

Studi Literatur: Faktor Internal dan Eksternal yang Mempengaruhi Kecepatan Metabolisme dan Pertumbuhan pada Ikan Air Tawar dan Air Laut

Geoffano Ertio Walujan

Universitas Sam Ratulangi, Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam, Program Studi Biologi.

*Email Penulis Korespondensi: geoffanowalujan@gmail.com

Abstrak. Laju metabolisme dan pertumbuhan merupakan aspek penting dalam kehidupan ikan yang dipengaruhi oleh banyak faktor. Penelitian literatur ini bertujuan mengkaji berbagai faktor yang mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan ikan, baik yang hidup di air tawar maupun air laut. Faktor-faktor tersebut dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu faktor internal dan eksternal. Faktor internal terdiri dari genetik, ukuran dan umur ikan, jenis kelamin, kondisi fisiologis, serta kesehatan ikan. Sedangkan faktor eksternal meliputi kondisi lingkungan seperti suhu air, salinitas, kadar oksigen terlarut, pH, ketersediaan pakan, cahaya, dan kepadatan populasi. Ikan air tawar dan air laut memiliki perbedaan mendasar dalam hal osmoregulasi yang menyebabkan respons metabolisme berbeda terhadap lingkungannya. Ikan laut cenderung membutuhkan energi metabolisme lebih besar karena harus beradaptasi dengan lingkungan yang memiliki konsentrasi garam tinggi. Di antara berbagai faktor eksternal, suhu menjadi yang paling berpengaruh terhadap metabolisme ikan karena sifatnya sebagai hewan berdarah dingin. Memahami bagaimana faktor-faktor ini saling berinteraksi sangat bermanfaat untuk pengembangan budidaya ikan yang lebih efisien, pengelolaan.

Kata Kunci: Metabolisme ikan; laju pertumbuhan; ikan air laut; ikan air tawar

PENDAHULUAN

Metabolisme dan pertumbuhan merupakan dua proses fisiologis fundamental yang menentukan kemampuan ikan untuk bertahan hidup, berkembang, dan beradaptasi dalam berbagai kondisi lingkungan. Proses metabolisme menggambarkan bagaimana ikan memperoleh, mengubah, dan memanfaatkan energi, sedangkan pertumbuhan mencerminkan hasil akhir dari alokasi energi bersih yang tersisa setelah kebutuhan metabolik dasar terpenuhi (Boeuf dan Payan, 2001). Dalam konteks biologi perairan, pemahaman mengenai faktor yang memengaruhi kedua proses tersebut menjadi semakin penting terutama karena perubahan lingkungan global yang semakin dinamis, seperti pemanasan perairan, peningkatan salinitas, polusi kimia, dan penurunan kualitas habitat (Menon *et al.*, 2023). Studi mengenai metabolisme dan pertumbuhan ikan tidak hanya memberikan pemahaman fisiologis, tetapi juga berkontribusi pada pengelolaan sumber daya perikanan dan pengembangan teknologi budidaya yang berkelanjutan.

Faktor internal diketahui memiliki peran penting dalam menentukan kapasitas metabolik dan kemampuan ikan untuk tumbuh. Hormon pertumbuhan (GH) dan insulin-like growth factor (IGF) merupakan regulator utama dalam proses pertumbuhan dan sintesis protein. Aktivitas hormonal tersebut dikendalikan oleh mekanisme neuroendokrin yang sensitif terhadap perubahan kondisi fisiologis internal dan eksternal (Canosa dan Bertucci, 2023). Selain hormon, genetika juga memengaruhi variasi metabolisme antarspesies maupun intraspesies. Penelitian Singh *et al.* (2024) menunjukkan bahwa perbedaan genetik memengaruhi komposisi mikrobiota usus, yang pada gilirannya mempengaruhi efisiensi pencernaan dan metabolisme energi. Ukuran tubuh dan umur turut menentukan laju metabolisme; ikan berukuran kecil cenderung memiliki laju metabolisme lebih tinggi dibanding ikan dewasa akibat rasio permukaan terhadap volume yang lebih besar dan kebutuhan energi yang lebih tinggi untuk pertumbuhan jaringan baru (Enders *et al.*, 2016).

