

Analisis Sintasan dan Pertumbuhan Kerang Pada Sistem *Integrated Agriculture Aquakulture* (IAA) Model *Floating-Bed* Berbasis GIS

Andrian Dwi Putra¹, Arnold Kabangga², Heriansah³, Nursyahran⁴, Is Arianto Pratama⁵

^{1,2,3,4,5}Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa

Email correspondence*: andricsss037@gmail.com

ABSTRACT

Fish farming activities in ponds produce waste in the form of feed residues and metabolic products such as urine and feces. To minimize the accumulation of these residual nutrients, an Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) system is applied that combines organisms of different trophic levels: fed organisms (fish, shrimp), organic extractive organisms (sea cucumbers, shellfish, sea urchins), and inorganic extractive organisms (seaweed). This study aims to evaluate the influence of floating-bed-based integrated cultivation system on the survival and growth of kijing clams (*Corbicula* sp.). The experimental design used a Group Random Design (RAK) with nine units of experimental ponds at the People's Hatchery Unit (UPR) Sipurenu, Soppeng Regency, for 90 days. Three treatments were tested based on *floating-bed moving time* intervals: A (no displacement), B (10-day replacement), and C (20-day replacement). The main parameter observed was Absolute Weight Growth (PBM). The results showed that the highest PBM was found in treatment B (117.6 g), while the lowest was in treatment A (31.5 g). The ANOVA test showed significant differences between treatments ($P < 0.05$), indicating that the frequency of displacement of extractive species affects the growth rate. In conclusion, the Integrated Agriculture-Aquaculture (IAA) system with a floating-bed model has a significant impact on the survival and growth of kijing mussels through the management of ecological utilization of aquaculture waste.

Keywords: Floating-Bed; GIS; Growth; IAA; Stuttgart; Squirrel

I. PENDAHULUAN

Budidaya ikan di perairan darat seperti tambak umumnya mengadopsi pendekatan intensif yang mengandalkan pakan buatan sebagai sumber utama makanan bagi ikan yang dibudidayakan. Namun, budidaya ikan dalam tambak akan menghasilkan limbah, termasuk sisa pakan yang tidak dikonsumsi dan sisa-sisa dari proses metabolisme (seperti urin dan feces). Sisa pakan dan feces tersebut akan terurai melalui proses dekomposisi membentuk senyawa nutrisi, seperti ammonia (NH_3), ammonium (NH_4), nitrat (NO_3), dan fosfat (PO_4), (Sinaga et al., 2021).

Temuan yang diungkapkan oleh (Marganof et al., 2007) bahwa secara umum hanya sekitar 70 hingga 75% dari jumlah pakan yang diberikan kepada ikan yang benar-benar dikonsumsi. Sementara itu, sisanya sekitar 25 hingga 30% dapat terlepas dan mencemari badan perairan. Selanjutnya sekitar 15 sampai 30% dari nitrogen dan fosfor dalam pakan akan diretensikan dalam daging ikan dan selebihnya terbuang ke badan perairan. Limbah dari pakan ini selain dapat menurunkan kualitas air, juga menjadi pemborosan pakan.

Upaya yang dilakukan untuk meminimalisir penumpukan nutrisi sisa kegiatan budidaya adalah penerapan teknologi Integrated Multi Trophic Aquaculture (IMTA) yang menggabungkan organisme dari beberapa trofik level. Trofik level berbeda pada sistem IMTA, yaitu organisme yang diberi pakan (udang dan ikan), organisme ekstraktif partikel organik, misalnya teripang, kerang, landak laut, serta organisme ekstraktif anorganik terlarut, misalnya rumput laut, (Chopin et al., 2012). Tiga kelompok utama spesies ekstraktif, yaitu: (1) suspension feeders, seperti tiram dan kerang, (2) deposit feeders, seperti landak laut dan teripang, dan (3) penyerap nutrisi terlarut, seperti rumput laut dan jenis tumbuhan lain, (Buck & Langan, 2017). Teknologi IMTA merupakan teknologi yang berwawasan lingkungan karena memiliki keunggulan yang dapat meminimalisir limbah, (Aliah, 2018)

Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya bahwa limbah hasil budidaya berupa sisa pakan dan feces, baik dalam bentuk organik maupun anorganik sebagian

tersuspensi di kolom air. Oleh karena itu, keberadaan organisme suspension feeder atau filter feeder, seperti kerang sangat penting untuk memanfaatkan limbah dalam air, (Lander et al., 2013). Penggunaan kerang sebagai salah satu organisme dalam sistem IMTA memiliki berbagai keunggulan, antara lain sebagai organisme pemakan partikel mampu menyaring semua bahan terlarut dalam perairan, (Ningsih et al., 2021). Karakteristik ekologis kerang sebagai filter feeder memungkinkannya sebagai bahan mitigasi limbah organik, selain merupakan bahan pangan yang bernilai ekonomis, (Kabangnga & Zulkhairiyah, 2020).

Kerang kijing (*Pilsbryconcha exilis*) merupakan salah satu jenis kerang yang berpotensi sebagai penyerap limbah. Jenis kerang air tawar ini adalah organisme filter feeder yang hidup di dasar perairan dan memakan bahan-bahan organik sisa dekomposisi, (Yulianto et al., 2019). Kijing mampu menyaring partikel berukuran 0,1 – 50,0 μm dari badan air dan pada ukuran partikel > 4,0 μm mampu memfiltrasi sampai 100%, (Putra et al., 2016). Kijing air tawar dapat memanfaatkan sisa-sisa makanan yang tidak dimakan oleh ikan serta dapat berfungsi menjadi biofilter, (Jayanthi et al., 2022; Sri-uam et al., 2016). Selain itu, kijing mampu menyaring fitoplankton dan material tersuspensi lainnya (Arduini et al., 2023; Santoso & Sunadji, 2020) serta memiliki kemampuan mengakumulasi logam berat yang ada pada lingkungan perairan.

Pada budidaya sistem IMTA dengan mengombinasikan biota akuatik dan tumbuhan seperti padi atau lebih dikenal dengan Integrated Agriculture-Aquaculture dimana pada prosesnya pakan diberikan kepada organisme yang bersifat feed species. Pakan merupakan sumber utama yang sangat menentukan jumlah nutrisi yang tersedia bagi organisme lain, (Putri et al., 2023). Pada penelitian ini, kerang kijing (*Pilsbryconcha exilis*) dipelihara dengan sistem Integrated Agriculture-Aquaculture (IAA) bersama ikan nila (*Oreochromis niloticus*) sebagai organisme yang diberi pakan, kerang air tawar (*Pilsbryconcha exilis*) sebagai penyerap nutrisi terdeposit, dan tanaman padi (*Oryza sativa*) sebagai penyerap nutrisi anorganik. Oleh karena itu, jenis pakan yang diberikan ke ikan nila organisme yang diberi pakan sangat menentukan ketersediaan makanan yang dapat diserap oleh organisme kerang kijing. Sebagai indikator keberadaan kerang kijing dalam sistem budidaya terintegrasi perlu analisis tentang sintasan dan pertumbuhan kerang sebagai manifestasi dari pemanfaatan nutrisi dalam sistem budidaya terintegrasi berbasis teknologi UAV-GIS.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh durasi perpindahan floating-bed terhadap pertumbuhan kerang

yang dipelihara dalam sistem kolam melalui pengukuran morfometrik dan bobot kerang. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan rancangan acak kelompok (RAK), (Muktiniati et al., 2022; Pedrosa et al., 2024; Weber & Skillings, 2018; Wu & Hamada, 2021) yang terdiri atas tiga perlakuan dan tiga ulangan pada sembilan plot kolam, yaitu perlakuan A tanpa perpindahan *floating-bed* selama pemeliharaan (kontrol), perlakuan B dengan perpindahan interval 10 hari, dan perlakuan C dengan perpindahan interval 20 hari, dengan dasar pertimbangan bahwa perubahan nutrisi perairan memerlukan waktu untuk bertransformasi dari bentuk organik ke anorganik. Pendekatan ini sejalan dengan praktik penelitian akuakultur eksperimental yang memanfaatkan variasi perlakuan manajemen budidaya dan kemudian dianalisis menggunakan uji sidik ragam pada taraf kepercayaan 95%, (Andriani et al., 2023; Panasani et al., 2024).

