



RESPON PERTUMBUHAN DAN NUTRISI IKAN LELE DUMBO TERHADAP VARIASI SUHU SEBAGAI STRATEGI ADAPTASI IKLIM

Growth and Nutritional Responses of Dumbo Catfish to Temperature Variation as a Climate Adaptation Strategy

Dwi Tika Afriani^{1*}, Bambang Hendra Siswoyo², Sahidul Ikhsan³

^{1,2,3} Program Studi Akuakultur, Fakultas Perikanan, Universitas Dharmawangsa

Disubmit: 18 Juni 2025; Direvisi: 22 Juni 2025; Diterima: 27 Juni 2025

ABSTRAK: Perubahan iklim global menyebabkan peningkatan suhu air yang berdampak signifikan terhadap produktivitas akuakultur. Penelitian ini mengkaji respons nutrisi ikan lele dumbo (*Clarias gariepinus*) terhadap simulasi suhu air akibat perubahan iklim. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan tiga perlakuan suhu: 27°C (kontrol), 31°C, dan 35°C (simulasi ekstrem) selama 3 bulan. Juvenil lele dumbo (15±2 g) dipelihara dengan kepadatan 8 ekor per akuarium. Parameter yang diamati meliputi konsumsi pakan, pertumbuhan, efisiensi pakan (FCR, PER), dan retensi protein dan energi. Hasil menunjukkan suhu berpengaruh signifikan ($P<0,05$) terhadap semua parameter nutrisi. Suhu 31°C menghasilkan performa terbaik dengan SGR 2,89±0,15%/hari dan FCR 1,42±0,08. Suhu ekstrem (35°C) menyebabkan penurunan pertumbuhan hingga 27,3% dibandingkan kontrol. Analisis regresi menunjukkan hubungan kuadratik yang kuat ($R^2>0,918$) dengan suhu optimal 31,0-31,6°C. Temuan ini memberikan dasar ilmiah untuk pengembangan strategi mitigasi perubahan iklim dalam akuakultur, termasuk manajemen suhu budidaya dan formulasi pakan adaptif untuk mempertahankan produktivitas di era perubahan iklim global.

Kata kunci: adaptasi fisiologis; akuakultur; ikan lele dumbo; pertumbuhan; suhu optimal

ABSTRACT Global climate change is causing an increase in water temperature, which significantly impacts aquaculture productivity. This study examined how dumbo catfish (*Clarias gariepinus*) respond nutritionally to simulated water temperatures due to climate change. The study used a completely randomized design with three temperature treatments: 27°C (control), 31°C, and 35°C (extreme simulation). The fish were observed for three months. Juvenile catfish (15 ± 2 g) were reared at a density of eight fish per 60-liter aquarium. Parameters observed included feed consumption, growth, feed efficiency (FCR, PER), and protein and energy retention. The results showed that temperature significantly affected ($P<0.05$) all nutritional parameters. The best performance was achieved at a temperature of 31°C, with an SGR of 2.89% ± 0.15% per day and an FCR of 1.42% ± 0.08. The extreme temperature of 35°C caused a 27.3% reduction in growth compared to the control. Regression analysis revealed a strong quadratic relationship ($R^2 > 0.918$) with an optimal temperature range of 31.0–31.6 °C. These findings provide a scientific basis for developing climate change mitigation strategies in aquaculture, such as managing culture temperatures and formulating adaptive feeds, to maintain productivity in an era of global climate change.

Keywords: physiological adaptation; aquaculture; dumbo catfish; growth; optimal temperature

corresponding author

Email: dwitika_afriani@dharmawangsa.ac.id

Recommended APA Citation:

Afriani, D.T., Siswoyo, B.H., Ikhsan, S. (2025). Respon Pertumbuhan dan Nutrisi Ikan Lele Dumbo Terhadap Variasi Suhu Sebagai Strategi Adaptasi Iklim. *J.Aquac.Indones*, 4(2): 145-160. <http://dx.doi.org/10.46576/jai.v4i2.6879>.

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global saat ini diakui sebagai salah satu ancaman utama terhadap stabilitas ekosistem perairan, termasuk sistem akuakultur yang semakin bergantung pada keseimbangan lingkungan untuk mendukung produktivitasnya. Peningkatan suhu rata-rata global yang diprediksi mencapai 1,5°C dalam abad ini dikhawatirkan akan meningkatkan risiko kematian pada berbagai spesies ikan, terutama yang sensitif terhadap perubahan suhu seperti spesies air dingin atau yang hidup di zona intertidal (Lujan, 2024). Perubahan iklim telah menyebabkan transformasi signifikan pada ekosistem akuatik, termasuk gangguan terhadap dinamika biotik dan abiotik yang kompleks di dalamnya (Agarwal et al., 2024). Salah satu dampak paling nyata dari fenomena ini adalah meningkatnya suhu perairan, yang tidak hanya memicu tekanan fisiologis dan ekologis pada organisme akuatik, tetapi juga berdampak langsung pada produktivitas sistem budidaya perikanan.

Suhu air merupakan salah satu faktor abiotik utama yang sangat berpengaruh terhadap kehidupan ikan sebagai organisme ektotermik. Fluktuasi suhu dapat memengaruhi berbagai proses fisiologis penting seperti laju pertumbuhan, metabolisme, konsumsi pakan, dan efisiensi konversi nutrisi. Tingkat keparahan stres suhu tergantung pada kondisi lingkungan dan toleransi spesies, di mana suhu ekstrem dapat menimbulkan gangguan fisiologis yang signifikan (Desforges et al., 2023). Selain itu, suhu juga menentukan kemampuan ikan dalam memperoleh, mencerna, menyerap, dan menyimpan nutrisi dari pakan (Madjading et al., 2023) yang pada akhirnya akan berpengaruh terhadap efisiensi pemanfaatan nutrisi, pertumbuhan, dan kelangsungan hidup.