Perbedaan habitat antara ikan air tawar dan ikan air laut juga memunculkan variasi fisiologis yang signifikan. Ikan air laut dihadapkan pada kondisi salinitas tinggi sehingga harus mengeluarkan energi lebih besar untuk mempertahankan keseimbangan ionik melalui proses osmoregulasi (Seale *et al.*, 2024). Sebaliknya, ikan air tawar menghadapi tekanan osmotik berlawanan, yaitu kecenderungan masuknya air ke dalam tubuh secara osmosis, sehingga memerlukan mekanisme ekskresi ion yang berbeda. Kedua perbedaan tersebut menciptakan

strategi metabolik yang distingtif pada kedua kelompok ikan. Hal ini ditegaskan dalam beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa ikan air laut secara umum memiliki tingkat metabolisme basal lebih tinggi dibanding ikan air tawar akibat tingginya beban energi untuk homeostasis osmotik (Chen *et al.*, 2025; Djiba *et al.*, 2021).

Selain faktor internal, faktor eksternal diketahui memiliki pengaruh besar terhadap metabolisme dan pertumbuhan ikan. Suhu merupakan faktor lingkungan paling krusial yang memengaruhi laju reaksi biokimia, konsumsi oksigen, aktivitas enzim, dan efisiensi pemanfaatan energi. Peningkatan suhu dapat meningkatkan metabolisme ikan hingga batas optimal, tetapi suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan stres fisiologis, ketidakseimbangan homeostasis, dan akhirnya menurunkan kapasitas pertumbuhan (Lim dan Kim, 2021). Penelitian pada olive flounder, carp, goldfish, hingga nila memperlihatkan bahwa konsumsi oksigen meningkat seiring kenaikan suhu, yang menjadi indikator meningkatnya kebutuhan energi metabolik (Herrera-Castillo *et al.*, 2024; Enders *et al.*, 2016). Dalam kondisi ekstrem, kenaikan suhu dapat menghambat proses pencernaan dan mengganggu fungsi enzimatik, sehingga menurunkan efisiensi pertumbuhan.

Faktor eksternal lain yang sangat memengaruhi metabolisme ikan adalah salinitas. Variasi salinitas menuntut ikan untuk menyesuaikan mekanisme osmoregulasi, yang secara langsung berpengaruh pada kebutuhan energi metabolik. Penelitian Shi *et al.* (2011) menunjukkan bahwa perubahan salinitas mengubah konsumsi oksigen dan tingkat metabolisme respirasi pada juvenile puffer fish. Pada ikan nila merah hibrida, salinitas optimum terbukti meningkatkan efisiensi konversi pakan dan pertumbuhan, sedangkan salinitas ekstrem menyebabkan beban osmotik tinggi yang menghambat pertumbuhan (Nassar *et al.*, 2021). Penelitian lainnya pada Tor soro juga menunjukkan respons fisiologis berbeda terhadap variasi salinitas, terutama terkait perubahan struktur jaringan, metabolisme respirasi, dan kapasitas antioksidan (Leying *et al.*, 2023).

Selain suhu dan salinitas, kualitas air seperti pH, oksigen terlarut, dan konsentrasi amonia merupakan faktor penting lainnya. Penurunan oksigen terlarut menyebabkan ikan meningkatkan ventilasi insang dan aktivitas jantung untuk mempertahankan keseimbangan oksigen dalam tubuh, sehingga menghabiskan lebih banyak energi metabolik (Mariu *et al.*, 2023). Peningkatan kadar amonia dapat menyebabkan kerusakan jaringan insang dan mengganggu metabolisme nitrogen, yang berdampak pada pertumbuhan ikan (Menon *et al.*, 2023). Kualitas air yang buruk juga dapat memicu stres oksidatif, yang ditandai dengan peningkatan radikal bebas dan kerusakan sel. Dampak stres oksidatif terhadap laju metabolisme dan pertumbuhan telah dibuktikan pada berbagai spesies ikan air tawar maupun laut.

Interaksi antara faktor nutrisi dan metabolisme juga tidak dapat diabaikan. Ketersediaan pakan, kualitas nutrisi, dan komposisi energi sangat menentukan seberapa besar energi bersih yang dapat dialokasikan untuk pertumbuhan. Ikan dengan diet tinggi protein umumnya menunjukkan pertumbuhan lebih cepat, namun hal ini sangat bergantung pada kondisi lingkungan seperti suhu dan kualitas air. Penelitian Herrera-Castillo *et al.* (2024) pada goldfish menunjukkan bahwa tantangan lingkungan budidaya dapat meningkatkan kebutuhan energi untuk adaptasi fisiologis, sehingga nutrisi pakan menjadi faktor pembatas utama dalam pertumbuhan.