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli hingga September di kolam Unit Pembinaan Rakyat (UPR) Sipurenu milik mitra penelitian. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran langsung pertumbuhan dan bobot kerang pada floating-bed, meliputi pengukuran dimensi cangkang (panjang, lebar, dan tebal) serta penimbangan berat total dan berat basah daging kerang, mengikuti praktik standar morfometri dan hubungan panjang-berat pada bivalvia untuk menilai pertumbuhan dan persentase daging, (Amalia et al., 2023; Moruf, 2020; Zhang et al., 2018, 2023). Selain parameter biologi, kualitas air berupa amoniak, nitrat, dan fosfat dianalisis di laboratorium untuk menggambarkan dinamika nutrisi dalam kolam, sebagaimana lazim dilakukan pada studi kualitas air dan sistem budidaya intensif maupun terintegrasi, (Nataliah et al., 2022; Ramli et al., 2018).

Pengambilan sampel dilakukan setiap 10 hari pada sore hari (pukul 17.00 WITA) dan seluruh data dicatat secara harian, kemudian diinput serta dikelola menggunakan *Microsoft Excel*. Teknik analisis data diawali dengan uji asumsi statistik parametrik menggunakan uji *Shapiro-Wilk* dan uji *Levene* ($p > 0,05$) untuk memastikan normalitas dan homogenitas ragam, sebelum dilakukan analisis ragam (ANOVA) guna menguji pengaruh perlakuan durasi perpindahan *floating-bed*. Apabila terdapat perbedaan nyata pada taraf signifikansi 95% ($P < 0,05$), analisis dilanjutkan dengan Duncan's Multiple Range Test (DMRT) menggunakan perangkat lunak SPSS versi 25.0, pendekatan yang banyak digunakan dalam penelitian akuakultur untuk membedakan respons pertumbuhan

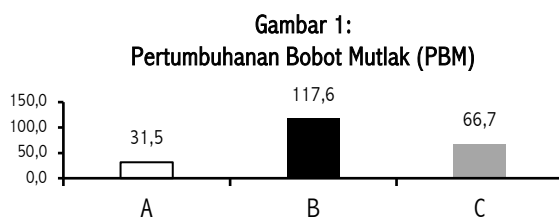
dan kualitas air antar perlakuan, (Andriani et al., 2023; Fasya et al., 2023; Panasani et al., 2024).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem *Integrated Agriculture Aquaculture* (IAA) berkembang sebagai pendekatan inovatif dalam pengelolaan sumber daya perairan yang mengintegrasikan kegiatan budidaya perikanan dengan komponen pertanian secara simultan dan berkelanjutan, (Ramli et al., 2018). Model ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan nutrisi, meminimalkan limbah, serta memperkuat ketahanan produksi melalui siklus ekologis yang saling mendukung antara organisme akuatik dan komponen pertanian. Salah satu bentuk implementasi IAA yang mulai banyak dikaji adalah penggunaan sistem *floating-bed*, yang berfungsi tidak hanya sebagai media budidaya, tetapi juga sebagai pengendali distribusi nutrisi dan kualitas perairan. Dalam akuakultur, sistem ini dinilai potensial untuk mendukung pertumbuhan dan sintasan organisme filter feeder seperti kerang, yang secara ekologis berperan dalam menyaring partikel organik dan memanfaatkan nutrisi terlarut dalam perairan, (Goda et al., 2024; Putri et al., 2023; Santoso & Sunadji, 2020).

Namun demikian, efektivitas sistem *floating-bed* dalam mendukung pertumbuhan dan kelangsungan hidup kerang sangat dipengaruhi oleh strategi pengelolaan, khususnya durasi dan frekuensi perpindahan media *floating-bed* selama masa pemeliharaan. Perpindahan media diduga memengaruhi dinamika nutrisi, ketersediaan pakan alami, serta stabilitas kualitas air, yang secara langsung berdampak pada respons fisiologis dan pertumbuhan organisme budidaya, (Lothmann & Sewilam, 2022; Tabrett et al., 2024). Selain itu, integrasi pendekatan spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (GIS) menjadi penting untuk mendukung pemetaan lokasi, pengelolaan ruang kolam, dan analisis lingkungan secara lebih komprehensif dalam sistem budidaya terintegrasi. Oleh karena itu, kajian mengenai sintasan dan pertumbuhan kerang pada sistem IAA model *floating-bed* berbasis GIS menjadi relevan untuk menghasilkan informasi ilmiah yang dapat mendukung pengembangan praktik budidaya berkelanjutan dan berbasis ekosistem.

