, A., Zulkhairiyah, & Rumambo, C. T. T. (2020). Monitoring dan mitigasi gas H₂S limbah organik tambak intensif dengan menggunakan biomarker sederhana. *Jurnal Airaha*, IX(1), 1–6.
- 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.

- Lander, T. R., Robinson, S. M. C., MacDonald, B. A., & Martin, J. D. (2013). Characterization of the suspended organic particles released from salmon farms and their potential as a food supply for the suspension feeder, *Mytilus edulis* in integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) systems. *Aquaculture*, 406–407: 160–171. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.05.001>
- Macchiavello, J., & Bulboa, C. (2014). Nutrient uptake efficiency of *Gracilaria chilensis* and *Ulva lactuca* in an IMTA system with the red abalone *Haliotis rufescens*. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(3): 523–533.
- Melendres, A. R., & Largo, D. B. (2021). Integrated culture of *Eucheuma denticulatum*, *Perna viridis*, and *Crassostrea* sp. in Carcar Bay, Cebu, Philippines. *Aquaculture Reports*, 20, 100683. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100683>
- Mulki, A. B. R., Suryono, C. A., & Suprijanto, J. (2014). Variasi ukuran kerang darah (*Anadara granosa*) di Perairan Pesisir Kecamatan Genuk Kota Semarang. *Journal of Marine Research*, 3(2): 122–131.
- 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>
- Nicholaus, R., Lukwambe, B., Zhao, L., Yang, W., Zhu, J., & Zheng, Z. (2019). Bioturbation of blood clam *Tegillarca granosa* on benthic nutrient fluxes and microbial community in an aquaculture wastewater treatment system. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 142(818), 73–82.
- Reid, G. K., Lefebvre, S., Filgueira, R., Robinson, S. M. C., Broch, O. J., Dumas, A., & Chopin, T. B. R. (2020). Performance measures and models for open-water integrated multi-trophic aquaculture Performance measures and models for open-water integrated multi-trophic aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(1), 47–55.
- Ren, J. S., Stenton-dozey, J., Plew, D. R., Fang, J., & Gall, M. (2012). An ecosystem model for optimising production in integrated multitrophic aquaculture systems. *Ecological Modelling*, 246, 34–46.
- Setiadi, E., Widyastuti, Y. R., & Heru Prihadi, T. (2018). Water quality, survival, and growth of red tilapia, *Oreochromis niloticus* cultured in aquaponics system. *E3S Web of Conferences*, 47. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184702006>
- 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.
- 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>
- Wulandari, Cokrowati, N., Astriana, B. H., & Diniarti, N. (2019). Penurunan nilai padatan tersuspensi pada limbah tambak udang intensif menggunakan kerang darah (*Anadara granosa*). *Jurnal Kelautan*, 12(2), 123–130.
- 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. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 12(2): 212–223.