

Performa Transportasi Ikan Kerapu Cantang (*Epinephelus fuscoguttatus* × *Epinephelus lanceolatus*) pada Variasi Kepadatan Biomassa Menggunakan Wadah Sekunder Vertikal dalam Sistem Tangki Tertutup

Bintang Napitupulu*, Gede Iwan Setibudi, Kadek Lila Antara

Jurusan Biologi dan Perikanan Kelautan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Ganesha, Jl. Udayana, Singaraja, Kab. Buleleng, Bali, Indonesia

*e-mail korespondensi: bintang.napitupulu@undiksha.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Diterima : 18 April 2026
Disetujui : 21 Mei 2026
Terbit Online : 30 Mei 2026

Kata Kunci:

Kerapu Cantang,
Kepadatan,
Transportasi tertutup,
Operkulum Sintasan

ABSTRAK

Penentuan kepadatan biomassa yang tepat merupakan faktor krusial dalam meminimalkan stres fisiologis selama distribusi ikan hidup. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh variasi kepadatan (15 kg, 16 kg, dan 17 kg per wadah) terhadap sintasan dan respons respirasi ikan Kerapu Cantang (*Epinephelus fuscoguttatus* × *E. lanceolatus*) pada simulasi transportasi tertutup selama 72 jam. Menggunakan sistem hiperoksia dan suhu rendah (21,0–22,5°C), hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kepadatan tidak berpengaruh nyata terhadap kelangsungan hidup ($P > 0,05$), dengan tingkat sintasan tetap terjaga di atas 92% pada seluruh perlakuan. Namun, peningkatan kepadatan biomassa berpengaruh sangat signifikan ($P < 0,05$) terhadap Frekuensi Buka-an Operkulum (FBO). Kepadatan 17 kg memicu stres respirasi akut (120 kali/menit) dan kerusakan fisik pada sirip, sementara kepadatan 15 kg menunjukkan kondisi homeostasis paling stabil (75 kali/menit). Disimpulkan bahwa kepadatan 15–16 kg/wadah merupakan standar optimal untuk menjaga kualitas fisik dan kesejahteraan ikan Kerapu Cantang dalam transportasi jarak jauh.

PENDAHULUAN

Transportasi ikan hidup dalam sistem tertutup merupakan fase kritis yang menentukan nilai ekonomi komoditas akuakultur, khususnya pada spesies hibrida seperti Kerapu Cantang. Sebagai hasil persilangan antara Kerapu Macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) dan Kerapu Kertang (*Epinephelus lanceolatus*), varietas ini mewarisi laju pertumbuhan eksponensial namun memiliki morfologi tubuh yang tebal, sehingga memerlukan ruang distribusi yang spesifik (Mastuti *et al.*, 2019). Masalah utama dalam distribusi logistik berdurasi 72 jam adalah akumulasi limbah metabolik di dalam media statis yang terbatas. Penentuan kepadatan biomassa menjadi variabel kontrol paling berpengaruh karena secara langsung memicu pelepasan hormon kortisol dan mobilisasi glukosa darah sebagai respons stres primer terhadap tekanan ruang (Refaey & Li, 2018). Hal ini sejalan dengan temuan bahwa peningkatan kualitas nutrisi melalui probiotik dapat membantu menjaga kestabilan fisiologis dan pertumbuhan ikan kerapu cantang dalam kondisi budidaya intensif (Yani *et al.*, 2025). Dinamika kualitas air selama transportasi bersifat integratif, di mana penurunan oksigen terlarut (DO) biasanya diikuti oleh peningkatan karbondioksida (CO₂) yang menurunkan pH secara progresif. Peningkatan konsentrasi amonia dalam

sistem tertutup pada penelitian ini menguatkan temuan sebelumnya bahwa keterbatasan proses filtrasi biologis berkontribusi terhadap akumulasi nitrogen terlarut selama pemeliharaan intensif (Yudiana *et al.*, 2022).