Hasil penelitian mengenai perpindahan spesies ekstraktif terhadap laju pertumbuhan kerang kijing selama 90 hari dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber: hasil analisis penelitian

Gambar 1 menunjukkan Pertumbuhan Bobot Mutlak (PBM) tertinggi terjadi pada perlakuan B, yaitu sebesar 117,6 gr. Nilai pertumbuhan terendah ditemukan pada perlakuan A sebesar 31,5 gr. Data ini menunjukkan bahwa perpindahan spesies ekstraktif yang dilakukan berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan bobot mutlak.

Berdasarkan uji *Analysis of variance* (ANNOVA) diketahui bahwa pertumbuhan bobot mutlak pada Sistem *Integrated Agriculture Aquaculture* (IAA) model *floating-bed* terhadap kerang kijing memberikan pengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap laju pertumbuhan kerang kijing. Pertumbuhan adalah proses penambahan volume dan jumlah sel sehingga ukuran tubuh biota menjadi lebih besar. Bobot merupakan penambahan berat ikan yang hidup pada akhir pemeliharaan sehingga menjadi salah satu faktor penentu tingkat keberhasilan produksi kegiatan budidaya.

Berdasarkan data pengambilan sampel 10 hari yang diperoleh bahwa terjadi peningkatan bobot kerang kijing (*Pilsbryconcha exilis*) disetiap minggunya pada setiap pakan perlakuan. Energi makanan yang tersedia nampaknya melebihi kebutuhan metabolisme kerang kijing sehingga terjadi peningkatan bobot secara terus menerus. Pertumbuhan yang semakin meningkat karena indikasi pakan yang diserap menjadi energi masih tersisa sehingga digunakan untuk pertumbuhan, (Putra et al., 2016).

Adanya pertumbuhan selama pemeliharaan memberikan indikasi bahwa energi yang diperoleh dari pakan masih ada tersisa untuk pertumbuhan setelah digunakan dalam memenuhi kebutuhan untuk hidup. Pertambahan bobot akan terjadi bila jumlah nutrisi yang diserap lebih besar dari pada yang dibutuhkan untuk pemeliharaan tubuhnya. Energi makanan yang tersedia nampaknya melebihi kebutuhan metabolisme kerang kijing sehingga terjadi peningkatan bobot secara terus menerus. Pertumbuhan yang semakin meningkat karena indikasi pakan yang diserap menjadi energi masih tersisa sehingga digunakan untuk pertumbuhan.

Pemanfaatan nutrisi oleh kerang kijing (*Pilsbryconcha exilis*) pada penelitian sistem IMTA ini dapat dijelaskan dengan memulai pada aliran nutrisi. Pakan yang diberikan ke ikan nila sebagai biota yang diberikan pakan atau *feed spesies*, tidak semuanya dikonsumsi sehingga akan ada sisa pakan yang mengendap ke dasar perairan. Selain itu, pakan yang dikonsumsi ikan nila sebagian akan diekresikan menjadi feses dan urine, feses akan mengendap ke dasar sedangkan urine akan langsung diserap oleh padi. Sisa-sisa bahan organik maupun anorganik inilah, baik dalam bentuk partikel maupun yang sudah terurai akan diserap oleh kerang kijing (*Pilsbryconcha exilis*) melalui proses filtrasi secara nonselektif untuk digunakan dalam proses metabolisme dan pertumbuhan.

Pemanfaatan pakan dari bahan alami juga akan sangat menekan biaya produksi sehingga penggunaan pakan komersial sebagai jenis pakan utama sangat mendukung kegiatan produksi karena harganya yang sangat murah dan mudah di dapatkan namun memiliki kandungan protein yang

sangat tinggi sehingga sangat baik untuk pertumbuhan kerang kijing.

Pertumbuhan yang diukur pada penelitian ini adalah pertumbuhan bobot mutlak selama 90 hari pemeliharaan. Pertambahan bobot organisme dipengaruhi oleh jenis pakan yang diberikan, apabila jenis pakan yang diberikan memiliki kualitas yang baik, serta dapat memenuhi kebutuhan protein, jumlah yang dibutuhkan mencukupi, dan kondisi lingkungan yang mendukung maka akan sangat mempengaruhi laju pertumbuhan yang tinggi. Sebaliknya jika jenis pakan yang diberikan memiliki kualitas yang buruk, tidak memenuhi kebutuhan protein kerang kijing, jumlah yang diberikan tidak mencukupi, serta kondisi lingkungan yang buruk akan menghambat laju pertumbuhan organisme budidaya, (Putra et al., 2016).