Salah satu komoditas penting dalam perikanan budidaya di kawasan tropis adalah ikan lele dumbo (*Clarias gariepinus*). Ikan ini dikenal memiliki toleransi tinggi terhadap kondisi lingkungan yang suboptimal serta kemampuan adaptasi yang baik terhadap stresor lingkungan seperti amonia, nitrit, dan kadar oksigen rendah, serta kemampuan adaptifnya dalam bernapas menggunakan udara atmosfer melalui organ arborescent yang terletak di sekitar lengkung insang. Nilai ekonomis yang tinggi serta efisiensi produksi menjadikan ikan ini sebagai salah satu andalan dalam pemenuhan kebutuhan protein masyarakat. Meskipun demikian, pemahaman mengenai respons fisiologis dan nutrisi ikan lele dumbo terhadap fluktuasi suhu, khususnya dalam konteks perubahan iklim, masih terbatas (Langi et al., 2024).

Paparan suhu tinggi di atas ambang toleransi dapat mengaktifasi sumbu hipotalamus–pituitari–interrenal (HPI), yang memicu sekresi hormon stres seperti kortisol dan katekolamin. Hormon ini akan menyebabkan perubahan metabolisme,

penurunan fungsi kekebalan tubuh, serta terganggunya proses pertumbuhan (Sáez-Arteaga et al., 2024). Dampak ini telah dibuktikan oleh penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa fluktuasi suhu dapat memengaruhi aktivitas enzim metabolik, status imun, dan tingkat kelangsungan hidup ikan (Biswas et al., 2022). Bahkan, suhu tinggi dapat mengubah partisi energi dalam tubuh ikan sehingga lebih banyak energi dialokasikan untuk mempertahankan fungsi hidup daripada untuk pertumbuhan atau reproduksi (Islam et al., 2022).

Kajian yang mendalam terhadap respons fisiologis dan nutrisi ikan budidaya terhadap peningkatan suhu air menjadi sangat penting, terlebih dalam upaya mitigasi dampak perubahan iklim terhadap sektor akuakultur. Ketidaksesuaian suhu dalam jangka panjang dapat menurunkan produktivitas melalui gangguan sistem neuroendokrin, osmoregulasi, serta fungsi vital lainnya seperti respirasi dan sistem imun (Maulu et al., 2021). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan ilmiah yang mampu mengidentifikasi ambang suhu optimal serta potensi dampak suhu ekstrem terhadap kinerja fisiologis ikan. Lebih jauh, hal ini juga menjadi bagian penting dalam perumusan strategi adaptasi budidaya perikanan yang berkelanjutan di tengah ancaman perubahan iklim (Mehrim & Refaey, 2023).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi respons pertumbuhan dan nutrisi ikan lele dumbo (*Clarias gariepinus*) terhadap perlakuan suhu air sebagai simulasi dampak perubahan iklim. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam mengidentifikasi suhu optimal untuk pertumbuhan dan efisiensi nutrisi, serta menjadi dasar dalam pengembangan strategi adaptasi budidaya yang tahan terhadap kondisi lingkungan yang berubah secara dinamis.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Perikanan, Universitas Dharmawangsa Medan. Seluruh rangkaian kegiatan penelitian berlangsung selama tiga bulan, yakni dari Februari hingga April 2024. Pemeliharaan ikan dilakukan dalam sistem resirkulasi tertutup yang dilengkapi dengan perangkat kontrol suhu otomatis, guna memastikan stabilitas parameter lingkungan sesuai dengan perlakuan yang dirancang.

Bahan dan Alat Penelitian

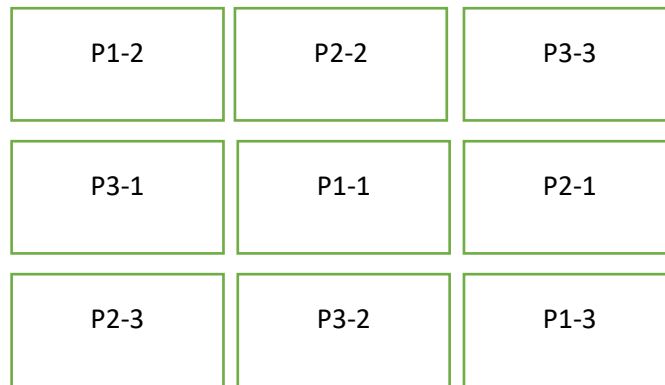
Penelitian ini menggunakan 9 unit akuarium kaca berkapasitas 60 liter, dilengkapi sistem aerasi berupa *blower*, selang, dan batu aerasi, serta heater submersible berkekuatan 100watt per akuarium untuk pengaturan suhu. Pemantauan suhu dilakukan menggunakan thermometer digital dan data logger, sementara kualitas air dijaga melalui sistem filtrasi biologis dan mekanis, serta dimonitor menggunakan pH meter, DO meter, ammonia test kit, dan TDS meter. Pengukuran biometrik ikan dan pakan dilakukan dengan timbangan analitik

berketelitian 0,01 gram, penggaris berskala 0,1 cm, dan serokan halus untuk penanganan ikan. Analisis proksimat pakan dan tubuh ikan dilakukan menggunakan oven pengering, furnace, perangkat distilasi dan labu Kjeldahl, serta *bomb calorimeter*. Bahan biologis yang digunakan berupa 72 ikan lele dumbo juvenil (*Clarias gariepinus*) berukuran $15,0 \pm 2,0$ gram, panjang awal $12,0 \pm 1,5$ cm yang diperoleh dari Balai Benih Ikan Tuntungan. Penggunaan 72 ekor ikan lele dumbo juvenil dalam penelitian ini didasarkan pada prinsip replikasi dan kebutuhan statistik untuk memperoleh hasil yang valid dan dapat dianalisis secara inferensial. Jumlah tersebut diperoleh dari desain percobaan faktorial dengan 3 perlakuan suhu dan 3 ulangan, di mana setiap unit ulangan (akuarium) diisi dengan 8 ekor ikan. Jumlah 8 ekor per akuarium dipilih untuk menjaga kepadatan ikan dalam kisaran yang aman dan tidak menimbulkan stres sosial atau kompetisi berlebihan, serta agar cukup merepresentasikan variabilitas biologis antar individu dalam satu perlakuan.