Kondisi lingkungan yang asam dapat menurunkan afinitas hemoglobin terhadap oksigen melalui Efek Bohr, sehingga ikan meningkatkan ventilasi insang meskipun kadar oksigen terlarut (DO) di media masih mencukupi (Brauner *et al.*, 2019). Penggunaan suhu rendah antara 18°C–22°C menjadi strategi optimasi untuk menginduksi kondisi dormansi atau menekan laju metabolisme, sehingga konsumsi oksigen dan produksi amonia dapat diminimalisir (Wahyuningsih *et al.*, 2020). Selain itu, padat tebar yang tinggi berpotensi meningkatkan tekanan lingkungan dan stres pada ikan, yang pada akhirnya dapat memengaruhi respons fisiologis serta tingkat kelangsungan hidup (Kharissa, 2025; Saputra *et al.*, 2023). Namun, efektivitas pendinginan ini sering kali terhambat oleh desain wadah yang tidak mampu mendistribusikan aliran air secara merata, sehingga menghambat difusi oksigen ke bagian tengah biomassa. Aspek hidrodinamika dalam wadah transportasi, khususnya penggunaan keranjang vertikal, juga menciptakan tantangan berupa resistensi aliran air yang signifikan. Fenomena ini

serupa dengan sistem resirkulasi tanpa filtrasi optimal yang dapat meningkatkan konsentrasi senyawa nitrogen seperti amonia, nitrit, dan nitrat (Swardiani *et al.*, 2022).

Struktur wadah yang rapat berpotensi menciptakan "zona mati" atau hipoksia lokal di tengah tumpukan ikan, di mana limbah metabolit seperti amonia terperangkap dan merusak struktur lamela insang (Xiong *et al.*, 2025). Akumulasi amonia, terutama dalam fraksi tak-terionisasi (NH_3), bersifat toksik dan dapat menyebabkan gangguan neurologis serta penurunan sintasan jika melampaui ambang batas toleransi (Yang *et al.*, 2024). Oleh karena itu, modifikasi desain wadah melalui penambahan lubang sirkulasi menjadi krusial untuk memastikan re-oksigenasi berjalan optimal pada setiap lapisan biomassa.

Keberhasilan logistik ikan hidup tidak hanya diukur dari angka kelulushidupan (*survival rate*), tetapi juga dari stabilitas fisiologis dan kebugaran fisik ikan saat tiba di tujuan. Kepadatan tebar yang melebihi kapasitas dukung sistem akan meningkatkan kontak mekanik antar individu yang berisiko mengikis lapisan mukus pelindung dan memicu infeksi oportunistik dari bakteri seperti *Vibrio* spp. (Manchanayake *et al.*, 2023). Stres akibat kepadatan tinggi yang berlangsung selama 72 jam dapat menyebabkan kelelahan fisiologis yang dalam, ditandai dengan peningkatan FBO sebagai bentuk adaptasi respirasi terhadap keterbatasan oksigen dan tekanan lingkungan (Pane *et al.*, 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk menetapkan standar kepadatan biomassa yang optimal (15 kg, 16 kg, dan 17 kg) menggunakan keranjang vertikal bermodifikasi guna menjamin kesejahteraan hewan (*animal welfare*) dan mutu komoditas. Melalui integrasi manajemen suhu rendah dan sistem hiperoksia, diharapkan tercapai keseimbangan antara efisiensi muatan dan keberhasilan teknis transportasi jarak jauh. Standar Operasional Prosedur (SOP) yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan ilmiah bagi industri perikanan dalam mendistribusikan Kerapu Cantang antar pulau secara efisien dan berkelanjutan (Rohman *et al.*, 2023). Penelitian ini memiliki kebaruan pada penggunaan keranjang vertikal bermodifikasi dalam sistem transportasi hiperoksia selama 72 jam yang belum banyak dilaporkan sebelumnya.

METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian eksperimental ini dilaksanakan pada tanggal 7–9 Agustus 2025. Simulasi transportasi jarak jauh dilakukan menggunakan rute pengiriman darat dari fasilitas akuakultur di Bali menuju lokasi tujuan di Jakarta Selatan dengan total waktu tempuh efektif selama 72 jam. Durasi ini dipilih untuk merepresentasikan kondisi logistik komersial distribusi ikan hidup antar-pulau di Indonesia.

