

ANALISIS SISTEM PERTUMBUHAN DAN SINTASAN IKAN KAKAP, KERANG HIJAU DAN ANGGUR LAUT PADA BUDIDAYA TERINTEGRASI SISTEM RESIRKULASI TERKONTROL

Lusiana^{1*}, Heriansah², Arnold Kabangga³, Nur Annisa Firliana Muchlis⁴, Muh. Imanuddin Akmal⁵

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

Email correspondence*: lusiana@gmail.com

ABSTRACT

Integrated aquaculture or IMTA is a cultivation method that involves several communities with different trophic levels, in terms of the utilization of food sources (energy) in the waters. To determine the effect of species combinations on snapper growth in integrated cultivation of controlled recirculation system and To determine the effect of species combination on snapper survival in integrated cultivation of controlled recirculation system, the research method used was Complete Random Design (RAL) with 4 treatments and 3 replications and used ANOVA (Analysis Of Variance) data. The results showed that the survival of white snapper during 5 weeks of maintenance showed that the cultivation system had a significant effect on the ability of fish to survive, with the highest value in P4 treatment (IMTA) of 85.0% and lowest in P1 treatment (monoculture) of 43.80%, while P2 and P3 treatment reached 54.20% and 60.40% respectively. This pattern indicates that the integration of snapper with green shellfish and sea grapes in the IMTA system is able to create a more stable maintenance environment and support fish survival through the use of feed waste and feces as a source of nutrition for other organisms, thereby reducing the accumulation of toxic materials such as ammonia that have the potential to trigger stress and death. The results of ANOVA's analysis, which showed a significant influence of species combinations on synthesizers, as well as Tukey's follow-up tests, which confirmed the very real difference between P4 and other treatments, reinforced that integrated aquaculture approaches are more effective than monocultures or simple polycultures in improving the survival of white snapper in a closed recirculation system.

Keywords: controlled recirculation; growth; green mussels; nutrient reduction; sea grapes; snapper

I. PENDAHULUAN

Limbah nutrisi merupakan konsekuensi tak terhindarkan dari budidaya intensif berbasis pakan karena ikan hanya mengasimilasi sebagian nitrogen (N) dan fosfor (P) pakan, sementara sisanya terakumulasi di air dan sedimen atau terbuang ke perairan penerima (Campanati et al., 2021; Yang et al., 2021; Yang et al., 2017). Studi-studi anggaran nutrisi pada kolam dan tambak menunjukkan bahwa >90% N dan P masuk dari pakan, tetapi hanya sekitar 40–50% N dan 25–30% P yang keluar sebagai biomassa panen, sedangkan 30–70% lainnya menjadi sedimen atau effluent yang berpotensi memicu eutrofikasi (Yang et al., 2021; Chaikaew et al., 2019). Pada skala kawasan, tambak udang pesisir di Tiongkok, misalnya, melepas puluhan ton N dan P per tahun ke estuari meskipun efisiensi pemanfaatan nutrisi di dalam petakan relatif tinggi (Yang et al., 2021; Yang et al., 2017).

Untuk mengurangi kehilangan nutrisi dan dampak lingkungan, teknologi budidaya berkembang ke arah kokultur/IMTA dan sistem resirkulasi (RAS), di mana spesies "fed" (ikan kakap) dikombinasikan dengan spesies ekstraktif seperti kerang hijau (bivalvia filter feeder) dan anggur laut (makroalga) pada satu kesatuan sistem (Nederlof et al., 2021; Lothmann & Sewilam, 2022; Henares et al., 2020). Pendekatan ini memungkinkan limbah pakan dan feses dari ikan dimanfaatkan kembali oleh kerang sebagai partikel tersuspensi, sementara N dan P terlarut diserap makroalga sehingga meningkatkan efisiensi retensi nutrisi, menurunkan FCR sistem, serta menambah produk sampingan bernilai ekonomi (Goda et al., 2024; Nederlof et al., 2021; Lohan & Sewilam, 2022). Secara konseptual, sistem empat trofik (ikan–seaweed–bivalvia–deposit feeder) mampu menahan 79–94% N,

P, dan C pakan; pada sistem tertutup/rasional, efisiensi realistis 45–75% dapat dicapai (Nederlof et al., 2021).

Dalam RAS, pengelolaan limbah nutrisi sangat krusial karena biaya penanganan limbah bisa mencapai 30–50% biaya produksi, dan konsentrasi nutrisi yang tinggi menuntut solusi pemanfaatan, bukan sekadar pembuangan (Ende et al., 2024). Integrasi komponen biologis seperti mikroalga, makroalga, dan filter feeder di dalam RAS menawarkan jalur sirkular untuk mengkonversi nutrisi limbah menjadi biomassa bernilai, sekaligus meningkatkan kualitas air (oksigenasi, penyerapan CO₂, penurunan N dan P) (Li et al., 2019; Ende et al., 2024; Jakhwal et al., 2024). Studi RAS–IMTA dengan sea bass + mikroalga + tiram, misalnya, menunjukkan efisiensi penghilangan nitrat dan fosfat >96% di kolam alga, meskipun pertumbuhan bivalvia masih terbatas oleh pasokan pakan alami (Li et al., 2019). Co-culture ikan–Ulva dalam RAS juga dilaporkan memperbaiki kualitas air (peningkatan pH dan O₂, penurunan CO₂, amonia dan nitrat) sekaligus meningkatkan pertumbuhan dan status nutrisi ikan (Chatzoglou et al., 2020). Sistem RAS berbiaya rendah yang mengintegrasikan ikan, deposit feeder, dan halofit darat mampu menahan sekitar 64% N pakan dengan peluang peningkatan hingga mendekati penutupan beban DIN jika rasio biomassa tanaman ditingkatkan (Senff et al., 2020).

Kajian sintesis anggaran nutrisi di kolam air tawar menyimpulkan bahwa ikan umumnya mengasimilasi hingga ±45% N dan 60% P pakan, dengan 7–32% N dan 30–84% P berada pada fraksi partikulat dan sisanya terlarut di kolom air (Campanati et al., 2021; Azad et al., 2017). Pada tambak udang intensif, 43–49% N dan 27–31% P keluar sebagai biomassa panen, sementara 28–44% N dan 56–68% P mengendap sebagai sedimen; meski konsentrasi di air masih dalam batas baku mutu untuk N, P tetap melebihi standar sepanjang siklus (Yang et al., 2021; Chaikaew et al., 2019). Secara agregat, tambak-tambak di pesisir Tiongkok melepaskan sekitar $4,77 \times 10^4$ ton N dan $3,75 \times 10^3$ ton P per tahun ke zona pesisir, menegaskan peran effluent akuakultur sebagai kontributor penting polusi nutrisi (Yang et al., 2017). Angka-angka ini mendukung argumen bahwa pakan buatan adalah sumber utama N dan P pada sistem monokultur intensif, dan bahwa fraksi besar dari nutrisi tersebut masih potensial untuk dimanfaatkan kembali melalui integrasi spesies ekstraktif.

Tema dalam penelitian ini menjadi penting karena menggabungkan tiga komponen kunci: ikan karang bernilai tinggi (kakap) sebagai *spesies fed*, *bivalvia filter feeder* (kerang hijau) sebagai pengguna partikel organik, dan makroalga laut (anggur laut) sebagai penyerap nutrisi terlarut, semuanya dalam kerangka RAS. Studi IMTA akuaponik air tawar yang ada umumnya berfokus pada nila, lele, mullet, udang air tawar, kerang air tawar, dan sayuran, dengan laporan bahwa kombinasi detritivor–mussel–tanaman dapat meningkatkan retensi N hingga

±83,5% dan P hingga ±96,8% (Goda et al., 2024). Di sisi lain, studi RAS–IMTA laut yang ada banyak berfokus pada kombinasi spesifik seperti sea bass Ulva, abalon rumput laut merah, atau modul IMTA dengan rumput laut komersial (*Kappaphycus alvarezii*) (Li et al., 2019; Hamilton et al., 2022; Chatzoglou et al., 2020; Azad et al., 2017). Sampai saat ini, laporan kuantitatif yang secara khusus menganalisis simultan laju pertumbuhan kakap, performa filtrasi dan pertumbuhan kerang hijau, serta serapan nutrisi oleh anggur laut dalam RAS yang benar-benar terkontrol masih sangat terbatas.