Pakan yang digunakan adalah pakan komersial berkadar protein 40% yang telah dianalisis sebelumnya. Air pemeliharaan berasal dari sumur bor yang telah diaerasi dan disesuaikan pH-nya. Bahan kimia yang digunakan untuk analisis proksimat meliputi asam sulfat (H_2SO_4), natrium hidroksida (NaOH), asam klorida (HCl), petroleum eter, dan indikator kimia. Asam sulfat pekat digunakan dalam tahap destruksi pada analisis kadar protein metode Kjeldahl untuk menguraikan senyawa organik dan mengubah nitrogen organik menjadi amonium sulfat. Natrium hidroksida digunakan dalam proses distilasi untuk melepaskan amonia dari larutan hasil destruksi. Asam klorida digunakan dalam proses titrasi untuk menentukan kandungan nitrogen total dalam sampel. Petroleum eter berfungsi sebagai pelarut non-polar pada tahap ekstraksi lemak menggunakan metode Soxhlet. Indikator kimia, seperti fenolftalein atau indikator lainnya, digunakan dalam proses titrasi untuk menentukan titik akhir reaksi. Seluruh bahan kimia yang digunakan merupakan reagen teknis dengan tingkat kemurnian analisis. Selain itu, formalin 10% digunakan untuk fiksasi sampel, dan es batu digunakan untuk menjaga kesegaran sampel biologis sebelum analisis.

Rancangan dan Pendekatan Penelitian

Penelitian dirancang menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 3 perlakuan suhu dan 3 ulangan, sehingga total terdapat 9 unit percobaan. Perlakuan suhu: P1: Suhu kontrol ($27^{\circ}C$), P2: Suhu optimal ($31^{\circ}C$), P3: Suhu tinggi ($35^{\circ}C$), dengan tata letak seperti tampak pada gambar 1. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental kuantitatif dalam sistem budidaya terkontrol untuk mengevaluasi pengaruh suhu air terhadap respons nutrisi ikan lele dumbo (*Clarias gariepinus*). Variabel bebas berupa suhu air terdiri dari tiga tingkat ($27^{\circ}C$, $31^{\circ}C$, dan $35^{\circ}C$), sedangkan variabel terikat meliputi konsumsi pakan, laju pertumbuhan spesifik (SGR), pertambahan bobot dan panjang, efisiensi pakan (FCR dan PER), serta retensi protein. Lingkungan pemeliharaan dikendalikan secara ketat, termasuk kualitas air dan suhu, guna meminimalkan pengaruh variabel luar.



Gambar 1. Tata letak wadah perlakuan

Persiapan Ikan Uji

Ikan uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah juvenil lele dumbo (*Clarias gariepinus*) dengan bobot awal $15,0 \pm 2,0$ gram dan panjang total $12,0 \pm 1,5$ cm. Ikan diperoleh dari Balai Benih Ikan (BBI) Tuntungan, Sumatera Utara, yang telah tersertifikasi sebagai unit bebas penyakit. Sebelum perlakuan dimulai, ikan terlebih dahulu menjalani proses aklimatisasi selama tujuh hari dalam kondisi laboratorium untuk memungkinkan adaptasi terhadap lingkungan baru. Kepadatan penebaran yang diterapkan adalah sebanyak 8 ekor per akuarium, dengan tujuan menghindari stres akibat kompetisi berlebih serta mempermudah proses pengamatan selama penelitian berlangsung.

Pakan dan Pemberian Pakan

Jenis pakan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pakan komersial berkualitas tinggi dengan komposisi nutrisi yang telah dianalisis secara proksimat. Kandungan nutrisi pakan meliputi protein kasar sebesar 40%, lemak kasar 8%, serat kasar 4%, abu 12%, kadar air 10%, dan energi bruto sebesar 4.200 kkal/kg. Pemberian pakan dilakukan sebanyak 3% dari total bobot biomassa ikan per hari, yang dibagi ke dalam tiga waktu pemberian, yaitu pagi hari (pukul 08.00 WIB), siang (pukul 13.00 WIB), dan sore hari (pukul 18.00 WIB). Sisa pakan yang tidak termakan dalam waktu 30 menit setelah diberikan dikumpulkan melalui proses sifon dan ditimbang kembali, guna menghitung konsumsi pakan aktual secara presisi.

Parameter yang Diamati

Konsumsi Pakan

Konsumsi pakan dicatat setiap hari dan dirata-ratakan secara mingguan untuk keperluan analisis statistik. Parameter ini digunakan untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan suhu terhadap nafsu makan dan perilaku makan *Clarias gariepinus*. Secara fisiologis, peningkatan suhu lingkungan dapat mempercepat laju metabolisme dan meningkatkan kebutuhan energi, sehingga berpengaruh terhadap

tingkat konsumsi pakan. Konsumsi pakan harian dihitung menggunakan rumus berikut (Effendie, 1997):

$$\text{Konsumsi pakan} = \text{pakan yang diberikan} - \text{pakan sisa} \dots \dots \dots (1)$$

Pertumbuhan

Parameter pertumbuhan digunakan sebagai indikator utama keberhasilan budidaya serta efisiensi pemanfaatan nutrisi dalam pakan. Suhu lingkungan yang optimal mendukung pertumbuhan maksimum, sementara suhu ekstrem cenderung menurunkan laju pertumbuhan akibat alokasi energi yang lebih besar untuk proses osmoregulasi dan respon stres. Beberapa indikator pertumbuhan yang diamati dihitung dengan rumus berikut (Effendie, 1997) :

Pertambahan Bobot Mutlak (Weight Gain):

$$\text{Pertumbuhan Bobot mutlak} = W_t - W_0 \dots \dots \dots (2)$$

Pertambahan Panjang Mutlak (Length Gain):

$$\text{Pertumbuhan Panjang Mutlak} = L_t - L_0 \dots \dots \dots (3)$$

Laju Pertumbuhan Spesifik (Specific Growth Rate/SGR):

$$SGR = \left[\frac{(\ln W_t - \ln W_0)}{t} \right] \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

Di mana: W_t = bobot akhir (g), W_0 = bobot awal (g), L_t = panjang akhir (cm), L_0 = panjang awal (cm), t = waktu pemeliharaan (hari).