Rancangan Percobaan

Metode yang digunakan adalah eksperimental lapangan dengan desain Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri atas tiga perlakuan kepadatan biomassa berbeda. Perlakuan tersebut adalah:

- **P1:** Kepadatan 15 kg/keranjang (± 23 ekor)
- **P2:** Kepadatan 16 kg/keranjang (± 25 ekor)
- **P3:** Kepadatan 17 kg/keranjang (± 27 ekor)

Setiap perlakuan dilakukan dengan tiga ulangan, di mana setiap unit keranjang vertikal dianggap sebagai unit percobaan independen yang membentuk sistem ruang mikro (*micro-environment*) di dalam tangki utama.

Persiapan Biota Uji dan Media

Ikan Kerapu Cantang yang digunakan memiliki bobot seragam berkisar 600–700 g/ekor. Sebelum dilakukan pemuatan, ikan melalui proses *grading* untuk memastikan keseragaman metabolik dan dipuasakan selama 24 jam untuk meminimalkan ekskresi amonia dan feses selama perjalanan. Media transportasi menggunakan tangki berkapasitas 5 ton air laut yang telah difiltrasi. Sistem pendukung kehidupan menggunakan aerasi oksigen murni terpusat dan manajemen suhu rendah (21–22,5°C) melalui penambahan es batu secara bertahap untuk menginduksi kondisi metabolisme basal (*imobilisasi* ringan).

Prosedur Kerja dan Pengumpulan Data

Ikan dimasukkan ke dalam wadah sekunder berupa keranjang vertikal yang telah dimodifikasi dengan lubang sirkulasi tambahan pada dindingnya untuk mengoptimalkan distribusi air dan difusi oksigen ke seluruh lapisan biomassa. Pengumpulan data dilakukan secara primer melalui observasi langsung. Parameter kualitas air diukur secara *in situ* setiap 6 jam menggunakan alat ukur yang telah dikalibrasi (Tabel 1).

Tabel 1. Parameter dan Instrumen Pengukuran

No	Parameter	Satuan	Instrumen
1	Suhu & Oksigen Terlarut (DO)	°C & mg/L	DO Meter
2	Amonia (NH_3)	mg/L	Digital Photometer Portabel

No	Parameter	Satuan	Instrumen
3	Nitrit (NO ₂ ⁻) & Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/L	Kolorimetri (Tetra Test)
4	Frekuensi Buka-an Operkulum (FBO)	Kali/menit	Stopwatch & Observasi Visual

Pengukuran FBO dilakukan pada akhir perjalanan (jam ke-72) terhadap 3 sampel ikan per unit percobaan untuk menghindari gangguan stres tambahan akibat pembukaan tutup tangki secara berkala selama perjalanan. Pengukuran pada titik akhir dipilih untuk merepresentasikan akumulasi respons stres ikan selama transportasi, sekaligus meminimalkan gangguan terhadap stabilitas sistem akibat intervensi pengamatan selama perjalanan.

Analisis Data

Data kelangsungan hidup (SR) dihitung berdasarkan persentase jumlah individu yang hidup di akhir transportasi terhadap jumlah awal. Respons fisiologis (FBO) dianalisis menggunakan

Analysis of Variance (ANOVA) satu arah pada selang kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Jika terdapat pengaruh nyata, dilakukan uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT) untuk menentukan perbedaan antar-perlakuan. Seluruh analisis statistik diproses menggunakan perangkat lunak SPSS versi 26, sedangkan data kualitas air dianalisis secara deskriptif komparatif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintasan dan Evaluasi Morfologi

Hasil pengamatan terhadap kelangsungan hidup serta kondisi morfologi akhir ikan selama masa penelitian tersaji dalam Tabel 2.