Berdasarkan beberapa hasil penelitian sebelumnya, maka dalam penelitian ini akan mengisi kekosongan, seperti 1) Spesies dan kombinasi trofik: Kebanyakan studi IMTA–RAS berfokus pada sea bass, salmon, atau tilapia dengan satu jenis seaweed dan/atau bivalvia; kombinasi spesifik kakap–kerang hijau–anggur laut dalam sistem resirkulasi laut sangat jarang dilaporkan (Nederlof et al., 2021; Li et al., 2019; Lothmann & Sewilam, 2022; Kerrigan & Suckling, 2018); 2) Pendekatan simultan “pertumbuhan + anggaran nutrisi”: Banyak penelitian hanya menekankan bioremediasi (efisiensi penghilangan N dan P oleh seaweed atau mikroalga) atau hanya pertumbuhan spesies ekstraktif; analisis terpadu yang menghubungkan pertumbuhan kakap dan kerang hijau dengan reduksi konsentrasi N–P oleh anggur laut dalam satu kerangka anggaran nutrisi di RAS masih minim (Goda et al., 2024; Nederlof et al., 2021; Li et al., 2019; Jakhwal et al., 2024); 3) Konteks RAS terkontrol di lingkungan tropis/pesisir: Beberapa studi RAS–IMTA tropis berbiaya rendah sudah ada, namun umumnya pada sistem percobaan skala kecil dengan jenis ikan/halofit lain dan tanpa analisis detail retensi nutrisi untuk tiap komponen (Senff et al., 2020). Penelitian Anda berpotensi mengisi kekosongan data untuk kombinasi spesies tropis bernilai ekonomi tinggi dalam RAS laut terkontrol; dan 4) Dimensi circularity dan efisiensi sistem: Kajian circularity IMTA menunjukkan peningkatan hingga 80–90% untuk indikator bioremediasi dan efisiensi sumber daya, tetapi masih jarang yang mengaitkan metrik tersebut dengan konfigurasi spesifik RAS, parameter operasional (laju resirkulasi, kepadatan tebar), dan performa pertumbuhan multi-spesies secara bersamaan (Checa et al., 2024; Campanati et al., 2021; Henares et al., 2020).

Pengelolaan limbah nutrisi masih menjadi “bottleneck” lingkungan dan ekonomi di akuakultur berbasis pakan (Ende et al., 2024; Tabrett et al., 2024), pengembangan model budidaya terintegrasi kakap–

kerang hijau—anggur laut dalam sistem resirkulasi terkontrol memiliki dua kontribusi utama. Secara ilmiah, penelitian ini menyediakan data kuantitatif tentang hubungan antara aliran nutrisi, fungsi trofik (fed vs ekstraktif), dan respon pertumbuhan pada sistem laut tertutup, melengkapi kerangka teoritis retensi nutrisi IMTA yang selama ini lebih banyak berasal dari studi konseptual atau meta-analisis (Nederlof et al., 2021; Kerrigan & Suckling, 2018). Secara praktis, hasil penelitian dapat digunakan untuk merancang protokol operasional (komposisi spesies, rasio biomassa, manajemen pakan, kontrol kualitas air) yang menekan beban limbah, meningkatkan produktivitas multi-komoditas, serta mendukung transisi akuakultur menuju sistem resirkulasi rendah limbah dan ekonomi sirkular (Goda et al., 2024; Ende et al., 2024; Checa et al., 2024; Campanati et al., 2021).

II. METODE PENELITIAN

Penelitian di laksanakan pada bulan Juli - Agustus 2025 di Institut akuakultur moncongloe Maros. Pengujian kualitas air dilaksanakan di Laboratorium Politeknik Pertanian Negeri Pangkep. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan beberapa perlakuan dan ulangan, serupa dengan rancangan eksperimen akuakultur yang digunakan oleh (Nurdini et al., 2023; Yazed et al., 2023):

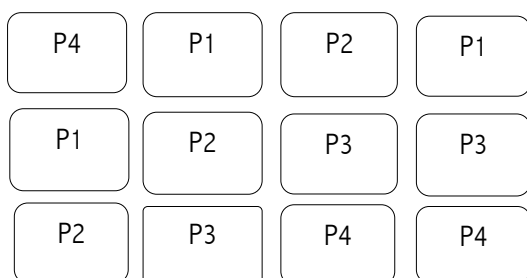
Tabel 1:
Perlakuan penelitian

| NO | Kode Perlakuan | Perlakuan |
|----|----------------|--|
| 1 | P1 | Monokultur ikan kakap putih |
| 2 | P2 | Pulikultur ikan kakap putih +kerang hijau |
| 3 | P3 | Polikultur ikan kakap putih +anggur laut |
| 4 | P4 | ombinasi ikan kakap putih + kerang hijau + anggur laut |

Sumber: (Nurdini et al., 2023; Yazed et al., 2023)

Tata letak wadah penelitian dapat di lihat pada gambar sebagai berikut:

Gambar 1:
Tata letak wadah penelitian



Penelitian ini dilaksanakan sesuai prosedur dan tahapan sebagai berikut:

1. Tahap persiapan, yaitu merupakan tahapan awal penelitian untuk menyiapkan organisme uji serta wadah dan media pemeliharaan. Organisme uji yang digunakan pada penelitian budidaya terintegrasi resirkulasi tertutup ini adalah ikan kakap putih (*Lates calcarifer*), kerang hijau (*Perna viridis*), dan Anggur laut (*Caulerpa Racemosa*). Ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) diperoleh dari unit pembenihan di Kabupaten Takalar dengan bobot awal $2,0 \pm 0,2$ g/ekor. Kerang hijau diperoleh dari perairan Segeri Kabupaten Pangkep dengan bobot awal $5,0 \pm 0,5$ g/individu, dan anggur laut di peroleh dari Pulau Saugi Kabupaten Pangkep dengan bobot masing - masing 150 g/tray. Wadah pemeliharaan ikan kakap, kerang hijau, dan anggur laut, menggunakan bak plastik berkapasitas 120 L. Media pemeliharaan menggunakan air laut bersainitas 30-32ppt kualitas air yang dapat ditolerir oleh setiap organisme. Berdasarkan literatur, nilai kisaran yang dapat ditolerir oleh ikan kakap, kerang hijau, dan anggur laut adalah pada suhu $27,5 - 34,0^{\circ}\text{C}$, oksigen terlarut (DO) 3,5 - 3,9mg/L, salinitas 25 - 32ppt, dan pH 7- 9, (Aslamiah et al., 2019; Sagita et al., 2017).
2. Tahap pemeliharaan, yaitu wadah pemeliharaan ikan kakap, kerang hijau, anggur laut. masing-masing di isi air 80 L. Organisme uji telah diadaptasikan selama 2 hari, ditimbang lebih dahulu sebelum ditebar sebagai bobot awal pemeliharaan. Selama 5 minggu penelitian di laksanakan pemberian pakan komersil Pakan diberikan dengan dosis 5% dari biomassa ikan dalam setiap wadah pemeliharaan dengan frekuensi 3 (tiga) kali sehari pada pukul 08.00, 13.00 dan 17.00 WITA, (Appelbaum & Arockiaraj, 2010); dan
3. Tahap pengumpulan data, yaitu data yang di ambil dari penelitian ini, meliputi, sintasan, dan jumlah bobot pertumbuhan ikan kakap. Data jumlah berat diperoleh dengan cara menimbang bobot ikan kakap 7 hari sampai pada akhir pemeliharaan. Pengukuran berat menggunakan timbangan digital ketelitian 0.01g. Parameter kualitas air yang diukur (suhu, salinitas, DO, pH, amonia) mengacu pada prioritas parameter utama dalam pemantauan kualitas air akuakultur laut yang dilaporkan (Prapti et al., 2021; Su et al., 2020) sebagaimana pada tabe 2 di bawah ini:

Tabel 2:

| 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 (mg/L) | Wwal,pertengahan,akhir penelitian |

Sumber: (Prapti et al., 2021; Su et al., 2020)

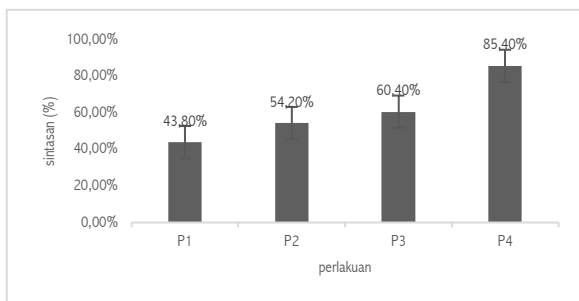
Data pertumbuhan mutlak (PBM), pertumbuhan spesifik, dan sintasan dianalisis secara statistik dengan menggunakan analisis ragam (ANOVA), (Onuwa & Olanihin, 2024). Untuk mengetahui pengaruh kombinasi kerang hijau dan anggur laut terhadap pertumbuhan, dan sintasan, ikan kakap. Perlakuan yang berpengaruh nyata ($P < 0,05$) dilanjutkan dengan uji Tukey's HSD untuk mengetahui perbedaan RKP antar perlakuan, (Agbangba et al., 2024; Norazmi-Lokman et al., 2020; Yazed et al., 2023). Analisis ragam dan korelasi dilakukan pada selang kepercayaan 95% dengan menggunakan software program SPSS versi 25. Data parameter kualitas air di analisis secara deskriptif.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintasan

Hasil perhitungan sintasan (SR), ikan kakap yang dipelihara selama 5 minggu dengan metode kombinasi spesies yang berbeda dapat di lihat pada Gambar 2 sebagai berikut:

Gambar 2:
Sintasan (SR)



Sumber: hasil olah data penelitian

Hasil perhitungan sintasan (SR) ikan kakap yang dipelihara selama 5 minggu dengan kombinasi spesies berbeda disajikan pada Gambar 2. Sintasan tertinggi diperoleh pada perlakuan P4 (IMTA: kakap + kerang hijau + anggur laut) yaitu 85,0%, sedangkan sintasan terendah terdapat pada perlakuan

P1 (monokultur kakap) yaitu 43,80%. Perlakuan P2 (kakap + kerang hijau) menghasilkan sintasan 54,20% dan P3 (kakap + anggur laut) 60,40%.

Secara statistik, hasil uji Analysis of Variance (ANOVA) menunjukkan bahwa kombinasi ikan kakap, kerang hijau, dan anggur laut berpengaruh signifikan terhadap sintasan ikan kakap ($p < 0,05$). Uji lanjut Tukey menunjukkan bahwa P1 tidak berbeda nyata dengan P2 dan P3 ($p > 0,05$), namun ketiga perlakuan tersebut (P1, P2, P3) berbeda sangat nyata dengan perlakuan IMTA P4 ($p < 0,05$). Pola ini menunjukkan bahwa penambahan kedua organisme penyerap/filter (kerang hijau dan anggur laut) secara bersamaan memberikan peningkatan sintasan yang jauh lebih besar dibandingkan monokultur maupun polikultur dua spesies.

Sintasan pada IMTA penelitian ini (85,0%) sedikit lebih tinggi dibandingkan sintasan udang vaname dalam sistem IMTA dengan ikan dan rumput laut yang dilaporkan sebesar 71%, (Verdian et al., 2020), namun masih lebih rendah dibanding beberapa sistem IMTA air tawar dengan tilapia yang melaporkan sintasan di atas 90%, (Goda et al., 2024a; Nurfadillah et al., 2021). Perbedaan ini dapat dikaitkan dengan jenis biota yang digunakan, kondisi lingkungan, lama pemeliharaan, dan padat tebar, (Goda et al., 2024a; Nurfadillah et al., 2021; Verdian et al., 2020). Selain itu, sintasan monokultur dan polikultur pada penelitian ini lebih rendah daripada polikultur lele-nila (95,11%) dan monokultur (65,07%) yang dilaporkan sebelumnya, yang juga dipengaruhi oleh perbedaan spesies, padat tebar, dan durasi pemeliharaan, (Tawaha et al., 2021; Wanja et al., 2020; Yazed et al., 2023).

Secara ekologis, sintasan yang lebih tinggi pada sistem IMTA (P4) didukung oleh banyak penelitian yang menunjukkan bahwa integrasi spesies penyaring dan penyerapan nutrisi mampu menurunkan konsentrasi nitrogen anorganik (amonia, nitrit, nitrat) serta memperbaiki kualitas air, sehingga menurunkan stres dan meningkatkan kelangsungan hidup ikan, (Cotou et al., 2024; Goda et al., 2024a; Guo et al., 2022; Nurfadillah et al., 2021; Rind et al., 2023; Verdian et al., 2020). Pada sistem IMTA kakap laut Eropa, misalnya, sintasan, penambahan bobot, dan efisiensi pakan lebih tinggi dibandingkan monokultur, dengan konsentrasi nutrisi di air dan sedimen yang lebih rendah, (Cotou et al., 2024). IMTA lain berbasis tilapia, lele, udang, kerang, dan sayuran menunjukkan pemanfaatan limbah pakan dan ekskresi ikan yang lebih efisien, FCR yang lebih rendah (0,90 vs $> 1,2$), serta peningkatan retensi N dan P dalam biota sehingga limbah terlarut

berkurang, (Goda et al., 2024b). Studi IMTA dengan tilapia dan ikan lokal juga melaporkan peningkatan pertumbuhan, sintasan, dan biomassa tilapia pada perlakuan IMTA dibanding tanpa IMTA, (Nurfadillah et al., 2021)

Pada penelitian ini, kerang hijau dan anggur laut berperan sebagai filter feeder dan penyerap nutrisi, yang memanfaatkan limbah organik dan anorganik dari kakap (feses, urin, dan sisa pakan). Peran organisme seperti ini dalam IMTA terbukti dapat menurunkan konsentrasi nitrogen anorganik dan partikel tersuspensi, sekaligus menstabilkan pH dan oksigen terlarut, sehingga mendukung kondisi lingkungan yang lebih baik bagi pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan, (Cotou et al., 2024; Goda et al., 2024a; Guo et al., 2022; Rind et al., 2023; Verdian et al., 2020.) Dengan demikian, tingginya sintasan kakap pada perlakuan P4 logis dan sejalan dengan konsep IMTA yang mengoptimalkan pemanfaatan limbah pakan dan ekskresi sebagai sumber nutrisi bagi komoditas lain.