Mikrobiota usus menjadi aspek lain yang semakin mendapat perhatian dalam penelitian fisiologi ikan. Mikroorganisme usus membantu proses pencernaan, sintesis vitamin, dan memengaruhi respons metabolik. Penelitian Singh *et al.* (2024) menunjukkan bahwa ikan air tawar dan ikan air laut memiliki profil mikrobiota yang berbeda, dan perubahan lingkungan dapat mengganggu keseimbangan mikrobiota tersebut. Perubahan ini dapat memengaruhi metabolisme dan pertumbuhan secara tidak langsung melalui penurunan efisiensi pencernaan dan gangguan homeostasis energi.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa faktor internal dan eksternal tidak bekerja secara terpisah, melainkan saling berinteraksi dalam memengaruhi metabolisme ikan. Sebagai contoh, peningkatan suhu dapat memodifikasi aktivitas hormon pertumbuhan, mempercepat metabolisme, tetapi juga dapat meningkatkan risiko stres oksidatif yang menghambat pertumbuhan (Canosa dan Bertucci, 2023). Perubahan salinitas dapat mengubah ekspresi gen

terkait osmoregulasi, yang secara langsung memengaruhi alokasi energi untuk pertumbuhan (Djiba *et al.*, 2021). Dengan demikian, pemahaman yang komprehensif mengenai dinamika metabolisme ikan harus mempertimbangkan keterkaitan antara faktor internal dan eksternal. Hipotesis dalam penelitian ini adalah bahwa metabolisme dan pertumbuhan ikan dipengaruhi secara simultan oleh faktor internal dan eksternal, dan perbedaan kondisi habitat antara perairan tawar dan laut menyebabkan variasi adaptasi metabolik yang signifikan pada setiap spesies.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi faktor internal yang memengaruhi metabolisme dan pertumbuhan ikan; mengkaji faktor eksternal yang memengaruhi respons metabolik pada ikan air tawar dan ikan air laut; menganalisis interaksi antara kedua faktor berdasarkan temuan lebih dari 20 jurnal ilmiah; memberikan pemahaman teoritis yang dapat digunakan untuk pengembangan manajemen perikanan dan strategi budidaya yang lebih adaptif.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur (literature review) dengan pendekatan deskriptif-analitis. Literatur yang dianalisis mencakup artikel ilmiah, laporan penelitian, dan ulasan (review) yang diterbitkan pada jurnal internasional terindeks Scopus dan Web of Science serta beberapa jurnal nasional bereputasi pada kurun waktu 1999–2025. Pencarian literatur dilakukan melalui basis data seperti ScienceDirect, Wiley Online Library, SpringerLink, PubMed, dan DOAJ dengan kata kunci: fish metabolism, growth factors in fish, freshwater fish physiology, marine fish metabolism, salinity stress, dan thermal tolerance in fish. Kriteria inklusi mencakup: penelitian yang meneliti faktor internal (hormon, genetika, ukuran tubuh, umur) atau faktor eksternal (suhu, salinitas, pH, oksigen terlarut, kualitas air, nutrisi); penelitian yang fokus pada ikan air tawar atau laut; penelitian eksperimental maupun ulasan yang relevan dengan tema metabolisme dan pertumbuhan ikan.

Data dari masing-masing artikel dikelompokkan berdasarkan variabel utama, yaitu faktor internal dan faktor eksternal, kemudian dianalisis untuk menemukan pola hubungan, perbedaan respons antar spesies, dan mekanisme fisiologis yang dijelaskan oleh para peneliti sebelumnya. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan komparatif untuk melihat keterkaitan antara hasil penelitian dari berbagai jurnal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelusuran literatur menunjukkan bahwa metabolisme dan pertumbuhan ikan dipengaruhi oleh berbagai faktor internal dan eksternal yang bekerja secara saling terkait. Dua kelompok faktor tersebut tidak dapat dianalisis secara terpisah karena respons fisiologis ikan selalu muncul sebagai hasil interaksi keduanya.

Pengaruh Faktor Internal terhadap Metabolisme dan Pertumbuhan Ikan

Faktor internal yang paling banyak dilaporkan memengaruhi metabolisme ikan adalah hormon pertumbuhan (*growth hormone/ GH*) dan *insulin-like growth factor* (IGF). Kedua hormon ini berfungsi sebagai penggerak utama proses pembentukan jaringan tubuh, pengaturan sintesis protein, dan pengalokasian energi (Canosa dan Bertucci, 2023). Dalam kondisi fisiologis yang stabil, GH merangsang produksi IGF di hati maupun jaringan perifer sehingga pertumbuhan ikan meningkat secara proporsional. Namun, beberapa studi menunjukkan bahwa respons hormonal ini sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan. Misalnya, fluktuasi suhu, stres oksidatif, dan perubahan salinitas dapat menekan produksi IGF yang akhirnya menurunkan laju pertumbuhan.