Tabel 2. Data Kelangsungan Hidup dan Kondisi Fisik Akhir

Perlakuan	Ikan Awal (Ekor)	Total Hidup (Ekor)	Total Mati (Ekor)	SR (%)	Kondisi Fisik Visual
P1 (15 kg)	69	66	3	95,65	Sangat Segar, Tanpa Luka, Mukus Normal
P2 (16 kg)	75	72	3	96	Segar, Kondisi Utuh, Respon Lambat
P3 (17 kg)	81	75	6	92,59	Lecet di Sirip & Operkulum, Lendir Tebal

Berdasarkan hasil pengamatan selama 72 jam masa transportasi, tingkat kelangsungan hidup (*survival rate*/SR) ikan Kerapu Cantang menunjukkan angka yang stabil pada kategori sangat tinggi (di atas 90%). Perlakuan P2 (kepadatan 16 kg) mencatatkan nilai SR tertinggi sebesar 96,00%, disusul oleh P1 (15 kg) sebesar 95,65%, dan P3 (17 kg) sebesar 92,59%.

Hasil analisis ragam (*One-Way ANOVA*) mengonfirmasi bahwa variasi kepadatan biomassa tidak memberikan pengaruh nyata ($P > 0,05$; $F = 0,652$) terhadap sintasan ikan. Hal ini membuktikan bahwa manajemen lingkungan melalui suhu rendah dan hiperoksia efektif dalam mencegah mortalitas akut meskipun beban biomassa ditingkatkan hingga 17 kg per wadah.

Meskipun angka kematian rendah, pengamatan visual menunjukkan degradasi kualitas fisik pada kepadatan tertinggi (P3). Ikan pada kelompok 17 kg menunjukkan indikasi stres mekanik berupa lecet pada bagian sirip dan

operkulum serta hipersekresi mukus (lendir tebal). Sebaliknya, ikan pada perlakuan P1 dan P2 tetap dalam kondisi segar dengan integritas mukus yang normal.

Respons Fisiologis: Frekuensi Buka-an Operkulum (FBO)

Pengamatan terhadap respon fisiologis ikan yang diukur melalui frekuensi buka-an operkulum dilakukan pada jam ke-72 saat ikan tiba di lokasi tujuan. Parameter ini digunakan untuk melihat kestabilan respirasi ikan terhadap perbedaan kepadatan bobot selama masa pengangkutan. Data hasil pengukuran rata-rata frekuensi buka-an operkulum disajikan dalam Tabel 3. Berbeda dengan parameter sintasan, FBO menunjukkan respons yang sangat kontras dan signifikan secara statistik ($P < 0,05$; $F = 536,333$). Rata-rata FBO meningkat secara linear seiring dengan bertambahnya beban biomassa.

Tabel 3. Rata-rata Frekuensi Buka-an Operkulum (FBO) Ikan Kerapu Cantang

Perlakuan	Rata-rata FBO (kali/menit)	Notasi Duncan
P1 (15 kg)	75	a
P2 (16 kg)	88	b
P3 (17 kg)	120	c

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan sangat nyata ($P < 0,05$).

Analisis terhadap respon fisiologis menunjukkan bahwa peningkatan kepadatan biomassa berbanding lurus secara signifikan dengan FBO ikan kerapu cantang selama 72 jam transportasi. Hasil uji Duncan mengonfirmasi bahwa setiap perlakuan memberikan pengaruh yang berbeda nyata, di mana beban puncak sebesar 17 kg (P3) memicu laju respirasi tertinggi hingga 120 kali/menit, yang mengindikasikan adanya kompensasi metabolisme terhadap stres lingkungan akibat kepadatan tinggi. Sebaliknya, stabilitas respirasi paling optimal teramati pada kepadatan terendah (P1) dengan rata-rata 75 kali/menit, yang mencerminkan kondisi homeostasis yang lebih baik selama masa pengangkutan.

Dinamika Kualitas Air Media Transportasi

Stabilitas parameter kualitas air selama 72 jam menunjukkan bahwa kombinasi hiperoksia dan suhu rendah mampu menekan laju metabolisme ikan sehingga produksi limbah nitrogen tetap berada dalam batas toleransi fisiologis. Suhu rata-rata terjaga pada rentang 21,0–22,5°C, yang bertujuan menekan laju metabolisme basal. Kadar oksigen terlarut (DO) tetap berada pada level hiperoksia (13,3–17,9 mg/L), sementara akumulasi amonia total (Total Ammonia Nitrogen/TAN) meningkat secara bertahap hingga mencapai 1,58 mg/L pada akhir perjalanan.