Pakan merupakan aspek eksternal penting sebab pakan merupakan masukan gizi dan energi dari luar yang menunjang kehidupan organisme. Jumlah dan kualitas pakan yang tersuspensi dan terlarut akan menentukan kinerja filtrasi kerang kijing (*Pilsbryconcha exilis*) sebagai filter feeder untuk asupan energi yang dibutuhkan untuk hidup dan tumbuh. Cepat lambatnya suatu pertumbuhan akan sangat dipengaruhi oleh jenis pakan yang diberikan ke biota yang dibudidayakan, apabila biota mendapatkan pakan sesuai dengan yang dibutuhkan dan disukai maka pertumbuhan akan terus meningkat begitupun dengan laju filtrasi kerang kijing yang akan terus menerus menyerap pakan atau partikel tersebut.

Pertumbuhan yang relatif tinggi pada sistem IMTA diduga dapat disebabkan oleh dampak sistem budidaya IMTA yang dapat menciptakan kualitas air yang berkualitas dan mendukung tumbuh kembangnya kerang kijing. Air yang berkualitas merupakan faktor kunci yang sangat erat hubungannya dengan pertumbuhan. Pertumbuhan kerang kijing pada penelitian ini juga didukung sistem IMTA yang digunakan. Sistem IMTA dapat menciptakan kualitas air yang berkualitas dan mendukung tumbuh kembangnya kerang kijing. Air yang berkualitas merupakan faktor kunci yang sangat erat hubungannya dengan pertumbuhan. Pada sistem IMTA dapat mencegah terjadinya penurunan kualitas air karena limbah yang berupa sisa pakan dan kotoran sudah dimanfaatkan oleh filter feeder, (Tian et al., 2025).

Sisa pakan dan feses ikan nila dan lobster yang berbentuk partikel dan bahan organik yang tersuspensi dapat dimanfaatkan oleh kerang kijing (*Pilsbryconcha exilis*) yang bersifat filter feeder. Seperti pada budidaya lainnya, pakan komersil merupakan item biaya utama dalam produksi budidaya. Sebagian besar studi berkesimpulan bahwa pakan buatan berkontribusi lebih 50% dari total biaya produksi sehingga mempengaruhi profitabilitas, (Samy-Kamal et al., 2015). Selain itu, pengaruh negatif limbah pakan (sisa pakan dan feses) telah menjadi isu utama untuk akuakultur berkelanjutan, (Dauda et al., 2019). Sementara itu, pakan buatan adalah keniscayaan dalam meningkatkan produksi budidaya. Pertumbuhan pada semua fase umumnya ditentukan oleh jumlah nutrisi yang disediakan melalui pakan, (Irhayyim et al., 2020; Zaniboni et al., 2024). Fenomena ekonomi, ekologi, dan biologi yang kompleks dari pakan buatan sampai saat ini menuntut alternatif pemanfaatan sumber pakan yang lain.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa buangan limbah pakan pada budidaya ikan nila. Montanhini Neto & Ostrensky (2015) melaporkan ikan nila hanya mengasimilasi 35% Nitrogen dan 28% Fosfor dari pakan, selebihnya menjadi feses, urine, dan sisa pakan.

Sementara itu, pada (Sri-uam et al., 2016), ikan nila hanya mengasimilasi 38% N dan 31% P, selebihnya terbuang sebagai limbah. Limbah nutrisi dapat berdampak negatif pada ikan dan lingkungan (Dauda et al., 2019) serta pemborosan pakan.

Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa penggunaan kerang sebagai filter feeder berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan bobot mutlak, laju pertumbuhan spesifik ($P < 0.05$) namun tidak berpengaruh nyata terhadap kelangsungan hidup (Safaringga et al., 2017). Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan jenis pakan komersil akan sangat mempengaruhi laju filtrasi kerang kijing dan apabila laju filtrasi kerang tinggi maka akan berdampak pada pertumbuhannya yang juga tinggi, dengan menggunakan pakan komersil yang bersumber dari limbah dengan harga yang sangat terjangkau maka perbandingan akan terlihat dengan sangat signifikan karena ada beberapa perlakuan yang digunakan sehingga akan ada beberapa hasil yang kita dapatkan dan kita dapat melihat jenis pakan komersil apakah sangat mempengaruhi pertumbuhan bobot mutlak kerang.