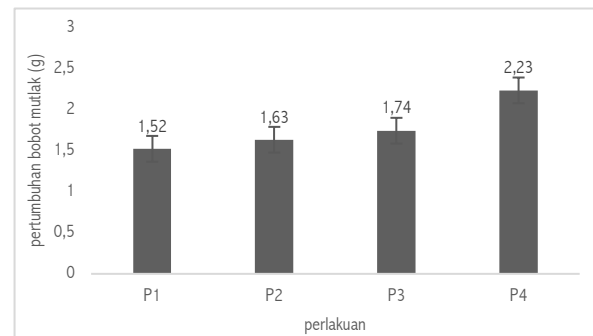
Sebaliknya, sintasan terendah pada monokultur (P1) dapat dijelaskan oleh akumulasi sisa pakan dan kotoran kakap yang tidak dimanfaatkan, yang kemudian diuraikan menjadi amonia, nitrit, dan nitrat. Sejumlah kajian menunjukkan bahwa intensifikasi budidaya dengan manajemen pakan yang kurang efisien menyebabkan sebagian besar nutrisi (lebih dari 50–70%) terbuang sebagai limbah, meningkatkan konsentrasi nitrogen anorganik yang bersifat toksik dan menurunkan kelangsungan hidup ikan, (Munguti et al., 2020; Xu et al., 2021). Review tentang toksisitas amonia menegaskan bahwa paparan amonia yang tinggi atau kronis dapat mengganggu fisiologi, imun, perilaku, dan pada akhirnya menurunkan pertumbuhan dan sintasan ikan, (Parvathy et al., 2022). Studi lapangan di kolam budidaya juga menemukan bahwa kadar amonia, nitrit, dan nitrat yang tinggi berkaitan dengan peningkatan kematian ikan dan kejadian penyakit, (Mramba & Kahindi, 2023; Wanja et al., 2020).

Dengan demikian, perbedaan sintasan yang nyata antara monokultur, polikultur, dan IMTA pada penelitian ini sangat konsisten dengan literatur 2018–2024 yang menunjukkan bahwa: (1) kualitas air merupakan faktor kunci penentu sintasan; (2) sistem IMTA dan teknologi pengelolaan nutrisi lain (polikultur, *biofloc*, *eco-substrate*) cenderung meningkatkan pertumbuhan dan survival melalui perbaikan kualitas air dan efisiensi pemanfaatan limbah; dan (3) akumulasi amonia dan nitrogen anorganik pada sistem monokultur intensif merupakan salah satu faktor risiko utama penurunan kelangsungan hidup ikan, (Cotou et al., 2024; Goda et al., 2024a; Guo et al., 2022; Mramba & Kahindi, 2023; Nurfadillah et al., 2021).

Pertumbuhan bobot mutlak (PBM)

Hasil perhitungan pertumbuhan bobot mutlak (PBM) ikan kakap yang dipelihara selama 5 minggu dengan kombinasi spesies berbeda disajikan pada Gambar 3. Perlakuan P1 (monokultur kakap) menghasilkan PBM sebesar 1,53 g; P2 (kakap + kerang hijau) sebesar 1,63 g; P3 (kakap + anggur laut) sebesar 1,74 g; dan P4 (IMTA: kakap + kerang hijau + anggur laut) sebesar 2,23 g. Nilai PBM tertinggi terdapat pada perlakuan P4 (IMTA), sedangkan yang terendah pada P1 (monokultur).

Gambar 3:
Pertumbuhan Bobot Mutlak (PBM)



Sumber: hasil olah data penelitian

Berdasarkan hasil uji Analysis of Variance (ANOVA), kombinasi ikan kakap, kerang hijau, dan anggur laut berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap PBM ikan kakap selama 5 minggu pemeliharaan. Uji lanjut W-Tukey menunjukkan bahwa perlakuan P1 berbeda nyata dengan P4 ($p < 0,05$), namun tidak berbeda nyata dengan P2 dan P3. Hal ini mengindikasikan bahwa integrasi penuh dalam sistem IMTA memberikan peningkatan pertumbuhan bobot yang lebih besar dibandingkan monokultur maupun polikultur dua spesies.

Secara definisi, pertumbuhan bobot mutlak merupakan selisih antara bobot total ikan pada akhir penelitian dan bobot total ikan pada awal penelitian (setelah ditambahkan bobot ikan yang mati selama pemeliharaan, (Martadinata et al., 2024)). Pada penelitian ini, PBM tertinggi pada P4 (2,23 g) menunjukkan bahwa kondisi lingkungan dan pemanfaatan nutrisi pada sistem IMTA lebih mendukung pertumbuhan kakap dibanding perlakuan lainnya. Hasil ini sejalan dengan temuan bahwa perbaikan kualitas media budidaya serta peningkatan pemanfaatan nutrisi pakan dapat meningkatkan penambahan bobot ikan, misalnya pada kakap putih yang diberi pakan dengan penambahan asam humat sehingga pemanfaatan nutrisi, pertumbuhan, dan

kelangsungan hidup meningkat dibanding control, (Rasidi et al., 2020a).

Jika dibandingkan dengan penelitian integrasi kerapu macan, bawal bintang, dan rumput laut selama 150 hari yang menghasilkan rata-rata bobot akhir kerapu $173,45 \pm 36,61$ g/ekor, (Putra et al., 2022). PBM kakap dalam penelitian ini relatif lebih rendah, terutama karena perbedaan spesies, durasi pemeliharaan, dan komposisi biota yang diintegrasikan. Demikian pula, nilai PBM pada penelitian ini lebih rendah daripada pertumbuhan bobot absolut benih ikan mas koki oranda yang mencapai 1,68 g dalam 1–2 bulan dengan dosis pakan alami cacing darah yang optimal, (Martadinata et al., 2024). Perbedaan-perbedaan tersebut dapat dikaitkan dengan jenis organisme, media (air tawar vs air payau/laut), padat tebar, dan strategi pemberian pakan, (Bambang et al., 2024; Martadinata et al., 2024; Rasidi et al., 2020a).

Secara umum, PBM pada perlakuan IMTA dan polikultur lebih tinggi daripada monokultur. Hal ini konsisten dengan konsep bahwa sistem integrasi mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan limbah nutrisi serta menjaga kualitas air. Dalam sistem IMTA, limbah nutrisi dari kakap (sisa pakan dan feses) dimanfaatkan oleh kerang hijau dan anggur laut sebagai sumber nutrisi, sehingga mengurangi akumulasi bahan organik dan nitrogen anorganik di perairan. Pendekatan serupa, yakni peningkatan kualitas air dan pemanfaatan nutrisi telah terbukti mendukung pertumbuhan ikan, misalnya melalui penggunaan ecoenzim pada budidaya lele mutiara yang menjaga parameter kualitas air dalam kisaran layak dan tetap memungkinkan terjadinya pertambahan bobot selama pemeliharaan, (Bambang et al., 2024). Penelitian lain menunjukkan bahwa pengelolaan nutrisi dan pakan yang tepat, termasuk penggunaan feed additive, dapat meningkatkan retensi protein, efisiensi pakan, dan laju pertumbuhan spesifik pada ikan kakap putih, (Rasidi et al., 2020).

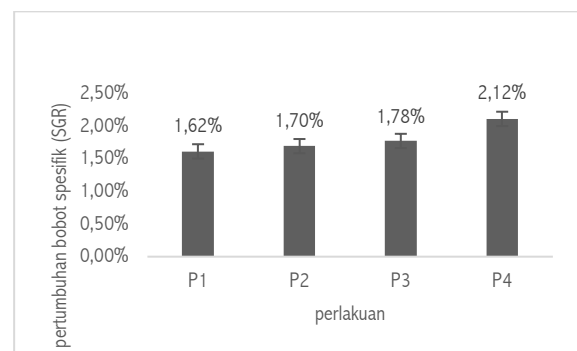
Dengan menurunnya beban limbah di media budidaya, kualitas air termasuk oksigen terlarut dan stabilitas parameter kimia lebih terjaga, sehingga mengurangi stres dan mendukung pertumbuhan ikan. Konsep hubungan antara kecukupan nutrisi, kualitas air, dan pertambahan bobot juga tampak pada pemeliharaan larva ikan gabus, di mana frekuensi pemberian pakan awal yang memadai pada sistem air hijau mampu mempertahankan pertumbuhan dan kelangsungan hidup yang baik, (Prihadi et al., 2018). Dengan demikian, peningkatan PBM pada perlakuan IMTA dalam penelitian ini dapat dijelaskan oleh sinergi antara perbaikan kualitas lingkungan dan peningkatan efisiensi pemanfaatan nutrisi, yang sejalan dengan temuan riset budidaya modern, seperti, (Bambang et al., 2024; Martadinata et al., 2024; Prihadi et al., 2018; Rasidi et al., 2020a).