Pembahasan

Analisis Homeostasis dan Respons Respirasi terhadap Variasi Biomassa

Peningkatan FBO mencerminkan adanya tekanan fisiologis yang meningkat seiring bertambahnya kepadatan biomassa, sejalan dengan laporan bahwa peningkatan padat tebar dan penurunan kualitas air dapat memengaruhi keseimbangan fisiologis ikan kerapu cantang (Kharissa, 2025; Saputra et al., 2023).

Meskipun variabel kelangsungan hidup (SR) tidak menunjukkan perbedaan signifikan secara statistik ($P > 0,05$), parameter FBO menunjukkan peningkatan yang berbeda nyata ($P < 0,05$), di mana lonjakan hingga 120 kali/menit pada perlakuan P3 mengindikasikan hiperventilasi sebagai mekanisme kompensasi terhadap tekanan lingkungan (Sinansari et al., 2021).

Kondisi ini berkaitan dengan hambatan sirkulasi air pada kepadatan tinggi yang menyebabkan distribusi oksigen tidak merata sehingga menghambat difusi oksigen ke pusat biomassa. Akibatnya, respons respirasi meningkat meskipun kadar DO total tetap tinggi akibat distribusi oksigen yang tidak merata serta penurunan kualitas air pada sistem padat tebar tinggi (Kusuma et al., 2024; Swardiani et al., 2022). Hal ini juga berkaitan dengan respons stres primer yang ditandai peningkatan kortisol dan glukosa, sehingga menegaskan bahwa efektivitas sistem transportasi tidak hanya bergantung pada suplai oksigen total, tetapi juga distribusinya yang merata (Saputra et al., 2023).

Dampak Akumulasi Metabolit Nitrogen dan Toksisitas Amonia Lokal

Selama 72 jam, terjadi akumulasi senyawa nitrogen (amonia, nitrit, dan nitrat) hingga mencapai 1,58 mg/L sebagai konsekuensi metabolisme dalam sistem tertutup, yang semakin meningkat pada kepadatan tinggi akibat hambatan sirkulasi (Yudiana et al., 2022; Swardiani et al., 2022).

Namun, tingkat toksisitas amonia tak-terionisasi (NH_3) relatif rendah karena pengaruh suhu dingin (21–22,5°C) dan penurunan pH akibat akumulasi CO_2 . Secara termodinamika, kondisi ini menggeser kesetimbangan kimia ke arah amonium (NH_4^+) yang kurang toksik (Guo et al., 2025). Meskipun demikian, paparan amonia dan nitrit (0,88 mg/L) tetap memberikan tekanan fisik pada jaringan insang. Iritasi kronis akibat metabolit nitrogen dapat memicu hiperplasia epitel dan fusi lamela, yang menurunkan efisiensi pengikatan oksigen (Djaelani et al., 2023).

Kondisi gangguan pada jaringan insang ini juga dapat meningkatkan kerentanan terhadap infeksi parasit seperti *Oodinium* sp. yang diketahui menyerang insang ikan kerapu cantang dan menurunkan efisiensi respirasi dalam sistem resirkulasi (Widiartini et al., 2022). Sebagai respons pertahanan, ikan meningkatkan produksi mukus untuk melindungi epitel insang yang sensitif (Ivanova et al., 2021). Oleh karena itu, hiperventilasi pada P3 bukan hanya disebabkan oleh keterbatasan DO, melainkan juga respons kompensasi terhadap

gangguan pengikatan oksigen di tingkat sistemik akibat kualitas air yang menurun.

Respons Stres Mekanik dan Degradasi Morfologis

Peningkatan FBO pada kepadatan tinggi tidak hanya merefleksikan stres fisiologis, tetapi juga memicu kerusakan morfologis. Ikan pada P3 mengalami lecet pada sirip dan operkulum akibat kontak fisik yang intens. Kerapu Cantang memiliki sisik *ctenoid* yang kasar; dalam ruang terbatas, gerakan operkulum yang kuat menyebabkan gesekan antar-individu yang merusak integritas integumen. Luka lecet ini bukan sekadar cacat estetika, melainkan gangguan pada barier osmoregulasi yang memaksa ikan menggunakan energi ekstra untuk menjaga keseimbangan ionik tubuh (Doyle et al., 2022).