Efisiensi Pakan

Feed Conversion Ratio (FCR)

FCR menunjukkan efisiensi konversi pakan menjadi biomassa tubuh ikan. Nilai FCR yang lebih rendah menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi, yaitu ikan mampu mengonversi pakan secara optimal untuk pertumbuhan. Suhu yang tidak sesuai dapat menyebabkan peningkatan nilai FCR akibat penggunaan energi pakan untuk proses termoregulasi dan respons terhadap stres lingkungan. Perhitungan FCR dilakukan dengan rumus (Effendie, 1997):

$$FCR = \frac{F}{(W_t - W_0)} \dots \dots \dots (5)$$

Protein Efficiency Ratio (PER)

PER mengukur efisiensi pemanfaatan protein pakan dalam mendukung pertumbuhan ikan. Parameter ini sangat penting mengingat protein merupakan komponen pakan yang paling mahal dan esensial dalam sintesis jaringan tubuh. Suhu lingkungan memengaruhi aktivitas enzim proteolitik dan laju sintesis protein, sehingga kondisi suhu optimal akan meningkatkan nilai PER. Perhitungan PER dilakukan dengan rumus (Effendie, 1997):

$$PER = \frac{\text{Pertambahan bobot (g)}}{\text{Protein yang dikonsumsi (g)}} \dots \dots \dots (6)$$

Feed Efficiency (FE)

FE menyatakan persentase pakan yang berhasil dikonversi menjadi pertambahan bobot tubuh ikan. Parameter ini berkorelasi terbalik dengan FCR dan mencerminkan efisiensi pemanfaatan pakan secara keseluruhan. Nilai FE yang tinggi menunjukkan bahwa ikan mampu menggunakan nutrisi pakan secara optimal untuk pertumbuhan. Perhitungan FE menggunakan rumus (Effendie, 1997):

$$FE = \left[\frac{\text{Pertambahan bobot}(g)}{\text{Pakan yang dikonsumsi}(g)} \right] \times 100\% \dots\dots\dots(7)$$

Retensi Protein dan Energi

Retensi Protein (Protein Retention/PR)

Retensi protein mengukur persentase protein pakan yang berhasil diakumulasi dalam tubuh ikan selama masa pemeliharaan. Parameter ini mencerminkan efektivitas pencernaan, absorpsi, dan metabolisme protein. Suhu berperan penting dalam memengaruhi aktivitas enzim pencernaan dan kecepatan transit makanan, sehingga berdampak pada tingkat retensi protein. Rumus perhitungannya adalah (Effendie, 1997):

$$PR = \left[\frac{(\text{Protein awal}-\text{Protein akhir})}{\text{Protein yang dikonsumsi}} \right] \times 100\% \dots\dots\dots(8)$$

Retensi Energi (Energy Retention/ER)

Retensi energi mengukur proporsi energi pakan yang berhasil disimpan dalam tubuh ikan dalam bentuk cadangan lemak, protein, dan karbohidrat. Parameter ini penting untuk menilai efisiensi metabolisme energi serta partisi energi antara pertumbuhan dan pemeliharaan hidup. Pada suhu lingkungan yang tinggi, sebagian besar energi pakan cenderung digunakan untuk proses termogenesis dan respons stres, sehingga menurunkan proporsi energi yang tersedia untuk pertumbuhan. Analisis proksimat tubuh ikan dilakukan pada awal dan akhir penelitian untuk menentukan kandungan protein dan energi bruto, menggunakan metode standar. Sampel tubuh ikan diambil secara acak dari setiap unit perlakuan untuk memastikan representativitas data. Perhitungan retensi energi (ER) dilakukan dengan rumus (Effendie, 1997):

$$ER = \left[\frac{(\text{energi akhir}-\text{Energi awal})}{\text{Energi yang dikonsumsi}} \right] \times 100\dots\dots\dots(9)$$

Analisis Data

Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan perangkat lunak statistik SPSS versi 26.0. Tahapan analisis diawali dengan uji normalitas Shapiro-Wilk untuk memastikan bahwa distribusi data memenuhi asumsi normalitas, serta uji homogenitas Levene untuk menguji kesamaan varians antar kelompok perlakuan. Selanjutnya, dilakukan analisis varians satu arah (One-Way ANOVA) untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan suhu terhadap parameter yang diamati.

Apabila hasil ANOVA menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P < 0,05$), maka analisis dilanjutkan dengan uji lanjutan Duncan's Multiple Range Test (DMRT) guna mengidentifikasi kelompok perlakuan yang berbeda nyata. Untuk menganalisis hubungan antara suhu air dengan parameter efisiensi nutrisi, seperti FCR, PER, dan SGR, digunakan analisis regresi linier dan regresi polinomial kuadratik. Persamaan yang digunakan dalam regresi adalah:

Regresi linier: $Y = a + bX$. Regresi kuadratik: $Y = a + bX + cX^2$

Keterangan: Y = parameter respons (FCR dan SGR), X = suhu air ($^{\circ}\text{C}$), a , b , c = konstanta dan koefisien regresi.

Seluruh analisis dilakukan pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Data hasil pengukuran disajikan dalam bentuk rata-rata $\pm$ standar deviasi (mean $\pm$ SD) untuk memberikan gambaran variasi dan sebaran data antar replikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Air

Sepanjang pelaksanaan penelitian, seluruh parameter kualitas air di setiap perlakuan berada dalam rentang yang masih dapat ditoleransi oleh ikan lele dumbo (*Clarias gariepinus*), sehingga lingkungan pemeliharaan tetap mendukung pertumbuhan dan tidak menimbulkan gangguan fisiologis. Suhu air pada masing-masing perlakuan berhasil dijaga sesuai dengan rancangan, yaitu sebesar $27,2 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ untuk kelompok kontrol, $31,1 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$ pada suhu sedang, dan $35,3 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ pada suhu tinggi. Sementara itu, parameter kualitas air lainnya menunjukkan nilai pH antara 6,8 hingga 7,2, kadar oksigen terlarut (DO) berkisar 5,2–6,8 mg/L, konsentrasi amonia berada pada rentang 0,02–0,15 mg/L, dan kadar nitrit tercatat antara 0,01–0,08 mg/L. Seluruh nilai tersebut masih dalam kisaran yang aman bagi kelangsungan hidup ikan lele, sehingga tidak memberikan tekanan lingkungan yang berarti. Oleh karena itu, perbedaan respon yang muncul pada ikan selama penelitian lebih dapat dikaitkan dengan perlakuan suhu, bukan akibat dari fluktuasi kualitas air lainnya.