Pertumbuhan bobot spesifik (SGR)

Hasil perhitungan laju pertumbuhan bobot spesifik (SGR) ikan kakap yang dipelihara selama 5 minggu dengan kombinasi spesies berbeda disajikan pada Gambar 4. Perlakuan P1 (monokultur kakap) menghasilkan SGR sebesar 1,62%; P2 (kakap + kerang hijau) 1,70%; P3 (kakap + anggur laut) 1,78%; dan P4 (IMTA: kakap + kerang hijau + anggur laut) 2,12%. Nilai SGR tertinggi terdapat pada perlakuan P4 (IMTA), sedangkan SGR terendah pada P1 (monokultur).

Uji *Analysis of Variance* (ANOVA) menunjukkan bahwa kombinasi ikan kakap, kerang hijau, dan anggur laut berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap SGR ikan kakap selama 5 minggu pemeliharaan. Uji lanjut *W-Tukey* memperlihatkan bahwa P1 berbeda nyata dengan P4 ($p < 0,05$), tetapi tidak berbeda nyata dengan P2 dan P3. Sementara itu, P3 tidak berbeda nyata dengan P4, namun juga tidak berbeda dengan P1, sehingga pola pengelompokan menunjukkan bahwa sistem IMTA (P4) cenderung memberikan pertumbuhan terbaik, diikuti polikultur dua spesies, dan yang terendah monokultur.

Gambar 4:
Pertumbuhan Bobot Spesifik (SGR)



Sumber: hasil olah data penelitian

Hasil analisis menunjukkan bahwa laju pertumbuhan bobot spesifik adalah persentase peningkatan bobot ikan per satuan waktu, yang dihitung dari perbedaan logaritmik bobot awal dan akhir dibagi dengan lama pemeliharaan (hari atau minggu), (Ardiansyah & Permatasari, 2025; Prakoso et al., 2020; Rahmawati et al., 2016). Pada penelitian ini, SGR tertinggi pada P4 (2,12%) menandakan bahwa ikan kakap dalam sistem IMTA mengalami peningkatan bobot harian relatif yang lebih besar dibandingkan monokultur dan polikultur dua spesies. Nilai SGR kakap dalam penelitian ini sebanding dengan SGR kakap putih yang dipelihara dengan pakan mengandung aditif tepung jinten hitam, di mana dosis optimal menghasilkan SGR sekitar 2,15% per hari, (Mardiana et al., 2024), dan

juga sejalan dengan temuan bahwa penambahan asam humat dalam pakan kakap putih dapat meningkatkan SGR dan efisiensi pemanfaatan pakan dibanding control, (Rasidi et al., 2020b)

Jika dibandingkan dengan penelitian IMTA pada ikan nila di sistem air payau, SGR kakap pada penelitian ini relatif lebih rendah. Misalnya, ikan nila yang dikokultur dalam sistem IMTA-padi di air payau mencapai SGR sekitar 4,24% per hari dan secara signifikan lebih tinggi dibandingkan sistem monokultur (Heriansah et al., 2023). Penelitian lain pada benih ikan semah di karamba jaring apung mencatat SGR sekitar 0,75% per hari dengan padat tebar optimal, (Subagja et al., 2021). Perbedaan antar studi ini terutama dipengaruhi oleh jenis organisme, ukuran awal, lama pemeliharaan, kondisi lingkungan, jenis pakan, dan kepadatan tebar, yang diketahui berperan besar dalam variasi SGR, (Heriansah et al., 2023; Kabangnga et al., 2024; Kursistiyanto, 2016; Prakoso et al., 2020).

Secara umum, nilai SGR kakap pada sistem monokultur dan polikultur pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan SGR beberapa spesies air tawar yang diberi pakan kombinasi atau pakan fermentasi, misalnya ikan mas yang diberi pakan kombinasi nabati-hewani dengan SGR 3,52% per hari (Ardiansyah & Permatasari, 2025) atau ikan bawal yang diberi tepung Lemna fermentasi dengan SGR 3,7% per hari, (Mose & Manganang, 2020). Hal ini wajar mengingat perbedaan media (air tawar vs payau/laut), strategi pemberian pakan, dan fase pertumbuhan.

Peningkatan SGR pada perlakuan IMTA dapat dijelaskan melalui perbaikan kualitas air dan pemanfaatan nutrisi dalam sistem. Dalam IMTA, limbah organik (sisa pakan, feses) dan nutrisi anorganik dari ikan dimanfaatkan oleh organisme lain seperti kerang dan tumbuhan/rumput laut, sehingga mengurangi akumulasi limbah dan memperbaiki kondisi lingkungan budidaya ((Heriansah et al., 2023). Studi kokultur nila di sistem IMTA-padi menunjukkan bahwa tanaman berperan sebagai penyerap nutrisi anorganik (NH_3 , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-}), menjaga kualitas air, dan pada akhirnya meningkatkan SGR ikan dibanding monokultur, (Heriansah et al., 2023). Konsep serupa juga tampak pada penggunaan pakan atau aditif yang meningkatkan pencernaan dan retensi nutrisi, yang berujung pada SGR dan konversi pakan yang lebih baik, (Ardiansyah & Permatasari, 2025; Rasidi et al., 2020a; Restu et al., 2025).

Kualitas Air

Adapun variabel kualitas air yang diukur selama penelitian dan hasil lab kualitas air dan pengukuran suhu dan salinitas yang di peroleh pada saat penelitian dapat di lihat pada tabel kualitas air sebagai berikut:

Tabel 3
Hasil laboratorium, awal dan pertengahan

| Sampel | NH ₄ (ppm) | NO ₃ (ppm) | PO ₄ (ppm) | NO ₂ (ppm) | N total (ppm) |
|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|
| Awal | 0,048 | 0,188 | 0,009 | 0,027 | 0,227 |
| P1 | 0,027 | 0,798 | 0,046 | 0,260 | 0,565 |
| P2 | 0,078 | 0,638 | 0,023 | 0,139 | 0,577 |
| P3 | 0,443 | 0,841 | 0,061 | 0,275 | 1,009 |
| P4 | 0,553 | 0,738 | 0,041 | 0,265 | 1,026 |

Sumber: hasil olah data penelitian

Tabel 4:
Hasil laboratorium akhir

| Kode Sampel | Sampel | NH ₄ (ppm) | NO ₃ (ppm) | PO ₄ (ppm) | NO ₂ (ppm) | N total (ppm) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|
| P3 | Ikan + anggur laut | 0,214 | 0,031 | 0,030 | 0,006 | 0,239 |
| P4 | IMTA | 0,101 | 0,045 | 0,018 | 0,003 | 0,140 |
| P2 | Ikan+ kerang hijau | 0,111 | 0,058 | 0,023 | 0,011 | 0,158 |

Sumber: hasil olah data penelitian

Tabel 5:
Hasil pengukuran suhu dan salinitas

| Parameter | Perlakuan P1 | Perlakuan P2 | Perlakuan P3 | Perlakuan P4 |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Suhu (°C) | 24,9 - 26,5°C | 24,9 - 26,5°C | 25,1 - 28,3°C | 24,9 - 27,6°C |
| Salinitas (ppt) | 32ppt | 32ppt | 32ppt | 32ppt |

Sumber: hasil olah data penelitian

Data laboratorium menunjukkan bahwa konsentrasi nitrogen anorganik (NH₄, NO₂, NO₃) dan fosfat (PO₄) cenderung lebih tinggi pada perlakuan monokultur dan polikultur dibandingkan awal pemeliharaan, sedangkan pada fase akhir penelitian nilai-nilai tersebut menurun cukup tajam pada perlakuan IMTA (P4) dibandingkan polikultur kakap-anggur laut (P3) dan kakap-kerang hijau (P2). Total nitrogen akhir pada P4 (0,140 ppm) juga lebih rendah dibanding P2 (0,158 ppm) dan P3 (0,239 ppm). Pola ini menunjukkan bahwa integrasi kerang hijau dan anggur laut berperan sebagai “extractive species” yang menyerap limbah nitrogen dan fosfor dari aktivitas metabolisme ikan dan sisa pakan, sehingga menurunkan akumulasi nutrisi di kolom air. Temuan ini selaras dengan berbagai studi IMTA yang melaporkan penurunan signifikan amonia, nitrit, nitrat, dan fosfat pada sistem dengan bivalvia dan tanaman/rumput laut dibandingkan sistem kontrol atau polikultur biasa,

(Amalia et al., 2022; Biswas et al., 2020; Cotou et al., 2024; Dong et al., 2018; Kumara et al., 2023).