Cepat lambatnya suatu pertumbuhan akan sangat dipengaruhi oleh jenis pakan yang diberikan ke biota yang dibudidayakan, apabila biota mendapatkan pakan sesuai yang dibutuhkan dan disukai maka pertumbuhan akan terus meningkat begitupun dengan laju filtrasi kerang kijing yang akan terus menerus menyerap pakan atau partikel tersebut.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem *Integrated Aquaculture Agriculture* (IAA) dengan model *floating-bed* berpengaruh nyata terhadap sintasan dan pertumbuhan kerang melalui penempatan spesies yang bersifat ekstraktif. Sistem IAA mampu meningkatkan kelangsungan hidup kerang serta mendorong pertumbuhan yang ditunjukkan oleh peningkatan signifikan pada parameter morfometrik, meliputi panjang, lebar, dan bobot cangkang selama masa pemeliharaan. Keberhasilan sistem ini menunjukkan bahwa integrasi komponen akuakultur dan pertanian dalam satu kesatuan ekosistem budidaya dapat mengoptimalkan pemanfaatan nutrisi terlarut, menekan akumulasi limbah organik, serta memperbaiki kualitas lingkungan perairan kolam. Selain itu, penerapan model *floating-bed* berkontribusi terhadap stabilitas kondisi perairan dan ketersediaan pakan alami bagi kerang, sehingga mendukung pertumbuhan yang berkelanjutan. Dengan demikian, sistem IAA berbasis *floating-bed* berpotensi dikembangkan sebagai strategi budidaya ramah lingkungan yang aplikatif dan berkelanjutan, khususnya dalam pengelolaan

akuakultur terpadu pada skala pembenihan maupun produksi.