Ketiadaan kerusakan fisik pada P1 (15 kg) menunjukkan bahwa kepadatan tersebut memberikan ruang gerak yang aman. Selain itu, kerusakan kulit pada kepadatan tinggi meningkatkan risiko infeksi oportunistik oleh bakteri seperti *Vibrio* spp. pasca-pengiriman (Manchanayake et al., 2023). Selain faktor lingkungan, kualitas awal benih juga berperan penting dalam menentukan ketahanan ikan terhadap tekanan selama pemeliharaan (Saragih et al., 2025). Dari perspektif industri, menjaga kualitas visual tanpa cacat adalah syarat mutlak bagi pasar premium, sehingga kepadatan 15–16 kg lebih direkomendasikan dibandingkan 17 kg yang mulai mendekati ambang batas toleransi.

Sinergi Manajemen Suhu dan Efektivitas Teknologi Transportasi

Sintasan ikan yang tetap di atas 90% pada seluruh perlakuan menunjukkan bahwa kondisi lingkungan selama transportasi masih mampu mempertahankan stabilitas fisiologis ikan. Hal ini sejalan dengan penelitian Susanti et al. (2022) yang melaporkan bahwa kondisi lingkungan pemeliharaan yang terkontrol mampu menekan mortalitas dan mempertahankan kondisi fisiologis ikan Kerapu Cantang.

Suhu 21,0–22,5°C berhasil menginduksi fase metabolisme rendah (*semi-dorman*), yang secara signifikan menurunkan konsumsi oksigen dan ekskresi amonia sesuai dengan prinsip Q10 (Cintia et al., 2023). Manajemen suhu rendah ini juga berfungsi sebagai mitigasi toksisitas gas, karena ikan dengan metabolisme rendah memiliki volume pemompaan air melalui insang yang minimal.

Meskipun penggunaan oksigen murni menyediakan cadangan DO yang melimpah (hingga 13,3 mg/L), kondisi hiperoksia ini tetap perlu dikendalikan untuk menghindari risiko *Gas Bubble Disease* (GBD) dan stres oksidatif akibat *Reactive*

Oxygen Species (ROS) (McArley et al., 2021). Dalam penelitian ini, tidak ditemukan gejala klinis GBD, menunjukkan bahwa tingkat supersaturasi masih berada dalam batas toleransi. Secara keseluruhan, integrasi antara desain wadah vertikal, pengaturan kepadatan yang tepat (15–16 kg), dan pengendalian suhu merupakan kunci keberhasilan transportasi ikan hidup yang efisien dan berkelanjutan (Widiyanto et al., 2022).

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa perbedaan kepadatan biomassa berpengaruh nyata terhadap respons fisiologis ikan Kerapu Cantang ($P < 0,05$), namun tidak berdampak signifikan terhadap tingkat kelangsungan hidup ($P > 0,05$). Kepadatan 15 kg (P1) merupakan kondisi paling optimal dengan stabilitas fisiologis terbaik dan tanpa kerusakan fisik. Kepadatan 16 kg (P2) dapat digunakan sebagai alternatif efisiensi operasional karena risiko fisiologisnya masih terkendali. Sebaliknya, kepadatan 17 kg (P3) tidak direkomendasikan karena memicu stres respirasi akut dan kerusakan morfologis. Sinergi suhu rendah (21–22,5°C) dan manajemen hiperoksia terbukti efektif menjaga sintasan selama 72 jam, meskipun pemantauan ketat diperlukan untuk mencegah risiko *gas bubble disease*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak Perusahaan budidaya perikanan di Desa penyambangan, Kecamatan Gerogak, Kabupaten Buleleng, Bali atas fasilitasi tempat dan sarana penelitian. Apresiasi juga disampaikan kepada dosen pembimbing serta seluruh pihak yang telah memberikan dukungan teknis dan akademik selama proses penelitian hingga penyusunan naskah ini. Penelitian ini tidak menerima pendanaan khusus dari lembaga pendanaan publik, komersial, maupun nirlaba.