Dalam konteks ambang kelayakan budidaya, kisaran NH_4 , NO_2 , NO_3 , dan PO_4 pada penelitian ini masih berada di bawah atau mendekati nilai yang direkomendasikan untuk budidaya payau/laut, di mana amonia total <1 mg/L, nitrit $<0,5$ mg/L, dan nitrat $<0,3-0,5$ mg/L umumnya dianggap aman untuk banyak spesies budidaya (Zibiene & Žibas, 2018; Tarunamulia et al., 2024; Qiu et al., 2024). Penelitian di tambak bandeng dan udang di Indonesia, misalnya, melaporkan kisaran $\text{NH}_3\text{-N}$ $0,041-0,470$ mg/L, $\text{NO}_2\text{-N}$ $0,001-0,040$ mg/L, $\text{NO}_3\text{-N}$ $0,062-0,980$ mg/L, dan $\text{PO}_4\text{-P}$ $0,012-0,648$ mg/L sebagai rentang yang masih mendukung produksi di tambak payau, (Tarunamulia et al., 2024). Dalam studi IMTA udang windu dengan rumput laut dan kerang darah, perlakuan integrasi mampu menurunkan TAN hingga 50%, NO_2 hingga 40%, dan NO_3 hingga 33% dibanding monokultur, yang sekaligus meningkatkan laju pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang, (Amalia et al., 2022). Pola penurunan nutrisi di perlakuan IMTA pada penelitian kakap ini sejalan dengan mekanisme tersebut.

Parameter fisik perairan pada seluruh perlakuan berada dalam kisaran yang sesuai untuk ikan kakap dan biota laut lainnya. Suhu berkisar antara $24,9-28,3$ °C dan salinitas stabil pada 32 ppt untuk semua perlakuan. Studi brackishwater dan marikultur menunjukkan bahwa suhu optimal untuk banyak ikan laut tropis berada sekitar $25-30$ °C, sementara kisaran salinitas $20-34$ ppt dianggap layak untuk budidaya ikan dan udang di tambak dan keramba, (Andika et al., 2024; Tarunamulia et al., 2024). Penelitian IMTA bandeng-udang-tiram juga melaporkan kisaran suhu $25-29$ °C dan salinitas $20-25$ ppt dengan pertumbuhan yang baik, selama kadar amonia dan nitrit dijaga rendah, (Andika et al., 2024). Dengan demikian, variasi suhu dan salinitas pada penelitian ini relatif kecil dan tidak menjadi faktor pembatas, sehingga perbedaan kinerja pertumbuhan dan SGR kakap lebih mungkin dijelaskan oleh perbedaan kualitas kimia air (nutrien/anorganik) dan struktur trofik sistem.

Perbandingan antara perlakuan monokultur/polikultur dan IMTA dalam penelitian ini konsisten dengan hasil-hasil studi IMTA terbaru yang menekankan kemampuan sistem multi-trofik untuk memperbaiki kualitas air. IMTA berbasis halofit dan bivalvia dilaporkan mampu menurunkan total ammonia nitrogen hingga $\pm 97,5\%$, nitrit 56%, dan nitrat 41% dibanding kontrol, sekaligus meningkatkan performa pertumbuhan udang dan ikan bandeng, (Kumara et al., 2023). Model IMTA di tambak payau dengan ikan mugil, udang windu, rumput air, dan tiram juga menunjukkan penurunan signifikan karbon organik terlarut dan partikel organik, serta peningkatan efisiensi pemanfaatan nutrisi dibanding polikultur konvensional, (Biswas et al., 2020). Dalam penelitian-penelitian tersebut, perbaikan kualitas air (lebih rendah TAN, NO_2 , NO_3 , PO_4 ; DO stabil) selalu berkorelasi

dengan peningkatan pertumbuhan, efisiensi pakan, dan produktivitas total.

Hasil penelitian ini menguatkan bahwa keberadaan kerang hijau dan anggur laut dalam sistem IMTA berfungsi sebagai biofilter biologis yang menyerap partikel organik tersuspensi dan nutrisi terlarut, sehingga menekan eutrofikasi dan toksisitas metabolit nitrogen. Bivalvia diketahui efektif menghilangkan partikel organik dan plankton melalui filtrasi, sedangkan tanaman air/rumput laut memanfaatkan nitrogen dan fosfor anorganik untuk pertumbuhan, (Dong et al., 2018; Kumara et al., 2023; Oktaviyani et al., 2023). Pendekatan serupa juga diterapkan pada *constructed wetlands* terapung dan sistem akuaponik, di mana tanaman air mampu mengurangi TN, NO_3^- , NH_4^+ , dan PO_4^{3-} hingga $>70-90\%$ dari air limbah akuakultur, (Oktaviyani et al., 2023; Rivera-Gomez et al., 2023).

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sintasan ikan kakap putih selama 5 minggu pemeliharaan menunjukkan bahwa sistem budidaya berpengaruh nyata terhadap kemampuan ikan untuk bertahan hidup, dengan nilai tertinggi pada perlakuan P4 (IMTA) sebesar 85,0% dan terendah pada perlakuan P1 (monokultur) sebesar 43,80%, sedangkan perlakuan P2 dan P3 masing-masing mencapai 54,20% dan 60,40%. Pola ini mengindikasikan bahwa integrasi ikan kakap dengan kerang hijau dan anggur laut dalam sistem IMTA mampu menciptakan lingkungan pemeliharaan yang lebih stabil dan mendukung kelangsungan hidup ikan melalui pemanfaatan limbah pakan dan feses sebagai sumber nutrisi bagi organisme lain, sehingga mengurangi akumulasi bahan beracun seperti amonia yang berpotensi memicu stres dan kematian. Hasil analisis ANOVA yang menunjukkan pengaruh signifikan kombinasi spesies terhadap sintasan, serta uji lanjut Tukey yang menegaskan perbedaan sangat nyata antara P4 dan perlakuan lainnya, memperkuat bahwa pendekatan budidaya terintegrasi lebih efektif dibandingkan monokultur maupun polikultur sederhana dalam meningkatkan kelulushidupan ikan kakap putih pada sistem resirkulasi tertutup.