V. REFERENSI

- Aliah, R. S. (2018). Keragaan Model Budidaya Perikanan Terintegrasi Multi Tropik Di Pantai Utara Karawang, Jawa Barat. *Jurnal Teknologi Lingkungan Bppt*, 13(1), 47–58.
- Amalia, F., Khoerunnisa, Hary, P., Soedibya, T., Listiowati, E., & Gyogyo, I. (2023). Morphological Character and Percentage of Hotate Clams (*Patinopecten Yessoensis*) Meat Weight in the Growing Phase, in Funka Bay, Hokkaido, Japan. *Journal Of Artha Biological Engineering*. <https://doi.org/10.62521/7njrz078>
- Andriani, Y., Zahidah, Z., Anando, D. A., & Pratama, R. (2023). Productivity of comet goldfish (*Carassius auratus*) cultured in aquaponics system using fine bubbles (FBs). *Aceh Journal of Animal Science*. <https://doi.org/10.13170/ajas.8.3.31827>
- Arduini, D., Portacci, G., Giangrande, A., Acquaviva, M., Borghese, J., Calabrese, C., Giandomenico, S., Quarta, E., & Stabili, L. (2023). Growth Performance of *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 under an Innovative Integrated Multi-Trophic Aquaculture System (IMTA) in the Mar Grande of Taranto (Mediterranean Sea, Italy). *Water*. <https://doi.org/10.3390/w15101922>
- Buck, B. H., & Langan, R. (2017). *Aquaculture perspective of multi-use sites in the open ocean: The untapped potential for marine resources in the anthropocene*. Springer Nature.
- 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.
- Dauda, A. B., Ajadi, A., Tola-Fabunmi, A. S., & Akinwale, A. O. (2019). Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. *Aquaculture and Fisheries*, 4(3), 81–88.
- Fasya, M. I., Diniarti, N., & Lumbessy, S. (2023). Addition of probiotic EM-4 with different concentrations in cultivation media on the growth and survival rate of freshwater pomfret fish (*Colossoma macropomum*). *JURNAL MINA SAINS*. <https://doi.org/10.30997/jmss.v9i2.9908>
- Goda, A., Aboseif, A., Taha, M., Mohammady, E., Aboushabana, N., Nazmi, H., Zaher, M., Aly, H., El-Okaby, M., Otazua, N. I., & Ashour, M. (2024). Optimizing nutrient utilization, hydraulic loading rate, and feed conversion ratios through freshwater IMTA-aquaponic and hydroponic systems as an environmentally sustainable aquaculture concept. *Scientific Reports*, 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63919-7>
- Irhayyim, T., Beliczky, G., Havasi, M., & Bercsényi, M. (2020). Impacts of magnetic water treatment on water quality, feeding efficiency and growth performance of common carp in integrated recirculating aquaculture systems. *Journal of Central European Agriculture*, 21, 246–255. <https://doi.org/10.5513/jcea01/21.2.2672>
- Jayanthi, M., Kumaran, M., Vijayakumar, S., Duraisamy, M., Anand, P., Samynathan, M., Thirumurthy, S., Kabiraj, S., Vasagam, K., Panigrahi, A., & Muralidhar, M. (2022). Integration of land and water resources, environmental characteristics, and aquaculture policy regulations into site selection using GIS based spatial decision support system. *Marine Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104946>
- Kabangnga, A., & Zulhairiyah, C. R. T. (2020). Monitoring dan Mitigasi Gas H₂s Limbah Organik Tambak Intensif dengan Menggunakan Biomarker Sederhana Monitoring and Mitigating H₂s Organic Waste from Intensive Aquaculture Using Simple Biomarker. *Jurnal Airaha*, 9(1).
- 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, 160–171.
- Lothmann, R., & Sewilam, H. (2022). Potential of innovative marine aquaculture techniques to close nutrient cycles. *Reviews in Aquaculture*. <https://doi.org/10.1111/raq.12781>
- Marganof, M., Darusman, L. K., Riani, F., & Pramudya, B. (2007). Analisis Beban Pencemaran, Kapasitas Asimilasi dan Tingkat Pencemaran dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Perairan Danau Maninjau. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 12(01), 8–14.
- Montanhini Neto, R., & Ostrensky, A. (2015). Evaluation of commercial feeds intended for the Brazilian production of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.): nutritional and environmental implications. *Aquaculture Nutrition*, 21(3), 311–320.
- Moruf, V. (2020). Shell Growth Pattern and Percentage Flesh Yield of the West African Clam, *Galatea paradoxa* (Born, 1778) from Itu Creek, Niger Delta Nigeria. *Nigerian Journal of Basic and*