DAFTAR PUSTAKA

- Brauner, C. J., Shartau, R. B., Damsgaard, C., Esbaugh, A. J., Wilson, R. W., & Grosell, M. (2019). Acid-base physiology and CO₂ homeostasis: regulation and compensation in response to elevated environmental CO₂. In *Fish physiology* (Vol. 37, pp. 69–132). Academic Press.
- Cintia, V., Syarif, A. F., & Robin, R. (2023). Pengaruh suhu terhadap kelangsungan hidup, pertumbuhan dan tingkat konsumsi oksigen ikan seluang (*Brevibora dorsiocellata*) di wadah budidaya pada tahap awal domestikasi. *Journal of Aquatropica Asia*, 8(1), 24–32.

- Djaelani, M. A., & Ammar Nur Handyka, M. (2023). Filtrasi dan Aerasi Mengurangi Kerusakan secara Histopatologi pada Organ Insang Ikan Nila Merah (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Veteriner*, 24(4).
- Doyle, D., Carney Almroth, B., Sundell, K., Simopoulou, N., & Sundh, H. (2022). Transport and barrier functions in rainbow trout trunk skin are regulated by environmental salinity. *Frontiers in Physiology*, 13, 882973.
- Guo, H., Li, Y., Ge, H., Sha, H., Luo, X., Zou, G., & Liang, H. (2025). Competitive Bio-Accumulation Between Ammonia and Nitrite Results in Their Antagonistic Toxicity to Hypophthalmichthys molitrix: Antioxidant and Immune Responses and Metabolic Detoxification Evidence. *Antioxidants*, 14(4), 453.
- Ivanova, L., Rangel-Huerta, O. D., Tartor, H., Gjessing, M. C., Dahle, M. K., & Uhlig, S. (2021). Fish skin and gill mucus: A source of metabolites for non-invasive health monitoring and research. *Metabolites*, 12(1), 28.
- Kusuma, N. P. D., Tangguda, S., & Lau, J. R. (2024). Analisis Kualitas Air dan Hubungannya dengan Pertumbuhan Ikan Lele Sangkuriang (*Clarias gariepinus*) pada Padat Tebar Berbeda. *Journal Galung Tropika*, 13(2), 256-267.
- Kharissa, H. (2025). Pengaruh Padat Tebar Yang Berbeda Terhadap Kelangsungan Hidup Ikan Kerapu Cantang (*Epinephelus fuscoguttatus* × *Epinephelus lanceolatus*) Pada Fase Pendederan Dengan Sistem Recirculating Aquaculture System (RAS). Skripsi, Universitas Pendidikan Ganesha.
- Manchanayake, T., Salleh, A., Amal, M. N. A., Yasin, I. S. M., & Zamri-Saad, M. (2023). Pathology and pathogenesis of *Vibrio* infection in fish: A review. *Aquaculture Reports*, 28, 101459.
- Mastuti, I., Syahidah, D., & Mahardika, K. (2019). Ketahanan Ikan Kerapu Hibrida Cantang (*Epinephelus fuscoguttatus* × *Epinephelus lanceolatus*) Terhadap Infeksi Virus dan Bakteri. *Jurnal Biosense*, 2(02), 1-11.
- McArley, T. J., Sandblom, E., & Herbert, N. A. (2021). Fish and hyperoxia—From cardiorespiratory and biochemical adjustments to aquaculture and ecophysiology implications. *Fish and Fisheries*, 22(2), 324-355.
- Pane, E. P., Arfiati, D., & Apriliyanti, F. J. (2023). Respon Fisiologis Ikan Terhadap Lingkungan Hidupnya. *Jurnal Aquatik*, 6(2), 71-83.
- Refaey, M. M., & Li, D. (2018). Transport stress changes blood biochemistry, antioxidant defense system, and hepatic HSPs mRNA expressions of channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Frontiers in Physiology*, 9, 1628.
- Rohman, R. T., Llii, W., Arief, M. C. W., & Iskandar, I. (2023). Kelangsungan Hidup Ikan Sumatra (*Puntigrus tetrazona*) dalam Transportasi dengan Kepadatan dan Waktu Transportasi yang Berbeda. *Akuatika Indonesia*, 8(2), 96-104.
- Susanti, N. P. N., Antara, K. L., Mahardika, K., & Setiabudi, G. I. (2022). The Analysis of Clinical sign, Mortality and Histopathology of Cantang Grouper Infected with VNN in Recirculating Aquaculture System. *Environmental Sciences*, 6(3), 67-71.
- Saputra, A. R. S. H., Shohifah, I. U., Sulmartiwi, L., Mahasri, G., & Andriyono, S. (2023). Correlation Of Water Quality Factors and Stock Density to Glucose and Cortisol Levels in Cantang Grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* X *Epinephelus lanceolatus*) Raised in Conventional Ponds. *Indonesian Journal of Aquaculture Medium*, 3(3), 118-128.
- Saragih, J. S. R. T., Antara, K. L., & Amelia, J. M. (2025). Penentuan kualitas benih berdasarkan hubungan panjang dan berat yuwana ikan kerapu cantang dalam fase pendederan recirculating aquaculture system (RAS). *COSTING: Journal of Economic, Business and Accounting*, 8(5), 1260.
- Sinansari, S., Prakoso, V. A., Hayuningtyas, E. P., Priadi, B., Sundari, S., & Kusriani, E. (2021). Pengaruh Padat Tebar terhadap Konsumsi Oksigen dan Respons Stres Ikan Cupang Alam (*Betta imbellis*). *OLDI (Oseanologi dan Limnologi di Indonesia)*, 6(1), 11-24.
- Swardiani, N. P. I., Swasta, I. B. J., Amelia, J. M., & Antara, K. L. (2022). Studi Perbandingan Kualitas Air pada Sistem Resirkulasi antara Sistem yang Menggunakan Tanaman Kangkung dan Tanpa Tanaman Kangkung dilihat dari Variabel Amonia (NH₃), Nitrit (NO₂), Nitrat (NO₃). *Jurnal Perikanan Unram*, 12(3), 355-364.
- Wahyuningsih, S., Gitarama, A. M., & Gitarama, A. M. (2020). Amonia pada sistem budidaya ikan. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 5(2), 112-125.
- Widianto, T. N., Malhani, I., & Priyanto, N. (2022). Simulasi Transportasi Ikan Nila Hidup Menggunakan Sistem Basah Terbuka pada Suhu Rendah. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 17(1), 9-18.
- Widiartini, K. L., Antara, K. L., Mahardika, K., & Setiabudi, G. I. (2022). Parasite prevalence *Oodinium* sp. in cantang hybrid grouper cultivated in recirculating aquaculture