V. REFERENSI

- Agbangba, C., Aide, E. S., Honfo, H., & Kakai, R. G. (2024). On the use of post-hoc tests in environmental and biological sciences: A critical review. *Heliyon*, *10*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25131>
- Amalia, R., Rejeki, S., Widowati, L., & Ariyati, R. (2022). The growth of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and its dynamics of water quality in integrated culture. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230164>
- Andika, M., Muliani, M., & Khalil, M. (2024). Growth and survival of milkfish (*Chanos chanos*), tiger prawns (*Panaeus monodon*), and oysters (*Crassostrea* sp.) in integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) system with varying stocking densities. *Journal of Marine Studies*. <https://doi.org/10.29103/joms.v1i1.15628>
- Appelbaum, S., & Arockiaraj, A. J. (2010). Sibling cannibalism in juvenile Asian sea bass (*Lates calcarifer*) reared under different photoperiods. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, *3*(5), 384–392.
- Ardiansyah, D., & Permatasari, I. (2025). Pengaruh Variasi Jenis Pakan Terhadap Laju Pertumbuhan Berat Ikan Mas (*Cyprinus carpio*) dalam Sistem Akuakultur. *Insight of Biology*. <https://doi.org/10.70716/inbio.v1i1.205>
- Aslamiah, S. B., Aryawati, R., & Putri, W. A. E. (2019). Laju pertumbuhan benih ikan Kakap Putih (*Lates calcarifer*) dengan pemberian pakan yang berbeda. *Jurnal Penelitian Sains*, *21*(3), 112–117.
- Bambang, B., Umar, N., & Indrawati, E. (2024). PENGARUH EKOENZIM DOSIS BERBEDA TERHADAP PERBAIKAN KUALITAS AIR BUDIDAYA DALAM PEMBESARAN IKAN LELE MUTIARA CLARIAS SP. *Journal of Aquaculture and Environment*. <https://doi.org/10.35965/jae.v6i2.3047>
- Biswas, G., Kumar, P., Ghoshal, T., Kailasam, M., De, D., Bera, A., Mandal, B., Sukumaran, K., & Vijayan, K. (2020). Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) outperforms conventional polyculture with respect to environmental remediation, productivity and economic return in brackishwater ponds. *Aquaculture*. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734626>
- Cotou, E., Miliou, H., Chatzoglou, E., Schoina, E., Politakis, N., Kogiannou, D., Fountoulaki, E., Androni, A., Konstantinopoulou, A., Assimakopoulou, G., & Nathanailides, C. (2024). Growth Performance and Environmental Quality Indices and Biomarkers in a Co-Culture of the European Sea Bass with Filter and Deposit Feeders: A Case Study of an IMTA System. *Fishes*. <https://doi.org/10.3390/fishes9020069>
- Dong, X., Lv, L., Zhao, W., Yu, Y.-B., & Liu, Q. (2018). Optimization of integrated multi-trophic aquaculture systems for the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture Environment Interactions*. <https://doi.org/10.3354/aei00287>
- Goda, A., Aboseif, A., Taha, M., Mohammady, E., Aboushabana, N., Nazmi, H., Zaher, M., Aly, H., El-Okaby, M., Otazua, N. I., & Ashour, M. (2024a). 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>
- Goda, A., Aboseif, A., Taha, M., Mohammady, E., Aboushabana, N., Nazmi, H., Zaher, M., Aly, H., El-Okaby, M., Otazua, N. I., & Ashour, M. (2024b). 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>
- Guo, K., Zhao, Z., Xie, J., Luo, L., Wang, S., Zhang, R., Xu, W., & Huang, X. (2022). Combined Effects of Eco-Substrate and Carbon Addition on Water Quality, Fish Performance and Nutrient Budgets in the Pond Polyculture System. *Fishes*. <https://doi.org/10.3390/fishes7050212>
- Heriansah, H., Kabangnga, A., Nursida, N., Renal, R., & Alfarifdi, Muh. I. (2023). Coculture of aquatic animals and paddy in brackish water: Evaluation of the growth of daily growth and morphometrics of tilapia (*Oreochromis niloticus*) as a fed species. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*. <https://doi.org/10.29103/aa.v10i3.11752>
- Kabangnga, A., Heriansah, H., & Nursida, N. (2024). Analisis Laju Filtrasi dan Morfometrik Kerang Darah (*Anadara granosa*) pada Budidaya Sistem Kokultur dengan Berbagai Kombinasi Biota. *Journal of Marine Research*. <https://doi.org/10.14710/jmr.v13i2.39977>
- Kumara, R., Syamala, K., Anand, P. S., Chadha, N., Sawant, P., Chithira, P., & Muralidhar, A. (2023). Halophyte and bivalve-based integrated multi-trophic aquaculture (IMTA): effect on growth, water quality, digestive and antioxidant enzymes of *Penaeus monodon* and *Chanos chanos* reared in brackishwater ponds. *Aquaculture International*, *32*, 1927–1953. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01251-z>
- Kursistiyanto, N. (2016). *PERTUMBUHAN IKAN NILA GESIT (Oreochromis Sp) YANG DIPELIHARA MEDIA DENGAN SALINITAS BERBEDA DAN PENGARUHNYA*

- TERHADAP EFISIENSI PEMANFAATAN PAKAN, LAJU PERTUMBUHAN SPESIFIK (SGR) DAN PERTUMBUHAN BOBOT BIOMASSA. 7.
<https://doi.org/10.34001/jdpt.v7i2.424>
- Mardiana, T., Linayati, L., Syakirin, M., Aliyah, I., & Yahya, M. Z. (2024). Pengaruh tepung jinten hitam (*Nigella sativa*) dalam pakan terhadap pertumbuhan ikan kakap putih (*Lates calcarifer*). *Sains Akuakultur Tropis: Indonesian Journal of Tropical Aquaculture*.
<https://doi.org/10.14710/sat.v8i1.21557>
- Martadinata, A., Kusyairi, A., & Muhajir, M. (2024). Pengaruh Pemberian Dosis Pakan Alami Cacing Darah (*Chironomus larvae*) Beku Terhadap Pertumbuhan Berat Mutlak Benih Ikan Mas Koki (*Carassius auratus*) Umur 1-2 Bulan di Instalasi Perikanan Budidaya Mojokerto Provinsi Jawa Timur. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*.
<https://doi.org/10.21107/juvenil.v5i2.22620>
- Mose, N., & Manganang, Y. (2020). RESPON PERTUMBUHAN IKAN BAWAL (*Colossoma macropomum*) YANG DIBERI PAKAN TEPUNG LEMNA (*Lemna minor*) HASIL FERMENTASI (Growth Respons Of Pomfret Fish (*Colossoma macropomum*) Fed by Fermented Lemna (*Lemna minor*) Powder). *SAINTEK PERIKANAN: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 16, 59–62.
<https://doi.org/10.14710/ijfst.16.1.59-62>
- Mramba, R., & Kahindi, E. J. (2023). Pond water quality and its relation to fish yield and disease occurrence in small-scale aquaculture in arid areas. *Heliyon*, 9.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16753>
- Munguti, J., Kirimi, J., Obiero, K., Ogello, E., Kyule, D., Liti, D., & Musalia, L. (2020). Aqua-Feed Wastes: Impact on Natural Systems and Practical Mitigations—A Review. *The Journal of Agricultural Science*, 13, 111.
<https://doi.org/10.5539/jas.v13n1p111>
- Norazmi-Lokman, N., Baderi, A. A., Zabidi, Z. M., & Diana, A. W. (2020). Effects of different feeding frequency on Siamese fighting fish (*Betta splendens*) and Guppy (*Poecilia reticulata*) Juveniles: Data on growth performance and survival rate. *Data in Brief*, 32.
<https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106046>
- Nurdini, N., Lahming, L., & Patang, P. (2023). Pengaruh Tinggi Air dan Padat Tebar yang Bervariasi terhadap Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Benih Ikan Lele Sangkuriang (*Clarias gariepinus*). *NEKTON: Jurnal Perikanan Dan Ilmu Kelautan*.
<https://doi.org/10.47767/nekton.v3i1.465>
- Nurfadillah, N., Hasri, I., Purnama, M. R., Damora, A., & Mellisa, S. (2021). The application of integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) using floating net cages on Tilapia fish with native fish (Peres, Lemeduk, and Depik). *Depik*.
<https://doi.org/10.13170/depik.10.3.22465>
- Oktaviyani, D., Pratiwi, N., Krisanti, M., & Susanti, E. (2023). Floating treatment wetlands using *Vetiveria zizanioides* and *Heliconia psittacorum* in aquaculture wastewater treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1201.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012074>
- Onuwa, G., & Olanahun, A. (2024). COMPARATIVE EFFECTS OF FORMULATED SOYBEAN DIETS ON THE GROWTH PARAMETERS OF CATFISH (*CLARIAS GARIEPINUS*) FINGERLINGS. *Food and Environment Safety Journal*.
<https://doi.org/10.4316/fens.2024.004>
- Parvathy, A., Das, B., Jifiriya, M., Varghese, T., Pillai, D., & Kumar, V. R. (2022). Ammonia induced toxicophysiological responses in fish and management interventions. *Reviews in Aquaculture*.
<https://doi.org/10.1111/raq.12730>
- Prakoso, V. A., Subagja, J., & Arifin, O. Z. (2020). KERAGAAN REPRODUKSI INDUK IKAN BAUNG ALAM DAN HASIL DOMESTIKASI SERTA PERTUMBUHAN BENIH YANG DIHASILKANNYA. *Media Akuakultur*, 15, 1–7.
<https://doi.org/10.15578/ma.15.1.2020.1-7>
- Prapti, D., Shariff, A. M., Man, C., Ramli, N., Perumal, T., & Shariff, M. (2021). Internet of Things (IoT)-based aquaculture: An overview of IoT application on water quality monitoring. *Reviews in Aquaculture*.
<https://doi.org/10.1111/raq.12637>
- Prihadi, T. H., Saputra, A., Huwoyon, G., & Pantjara, B. (2018). PENGARUH KEPADATAN TERHADAP SINTASAN, PERTUMBUHAN, DAN GAMBARAN DARAH BENIH IKAN BETUTU *Oxyeleotris marmorata*. 12, 341–350.
<https://doi.org/10.15578/jra.12.4.2017.341-350>
- Putra, R. D. A., Widia, I., & Pudja, I. (2022). Pengaruh Pemberian Konsentrasi Cuka Apel dan Ketebalan Kemasan Plastik Polypropylene Berperforasi terhadap Mutu Sawi Hijau (*Brassica Juncea L.*) selama Penyimpanan Suhu Dingin. *Jurnal BETA (Biosistem Dan Teknik Pertanian)*.
<https://doi.org/10.24843/jbeta.2023.v11.i01.p19>
- Rahmawati, R., Cindelaras, S., & Kusriani, E. (2016). KERAGAAN PERTUMBUHAN DAN WARNA IKAN WILD BETTA (*Betta sp.*) DENGAN REKAYASA INTENSITAS CAHAYA DAN WARNA LATAR. 11, 153–162.
<https://doi.org/10.15578/jra.11.2.2016.153-162>
- Rasidi, R., Jusadi, D., Setiawati, M., Yuhana, M., Zairin, M., & Sugama, K. (2020a). PENGARUH PENAMBAHAN ASAM HUMAT PADA PAKAN MENGANDUNG KADMIUM (*Cd*) DARI KERANG HIJAU TERHADAP