- Applied Sciences*.
<https://doi.org/10.4314/njbas.v27i2.16>
- Muktiniati, M., Junaidi, M., & Setyono, B. (2022). Nitrogen Absorption Rate in *Kappaphycus alvarezii* with a Longline System in the IMTA (Integrated MultiTrophic Aquaculture) Area at Ekas Bay. *Jurnal Biologi Tropis*. <https://doi.org/10.29303/jbt.v22i3.3562>
- Nataliah, D., Alianto, Saleh, F., Simatauw, F., Zainuddin, F., & Dody, S. (2022). Studi Kualitas Air Kolam Ikan Air Tawar di Balai Benih Ikan Sentral Masni, Kabupaten Manokwari, Provinsi Papua Barat. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*. <https://doi.org/10.35970/jppl.v4i2.1477>
- Ningsih, I. R., Efendi, E., & Yuliana, D. (2021). Laju Filtrasi Kerang Hijau (*Perna viridis*Linn. 1758) yang Berbeda Ukuran Pada Berbagai Tingkat Salinitas Terhadap Mikroalga *Chaetoceros calcitrans* (Paulsen. 1968). *Biospecies*, 14(2), 37–43.
- Panasani, M. N. U., Alamsjah, M. A., Lamid, M., Shaumi, A., & Rozaimi, M. (2024). High Salinity Intensive Seaweed Growth Rate in Aquaponic Systems. *Journal of Aquaculture & Fish Health*, 13(3).
- Pedrosa, T., Batista, R., Dombroski, S. A. G., De Medeiros, J. F., De Oliveira, P. V. C., De Melo, R. R., & Portela, J. C. S. (2024). Use of aquaculture wastewater in the cultivation of cactus pear as an alternative for semi-arid regions. *Discover Applied Sciences*, 6. <https://doi.org/10.1007/s42452-024-05939-6>
- Putra, S., Arianto, A., Efendi, E., Hasani, Q., & Yulianto, H. (2016). EFEKTIFITAS KUIJING AIR TAWAR (*Pilsbryconcha exilis*) SEBAGAI BIOFILTER DALAM SISTEM RESIRKULASI TERHADAP LAJU PENYERAPAN AMONIAK DAN PERTUMBUHAN IKAN LELE SANGKURIANG (*Clarias gariepinus*)(Cek Similarity).
- Putri, A. A., Kabangnga, A., & Heriansah, H. (2023). Reduction of maggot feed nutrients by mussel (*Pilsbryconcha exilis*) on the Integrated Multi Thropic Aquaculture (IMTA) system. *Arwana: Jurnal Ilmiah Program Studi Perairan*. <https://doi.org/10.51179/jipsbp.v5i2.2246>
- Ramli, M., Yusoff, F., Giatsis, C., Tan, G., Verreth, J., & Verdegem, M. (2018). Effects of *Stigeoclonium nanum*, a freshwater periphytic microalga on water quality in a small-scale recirculating aquaculture system. *Aquaculture Research*. <https://doi.org/10.1111/are.13818>
- Samy-Kamal, M., Forcada, A., & Lizaso, J. L. S. (2015). Daily variation of fishing effort and ex-vessel prices in a western Mediterranean multi-species fishery: Implications for sustainable management. *Marine Policy*, 61, 187–195.
- Santoso, P., & Sunadji, S. (2020). Use of probiotics in fish feed and clams (*Pilsbryconcha exilis*) as biofilter components of aquaponic system in archipelagic dryland. *International Journal of Tropical Drylands*. <https://doi.org/10.13057/tropdrylands/t040203>
- Sinaga, R., Undap, S. L., Kusen, D. J., Pangemanan, N. P. L., Mudeng, J. D., & Pangemanan, J. (2021). Studi kualitas air di area akuakultur Desa Eris Kabupaten Minahasa. *E-Journal Budidaya Perairan*, 9(2).
- Sri-uam, P., Donnuea, S., Powtongsook, S., & Pavasant, P. (2016). Integrated multi-trophic recirculating aquaculture system for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Sustainability*, 8(7), 592.
- Tabrett, S., Ramsay, I., Paterson, B., & Burford, M. (2024). A review of the benefits and limitations of waste nutrient treatment in aquaculture pond facilities. *Reviews in Aquaculture*. <https://doi.org/10.1111/raq.12921>
- Tian, P., Zhang, F., Zhang, H., Wang, L., Zeng, H., Liu, Y., & Li, J. (2025). Dynamics of coastal wetlands and their impacts on migratory bird habitats in China-Southeast Asia-South Asia. *Ocean and Coastal Management*, 270. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2025.107883>
- Weber, D., & Skillings, J. (2018). *Randomized Complete Block Design*. 307–362. <https://doi.org/10.1201/9781315136318-10>
- Wu, C., & Hamada, M. (2021). Experiments. *Wiley Series in Probability and Statistics*. <https://doi.org/10.1002/9781119470007>
- Yulianto, H., Delis, P. C., & Aman, A. (2019). Effect of *pilsbryconcha exilis* as organic matter removal in the aquaponic system. *Jurnal Ilmu Perikanan Dan Sumberdaya Perairan*, 7(2).
- Zaniboni, A., Tassinari, P., & Torreggiani, D. (2024). GIS-based land suitability analysis for the optimal location of integrated multi-trophic aquaponic systems. *The Science of the Total Environment*, 169790. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169790>
- Zhang, A., Wang, L., Yang, X., Hu, X., Fu, Y., Li, C., Chen, A., & Yuan, X. (2018). Relationship between Shell Morphological Traits and Body Weight in Two Estuarine Clams, *Meretrix meretrix* and *Cyclina sinensis* in Shuangtaizi Estuary, Bohai Sea in China. *Journal of Shellfish Research*, 37, 989–996. <https://doi.org/10.2983/035.037.0509>
- Zhang, Z., Wu, Y., Zhang, Y., Zhu, Y., Cao, Y., Chen, S., Peng, Y., Sun, X., & Chen, A. (2023). Correlation of morphometric properties to meat yield and fatness index in the red strain of the saltwater

hard clam *Meretrix meretrix*. *PLOS ONE*, 18.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0284730>