Konsumsi Pakan

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa suhu air memberikan pengaruh yang signifikan ($P < 0,05$) terhadap tingkat konsumsi pakan harian ikan lele dumbo. Konsumsi pakan tertinggi tercatat pada kelompok perlakuan suhu sedang (31°C) dengan rata-rata sebesar $4,68 \pm 0,24$ gram per hari. Pada suhu kontrol (27°C), konsumsi pakan sedikit lebih rendah yaitu sebesar $4,12 \pm 0,18$ gram per hari. Sementara itu, konsumsi pakan paling rendah terjadi pada perlakuan suhu tinggi (35°C), yakni $3,47 \pm 0,32$ gram per hari. Secara umum, pola konsumsi menunjukkan adanya peningkatan asupan pakan pada suhu sedang, namun menurun tajam saat suhu meningkat lebih tinggi, sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Konsumsi Pakan Harian Ikan Lele Dumbo pada Berbagai Suhu

Perlakuan Suhu	Konsumsi Pakan (g/hari)	Persentase terhadap Kontrol (%)
27°C (Kontrol)	4,12±0,18 ^b	100,0
31°C (Sedang)	4,68±0,24 ^a	113,6
35°C (Tinggi)	3,47±0,32 ^c	84,2

Keterangan: Huruf superscript yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata ($P<0,05$)

Parameter Pertumbuhan

Laju Pertumbuhan Spesifik (SGR)

Laju pertumbuhan spesifik ikan menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ($P<0,01$) antar kelompok suhu perlakuan. Nilai SGR tertinggi dicapai pada perlakuan suhu sedang (31°C), yaitu sebesar $2,89 \pm 0,15\%$ per hari. Sementara itu, pada suhu kontrol (27°C), nilai SGR tercatat sebesar $2,45 \pm 0,12\%$ per hari, dan yang paling rendah terdapat pada suhu tinggi (35°C), yakni $1,78 \pm 0,21\%$ per hari. Penurunan laju pertumbuhan spesifik pada suhu tinggi mencapai sekitar 27,3% bila dibandingkan dengan kelompok kontrol.

Pertambahan Bobot dan Panjang

Pertambahan bobot mutlak tertinggi diperoleh dari ikan yang dipelihara pada suhu sedang (31°C), dengan rata-rata peningkatan sebesar $28,7 \pm 2,1$ gram. Sementara itu, kelompok kontrol pada suhu 27°C mengalami pertambahan bobot sebesar $22,3 \pm 1,8$ gram, dan kelompok suhu tinggi (35°C) menunjukkan pertambahan terendah, yaitu $16,2 \pm 2,4$ gram. Tren serupa juga terlihat pada pertambahan panjang tubuh, di mana ikan pada suhu sedang mengalami pertumbuhan panjang sebesar $6,8 \pm 0,4$ cm, lebih besar dibandingkan dengan kontrol sebesar $5,9 \pm 0,3$ cm dan suhu tinggi sebesar $4,1 \pm 0,5$ cm.

Tabel 2. Parameter Pertumbuhan Ikan Lele Dumbo pada Berbagai Suhu Air

Parameter	27°C (Kontrol)	31°C (Sedang)	35°C (Tinggi)
SGR (%/hari)	2,45±0,12 ^b	2,89±0,15 ^a	1,78±0,21 ^c
Pertambahan Bobot (g)	22,3±1,8 ^b	28,7±2,1 ^a	16,2±2,4 ^c
Pertambahan Panjang (cm)	5,9±0,3 ^b	6,8±0,4 ^a	4,1±0,5 ^c

Keterangan: Huruf superscript yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata ($P<0,05$)

Efisiensi Pakan

Feed Conversion Ratio (FCR), Protein Efficiency Ratio (PER) dan Feed Efficiency (FE)

Nilai rasio konversi pakan (FCR) terendah, yang mencerminkan efisiensi pakan terbaik, diperoleh pada perlakuan suhu sedang (31°C) dengan rata-rata $1,42 \pm 0,08$. Kelompok kontrol pada suhu 27°C memiliki FCR sebesar $1,67 \pm 0,11$, sedangkan nilai tertinggi atau paling tidak efisien tercatat pada suhu tinggi (35°C)

dengan angka $2,28 \pm 0,19$. Kenaikan nilai FCR pada suhu tinggi menunjukkan penurunan kemampuan ikan dalam mengubah pakan menjadi biomassa secara efisien. Sementara itu, nilai rasio efisiensi protein (PER) tertinggi juga ditemukan pada perlakuan suhu sedang, yaitu $2,11 \pm 0,12$, disusul oleh suhu kontrol sebesar $1,79 \pm 0,09$, dan paling rendah pada suhu tinggi sebesar $1,31 \pm 0,15$. Pola serupa terlihat pada efisiensi pakan (FE), di mana suhu sedang menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar $70,4 \pm 3,2\%$, diikuti oleh kontrol $59,9 \pm 2,8\%$, dan paling rendah pada suhu tinggi dengan $43,9 \pm 4,1\%$.