- BIOELIMINASI Cd, STATUS KESEHATAN, DAN PERTUMBUHAN IKAN KAKAP PUTIH Lates calcarifer*. 15, 31–40. <https://doi.org/10.15578/jra.15.1.2020.31-40>
- Rasidi, R., Jusadi, D., Setiawati, M., Yuhana, M., Zairin, M., & Sugama, K. (2020b). *PENGARUH PENAMBAHAN ASAM HUMAT PADA PAKAN MENGANDUNG KADMIUM (Cd) DARI KERANG HIJAU TERHADAP BIOELIMINASI Cd, STATUS KESEHATAN, DAN PERTUMBUHAN IKAN KAKAP PUTIH Lates calcarifer*. 15, 31–40. <https://doi.org/10.15578/jra.15.1.2020.31-40>
- Restu, M., Budi, S., & Mulyani, S. (2025). EFEKTIVITAS PENGGUNAAN PAKAN KOMBINASI ANTARA MAGGOT BSF DAN PAKAN KOMERSIL TERHADAP PERTUMBUHAN DAN SINTASAN IKAN LELE CLARIAS SP. *Journal of Aquaculture and Environment*. <https://doi.org/10.35965/jae.v7i2.4377>
- Rind, K., Habib, S., Ujan, J., Fazio, F., Naz, S., Batool, A., Ullah, M., Attaullah, S., Khayyam, K., & Khan, K. (2023). The Effects of Different Carbon Sources on Water Quality, Growth Performance, Hematology, Immune, and Antioxidant Status in Cultured Nile Tilapia with Biofloc Technology. *Fishes*. <https://doi.org/10.3390/fishes8100512>
- Rivera-Gomez, E., Vasquez-Villamarin, C. N., Benavides-Claros, C. A., Daza-Rodríguez, Y. C., & Quintero, E. M. (2023). Evaluation of water quality parameters of an aquaponic system using red-bellied pacu (*Piaractus brachypomus*), strawberry (*Fragaria x ananassa*) and basil (*Ocimum basilicum*). *Journal of Agricultural Sciences Research (2764-0973)*. <https://doi.org/10.22533/at.ed.973352316041>
- Sagita, A., Kurnia, R., & Sulistiono, S. (2017). Budidaya Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) dengan Metode dan Kepadatan Berbeda di Perairan Pesisir Kuala Langsa, Aceh. *Jurnal Riset Akuakultur*, 12(1), 57–68.
- Su, X., Sutarlie, L., & Loh, X. (2020). Sensors, Biosensors, and Analytical Technologies for Aquaculture Water Quality. *Research*, 2020. <https://doi.org/10.34133/2020/8272705>
- Subagja, J., Arifin, O. Z., Kurniawan, K., & Prakoso, V. A. (2021). PERFORMA PERTUMBUHAN BENIH IKAN SEMAH (*Tor douronensis*) GENERASI PERTAMA DENGAN PADAT TEBAR BERBEDA DI KARAMBA JARING APUNG. *Media Akuakultur*. <https://doi.org/10.15578/ma.16.1.2021.7-12>
- Tarunamulia, T., Ilman, M., Sammut, J., Paena, M., Basir, B., Kamariah, K., Taukhid, I., Asaf, R., Athirah, A., Akmal, A., & Syaichudin, M. (2024). Impact of soil and water quality on the sustainable management of mangrove-compatible brackishwater aquaculture practices in Indonesia. *Environmental Research Communications*, 6. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad6caa>
- Tawaha, A. Al, Wahab, P. E. M., Jaafar, H. B., Zuan, A. T. K., & Hassan, M. (2021). Effects of Fish Stocking Density on Water Quality, Growth Performance of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Yield of Butterhead Lettuce (*Lactuca sativa*) Grown in Decoupled Recirculation Aquaponic Systems. *Journal of Ecological Engineering*. <https://doi.org/10.12911/22998993/128692>
- Verdian, A., Effendi, I., Budidardi, T., & Diatin, I. (2020). Production performance improvement of white shrimp *Litopenaeus vannamei* culture with integrated multi trophic aquaculture system in Seribu Islands, Jakarta, Indonesia. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19, 1415–1427. <https://consensus.app/papers/production-performance-improvement-of-white-shrimp-verdian-effendi/2533230f03a35c14a921f382996ac6ce/>
- Wanja, D., Mbuthia, P., Waruiru, R., Mwadime, J., Bebor, L., Nyaga, P., & Ngowi, H. (2020). Fish Husbandry Practices and Water Quality in Central Kenya: Potential Risk Factors for Fish Mortality and Infectious Diseases. *Veterinary Medicine International*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6839354>
- Xu, Z., Cao, J., Qin, X.-X., Qiu, W., Mei, J., & Xie, J. (2021). Toxic Effects on Bioaccumulation, Hematological Parameters, Oxidative Stress, Immune Responses and Tissue Structure in Fish Exposed to Ammonia Nitrogen: A Review. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 11. <https://doi.org/10.3390/ani11113304>
- Yazed, A. M., Izaty, A. A. N., Alli, H. N. M., Sajdin, S., & Hakim, N.-L. N. (2023). Effects of pH and temperature on striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus* juvenile: Data on growth performance and survival rate. *Data in Brief*, 52. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109826>