- system. *Advances in Tropical Biodiversity and Environmental Sciences*, 6(3), 79–84.
- Xiong, Z., Ma, M., Guo, Y., & Sun, Y. (2025). Investigation of flow field and dissolved oxygen concentration distribution in aquaculture tanks based on computational fluid dynamics. *Aquacultural Engineering*, 102577.
- Yang, Y., Narayan, E., Rey Planellas, S., Phillips, C. J., Zheng, L., Xu, B., ... & Descovich, K. (2024). Effects of stocking density during simulated transport on physiology and behavior of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Journal of the World Aquaculture Society*, 55(2), e13054.
- Yani, K. L., Marantika, A. K., & Maharani, M. D. K. (2025). Pengaruh Penambahan Probiotik *Lactobacillus* sp. pada Pakan Pelet terhadap Pertumbuhan Ikan Kerapu Cantang (*Epinephelus fuscoguttatus* × *Epinephelus lanceolatus*). *Journal of Aquatropica Asia*, 10(1), 41-48.
- Yudiana, I. D. G. T., Martini, N. N. D., & Swasta, I. B. J. (2022). Studi Perbandingan Kandungan Amonia Bebas (NH₃) pada Budidaya Ikan Nila (*Oreochromis Niloticuss*) dengan Menggunakan Sistem Resirkulasi yang Berbeda. *Syntax Literate; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7(7), 9009-9015.