Retensi Protein dan Energi

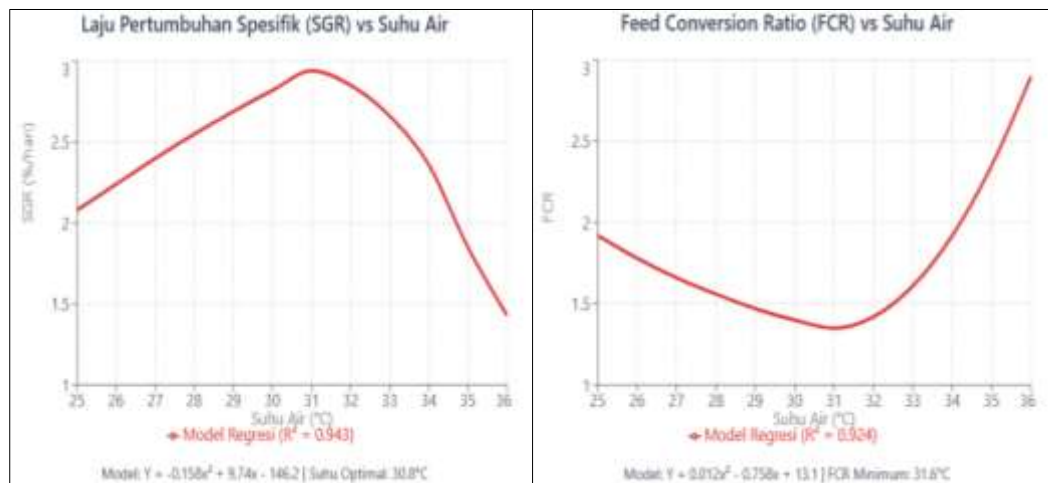
Retensi protein tertinggi ditemukan pada suhu sedang (31°C) sebesar $32,7 \pm 2,1\%$, diikuti kontrol (27°C) $28,4 \pm 1,8\%$, dan terendah pada suhu tinggi (35°C) yaitu $21,3 \pm 2,6\%$. Retensi energi menunjukkan pola serupa dengan nilai $28,9 \pm 1,9\%$ (suhu sedang), $24,6 \pm 1,5\%$ (kontrol), dan $17,8 \pm 2,3\%$ (suhu tinggi).

Tabel 4. Retensi Protein dan Energi pada Berbagai Suhu Air

Parameter	27°C (Kontrol)	31°C (Sedang)	35°C (Tinggi)
Retensi Protein (%)	$28,4 \pm 1,8^b$	$32,7 \pm 2,1^a$	$21,3 \pm 2,6^c$
Retensi Energi (%)	$24,6 \pm 1,5^b$	$28,9 \pm 1,9^a$	$17,8 \pm 2,3^c$

Keterangan: Huruf superscript yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$)

Analisis Regresi



Gambar 2. Hubungan Regresi Suhu Air dengan Parameter Nutrisi Ikan Lele Dumbo

Analisis regresi menunjukkan hubungan kuadratik yang signifikan ($P < 0,01$) antara suhu air dengan parameter pertumbuhan dan efisiensi nutrisi. Model regresi terbaik untuk SGR adalah: $Y = -0,158x^2 + 9,74x - 146,2$ ($R^2 = 0,943$), dengan suhu optimal untuk pertumbuhan pada $30,8^{\circ}\text{C}$. Untuk FCR, model regresi menunjukkan: $Y = 0,012x^2 - 0,758x + 13,1$ ($R^2 = 0,924$), dengan FCR minimum (optimal) pada suhu $31,6^{\circ}\text{C}$ seperti yang terlihat pada gambar 2.

Pembahasan

Pengaruh Suhu terhadap Konsumsi Pakan

Penelitian ini mengungkapkan bahwa suhu air berpengaruh nyata terhadap tingkat konsumsi pakan pada ikan lele dumbo, dengan kecenderungan meningkat pada suhu sedang (31°C), namun mengalami penurunan tajam ketika suhu mencapai 35°C. Hasil ini konsisten dengan temuan dari Agarwal et al., (2024), yang menyebutkan bahwa suhu memiliki peran penting dalam mengatur perilaku makan ikan, termasuk dalam proses asupan pakan, pencernaan, penyerapan nutrisi, serta distribusi energi dalam tubuh. Peningkatan konsumsi pada suhu sedang mengindikasikan bahwa kenaikan suhu dalam batas fisiologis dapat merangsang aktivitas metabolik dan meningkatkan selera makan.

Sebaliknya, penurunan konsumsi pada suhu tinggi (35°C) kemungkinan besar disebabkan oleh stres termal yang dialami ikan. Hal ini didukung oleh pernyataan Langi et al., (2024), yang menjelaskan bahwa suhu ekstrem dapat menurunkan nafsu makan karena ikan mengalihkan energi metaboliknya untuk mempertahankan keseimbangan osmotik dan menghadapi tekanan stres. Munday et al., (2022) juga menegaskan bahwa kemampuan ikan dalam beradaptasi terhadap perubahan lingkungan sangat bergantung pada sistem fisiologis stres mereka, di mana peningkatan suhu dapat memicu aktivasi sumbu hipotalamus-pituitari-interrenal (HPI), yang kemudian merangsang sekresi hormon stres seperti kortisol.

Respons Pertumbuhan terhadap Variasi Suhu

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa pertumbuhan ikan menunjukkan pola respons berbentuk kurva kuadratik terhadap variasi suhu, dengan performa pertumbuhan tertinggi tercapai pada suhu 31°C. Temuan ini memperkuat hasil studi Langi et al., (2024) yang menyatakan bahwa ikan lele Afrika memiliki rentang suhu optimal yang berada di antara nilai ekstrem tinggi dan rendah untuk mendukung pertumbuhan yang maksimal. Peningkatan laju pertumbuhan spesifik pada suhu sedang dapat dikaitkan dengan meningkatnya aktivitas enzim-enzim metabolik serta efisiensi sistem pencernaan dalam mengolah nutrisi pada suhu tersebut.

Sebaliknya, penurunan pertumbuhan yang diamati pada suhu tinggi (35°C) konsisten dengan laporan Sáez-Arteaga et al., (2024), yang mengemukakan bahwa suhu tinggi dapat mengaktifkan sumbu hipotalamus-pituitari-interrenal (HPI), sehingga memicu produksi hormon stres yang berdampak pada gangguan metabolisme, penurunan fungsi kekebalan, serta hambatan pertumbuhan. Ketika mengalami stres termal, ikan cenderung memprioritaskan penggunaan energinya untuk mempertahankan stabilitas suhu tubuh dan mengatasi stres dibandingkan mengalokasikannya untuk pertumbuhan. Hal ini juga diperkuat oleh penelitian Dawood et al., (2021) terhadap ikan nila, yang menunjukkan bahwa stres akibat suhu ekstrem dapat mengganggu sistem antioksidan dan imunitas, sehingga menurunkan performa pertumbuhan secara keseluruhan.

Efisiensi Pemanfaatan Pakan dan Nutrisi

Penelitian ini menunjukkan bahwa suhu air memiliki pengaruh nyata terhadap efisiensi pemanfaatan pakan, yang diukur melalui parameter FCR, PER, dan FE. Efisiensi tertinggi diperoleh pada suhu 31°C, sedangkan suhu tinggi (35°C) secara signifikan menurunkan efisiensi tersebut. Hasil ini konsisten dengan studi Teles et al., (2020), yang menjelaskan bahwa suhu memengaruhi kerja enzim-enzim pencernaan serta kecepatan pengosongan makanan dari saluran cerna. Dalam kondisi suhu optimal, aktivitas enzim meningkat sehingga proses pencernaan dan penyerapan makronutrien seperti protein, lemak, dan karbohidrat berlangsung lebih efektif. Penurunan efisiensi pada suhu tinggi disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, peningkatan kebutuhan energi untuk metabolisme basal menyebabkan proporsi energi yang digunakan untuk pertumbuhan berkurang (Alfonso et al., 2021). Kedua, suhu tinggi berisiko menyebabkan denaturasi protein enzimatis, yang menurunkan kemampuan mencerna makanan. Ketiga, meningkatnya stres oksidatif akibat suhu ekstrem memerlukan energi tambahan untuk proses netralisasi radikal bebas dan mempertahankan homeostasis tubuh (Reid et al., 2022).

Retensi Protein dan Energi

Polanya sejalan dengan parameter pertumbuhan dan efisiensi pakan, retensi protein dan energi juga menunjukkan nilai tertinggi pada suhu 31°C. Islam et al., (2022) mengungkapkan bahwa suhu lingkungan berperan penting dalam regulasi proses anabolik dan katabolik protein dalam tubuh ikan. Suhu optimal mendukung efisiensi tinggi dalam sintesis protein untuk pertumbuhan, sedangkan suhu tinggi justru mengarah pada penggunaan protein untuk proses metabolik lain seperti glukoneogenesis atau sebagai respons terhadap stres. Lebih lanjut, penurunan retensi energi pada suhu tinggi sesuai dengan temuan El-Kady et al., (2022) yang menyatakan bahwa paparan terhadap suhu ekstrem meningkatkan penggunaan energi untuk kebutuhan termogenesis dan detoksifikasi. Dengan demikian, energi yang seharusnya digunakan untuk pertumbuhan dialihkan ke proses adaptif. Penelitian Gatti et al., (2021) juga menunjukkan bahwa suhu tinggi dapat memengaruhi pola distribusi energi dalam tubuh ikan, di mana lebih banyak energi digunakan untuk mempertahankan fungsi fisiologis dibandingkan untuk pertumbuhan jaringan.

Implikasi terhadap Perubahan Iklim Global

Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam memahami potensi dampak perubahan iklim terhadap produktivitas akuakultur, khususnya ikan lele dumbo. Dengan proyeksi peningkatan suhu global sebesar 1,5 hingga 4°C dalam beberapa dekade ke depan, diperlukan langkah-langkah adaptif dalam sistem budidaya. Suhu optimal sebesar 31°C yang teridentifikasi dalam studi ini masih dapat dicapai melalui pengelolaan lingkungan perairan secara efektif. Namun, suhu ekstrem seperti 35°C terbukti memberikan dampak negatif terhadap performa ikan.

Hal ini memperkuat rekomendasi Maulu et al., (2021) yang menekankan pentingnya penerapan strategi mitigasi dalam sektor akuakultur, seperti pemuliaan ikan untuk toleransi suhu yang lebih baik, penyusunan ulang formulasi pakan, dan peningkatan manajemen kualitas air. Temuan ini juga membuka peluang untuk pengembangan teknologi budidaya yang lebih tanggap terhadap perubahan suhu, seperti sistem budidaya dengan pengatur suhu otomatis dan pakan yang diformulasikan sesuai dengan fluktuasi suhu lingkungan.

Mekanisme Adaptasi Fisiologis

Berdasarkan hasil pengamatan, ikan lele dumbo menunjukkan respons fisiologis yang adaptif pada suhu 31°C, namun mengalami tekanan fisiologis yang signifikan ketika dipelihara pada suhu 35°C. Adaptasi ini melibatkan sejumlah sistem dalam tubuh, seperti sistem hormonal, metabolik, dan imunologis. Sáez-Arteaga et al., (2024) menjelaskan bahwa ikan memiliki ambang toleransi suhu tertentu, dan jika terpapar suhu di luar kisaran tersebut, keseimbangan fisiologis dapat terganggu sehingga menurunkan performa secara keseluruhan. Salah satu respons adaptif penting terhadap stres termal adalah aktivasi protein kejut panas (*heat shock proteins*), seperti HSP70.

Penelitian oleh Jeyachandran et al., (2023) menunjukkan bahwa HSP70 memainkan peran sentral dalam membantu ikan lele bertahan pada kondisi suhu tinggi. Namun demikian, aktivasi sistem stres secara berlebihan dapat menyedot cadangan energi yang semestinya dialokasikan untuk pertumbuhan, seperti yang teramati pada perlakuan suhu tinggi dalam studi ini. Temuan ini menegaskan bahwa ikan lele dumbo memiliki rentang suhu optimal yang relatif terbatas untuk mencapai pertumbuhan dan efisiensi pakan yang maksimal. Oleh karena itu, pemahaman terhadap mekanisme fisiologis ini sangat penting untuk merancang strategi budidaya yang tangguh dan berkelanjutan di tengah tantangan perubahan iklim global.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi suhu air sebagai simulasi perubahan iklim terhadap respons pertumbuhan dan nutrisi ikan lele dumbo (*Clarias gariepinus*). Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa suhu air memegang peranan penting dalam menentukan efisiensi pemanfaatan nutrisi, pertumbuhan, dan retensi protein ikan lele. Suhu optimal terbukti mampu mendukung performa pertumbuhan yang maksimal, sedangkan suhu ekstrem memberikan tekanan fisiologis yang berdampak negatif terhadap produktivitas ikan. Temuan ini menegaskan pentingnya pengelolaan suhu budidaya sebagai bagian dari strategi adaptasi terhadap perubahan iklim. Sebagai tindak lanjut, disarankan untuk mengembangkan teknologi budidaya yang adaptif seperti sistem pengendali suhu otomatis dan formulasi pakan berbasis suhu. Penelitian lanjutan juga diperlukan untuk mengeksplorasi aspek fisiologis dan molekuler dari

respons ikan terhadap stres termal, serta uji skala lapangan untuk menguji efektivitas strategi adaptasi yang dikembangkan. Selain itu, kolaborasi antara pembudidaya, peneliti, dan pembuat kebijakan sangat diperlukan guna mewujudkan praktik akuakultur yang tangguh terhadap perubahan iklim.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Dharmawangsa, khususnya Fakultas Perikanan dan seluruh personalia laboratorium yang telah memberikan fasilitas serta dukungan administratif dan teknis selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, D., Shanmugam, S. A., Kathirvelpandian, A., Eswaran, S., Rather, M. A., & Rakkannan, G. (2024). Unraveling the Impact of Climate Change on Fish Physiology: A Focus on Temperature and Salinity Dynamics. *Journal of Applied Ichthyology*, 2024(1), 5782274. <https://doi.org/10.1155/2024/5782274>
- Alfonso, S., Gesto, M., & Sadoul, B. (2021). Temperature increase and its effects on fish stress physiology in the context of global warming. *Journal of Fish Biology*, 98(6), 1496–1508. <https://doi.org/10.1111/jfb.14599>
- Biswas, G., Kumar, P., Ghoshal, T. K., Das, S., De, D., Bera, A., Anand, P. S. S., & Kailasam, M. (2022). Periphyton: A natural fish food item for replacement of feed at optimized substrate surface area for cost-effective production in brackishwater polyculture. *Aquaculture*, 561, 738672. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738672>
- Dawood, M. A. O., Noreldin, A. E., Ali, M. A. M., & Sewilam, H. (2021). Menthol essential oil is a practical choice for intensifying the production of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Effects on the growth and health performances. *Aquaculture*, 543, 737027. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737027>
- Desforges, J. E., Birnie-Gauvin, K., Jutfelt, F., Gilmour, K. M., Eliason, E. J., Dressler, T. L., McKenzie, D. J., Bates, A. E., Lawrence, M. J., Fanguie, N., & Cooke, S. J. (2023). The ecological relevance of critical thermal maxima methodology for fishes. *Journal of Fish Biology*, 102(5), 1000–1016. <https://doi.org/10.1111/jfb.15368>
- Effendie, MI. (1997). *Biologi Perikanan*. Penerbit Yayasan Dewi Sri.

- El-Kady, A. A., Magouz, F. I., Mahmoud, S. A., & Abdel-Rahim, M. M. (2022). The effects of some commercial probiotics as water additive on water quality, fish performance, blood biochemical parameters, expression of growth and immune-related genes, and histology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 546, 737249. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737249>
- Gatti, L. V., Basso, L. S., Miller, J. B., Gloor, M., Gatti Domingues, L., Cassol, H. L. G., Tejada, G., Aragão, L. E. O. C., Nobre, C., Peters, W., Marani, L., Arai, E., Sanches, A. H., Corrêa, S. M., Anderson, L., Von Randow, C., Correia, C. S. C., Crispim, S. P., & Neves, R. A. L. (2021). Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature*, 595(7867), 388–393. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>
- Islam, M. J., Kunzmann, A., & Slater, M. J. (2022). Responses of aquaculture fish to climate change-induced extreme temperatures: A review. *Journal of the World Aquaculture Society*, 53(2), 314–366. <https://doi.org/10.1111/jwas.12853>
- Jeyachandran, S., Chellapandian, H., Park, K., & Kwak, I.-S. (2023). A Review on the Involvement of Heat Shock Proteins (Extrinsic Chaperones) in Response to Stress Conditions in Aquatic Organisms. *Antioxidants*, 12(7), 1444. <https://doi.org/10.3390/antiox12071444>
- Langi, S., Maulu, S., Hasimuna, O. J., Kaleinasho Kapula, V., & Tjipute, M. (2024). Nutritional requirements and effect of culture conditions on the performance of the African catfish (*Clarias gariepinus*): A review. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2302642. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2302642>
- Lujan, M. (2024). *Climate Change and Aquaculture: The Impact of Thermal Stress on Fish*. <https://aquahoy.com/climate-change-aquaculture-impact-thermal-stress-fish/>
- Madjading, B., Jayadi, J., & Hadijah, H. (2023). Pengaruh Pemberian Frekuensi Pakan Pelet Terhadap Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Ikan Patin (*Pangasianodon hypophthalmus*). *JURNAL AKUAKULTUR NUSANTARA*, 1(1), Article 1.
- Maulu, S., Hasimuna, O. J., Haambiya, L. H., Monde, C., Musuka, C. G., Makorwa, T. H., Munganga, B. P., Phiri, K. J., & Nsekanabo, J. D. (2021). Climate Change Effects on Aquaculture Production: Sustainability Implications, Mitigation, and Adaptations. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 609097. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.609097>

- Mehrim, A. I., & Refaey, M. M. (2023). An Overview of the Implication of Climate Change on Fish Farming in Egypt. *Sustainability*, 15(2), 1679. <https://doi.org/10.3390/su15021679>
- Munday, P. L., McCormick, M. I., & Nilsson, G. E. (2022). Impact of global warming and rising CO₂ levels on coral reef fishes: What hope for the future? *Journal of Experimental Biology*, 215(22), 3865–3873. <https://doi.org/10.1242/jeb.074765>
- Reid, C. H., Patrick, P. H., Rytwinski, T., Taylor, J. J., Willmore, W. G., Reesor, B., & Cooke, S. J. (2022). An updated review of cold shock and cold stress in fish. *Journal of Fish Biology*, 100(5), 1102–1137. <https://doi.org/10.1111/jfb.15037>
- Sáez-Arteaga, A., Viegas, I., Palma, M., Dantagnan, P., Valdebenito, I., Figueroa Villalobos, E., Hernández, A., Guerrero-Jiménez, J., Metón, I., & Heyser, C. (2024). Impact of increasing temperatures on neuroendocrine and molecular responses of skeletal muscle and liver in fish: A comprehensive review. *Aquaculture Reports*, 39, 102448. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102448>
- Teles, A. O., Couto, A., Enes, P., & Peres, H. (2020). Dietary protein requirements of fish – a meta-analysis. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), 1445–1477. <https://doi.org/10.1111/raq.12391>