Genetika dan ukuran tubuh juga menjadi faktor internal yang penting. Ikan dengan potensi genetik yang kuat untuk pertumbuhan umumnya menunjukkan metabolisme basal yang lebih efisien dalam memanfaatkan energi. Ikan berukuran kecil memiliki metabolisme yang lebih tinggi dibanding ikan dewasa karena kebutuhan energi yang lebih besar untuk pembentukan jaringan baru. Temuan Enders *et al.* (2016) serta Herrera-Castillo *et al.* (2024) menunjukkan bahwa tahap

perkembangan menentukan sensitivitas ikan terhadap perubahan lingkungan sehingga pertumbuhan sangat dipengaruhi oleh usia dan ukuran tubuh.

Mikrobiota usus semakin diakui sebagai faktor internal kritis. Komposisi mikrobiota terbukti mempengaruhi efisiensi pencernaan dan metabolisme energi. Profil mikrobiota berbeda antara ikan air tawar dan ikan air laut, dan dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti salinitas, pakan, dan kualitas air (Singh *et al.*, 2024). Kondisi ini menegaskan bahwa mikrobiota berperan sebagai mediator antara faktor internal dan eksternal dalam proses metabolisme.

Peran Faktor Eksternal dalam Mengatur Metabolisme dan Pertumbuhan Ikan

Pengaruh Suhu Terhadap Metabolisme

Suhu merupakan faktor eksternal paling dominan dalam menentukan metabolisme ikan. Peningkatan suhu menyebabkan percepatan reaksi biokimia dan konsumsi oksigen, sehingga laju metabolisme meningkat (Lim dan Kim, 2021). Namun, jika suhu melampaui kisaran optimum spesies, metabolisme meningkat secara berlebihan dan dapat menyebabkan penurunan efisiensi pertumbuhan. Beberapa studi menunjukkan adanya titik balik (*threshold*), di mana energi yang digunakan untuk bertahan hidup lebih besar daripada energi yang dialokasikan untuk pertumbuhan. Kondisi ini telah dilaporkan pada ikan nila, flounder, hingga goldfish (Herrera-Castillo *et al.*, 2024).

Pengaruh Salinitas dan Osmoregulasi

Salinitas juga merupakan faktor eksternal penting, khususnya bagi ikan yang hidup dalam lingkungan estuari atau bersifat euryhaline. Perubahan salinitas memaksa ikan menyesuaikan kinerja osmoregulasi untuk menjaga keseimbangan ion dalam tubuh. Proses ini membutuhkan energi dalam jumlah besar. Penelitian pada puffer fish oleh Shi *et al.* (2011) menunjukkan bahwa salinitas mempengaruhi konsumsi oksigen dan metabolisme respirasi. Pada ikan nila merah hibrida, salinitas optimum berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi pakan, sedangkan salinitas ekstrem menyebabkan pengalihan energi dari pertumbuhan ke osmoregulasi (Nassar *et al.*, 2021).

Studi pada Tor soro menunjukkan bahwa perubahan salinitas bahkan berpengaruh pada struktur jaringan, kapasitas antioksidan, serta ekspresi gen terkait osmoregulasi (Leying *et al.*, 2023). Hal ini menunjukkan bahwa ikan mengaktifkan mekanisme adaptif berlapis ketika menghadapi tantangan salinitas.

Kualitas Air dan Stres Lingkungan

Kualitas air terutama oksigen terlarut, pH, dan ammonia adalah faktor lain yang menentukan. Oksigen terlarut yang rendah memaksa ikan bekerja lebih keras melalui peningkatan ventilasi insang dan aktivitas kardiovaskular, yang menyebabkan penurunan efisiensi metabolisme (Mariu *et al.*, 2023).

Ammonia dan pH ekstrem juga memicu stres oksidatif, merusak jaringan tubuh, dan menurunkan laju pertumbuhan (Menon *et al.*, 2023). Ketiga faktor ini sangat menentukan keberhasilan metabolisme karena ikan sangat bergantung pada kondisi air untuk respirasi dan pembuangan limbah fisiologis.

Interaksi Faktor Internal dan Eksternal

Salah satu temuan penting dari kajian ini adalah bahwa faktor internal dan eksternal tidak bekerja secara terpisah. Perubahan lingkungan secara langsung memengaruhi hormon, ekspresi gen, mikrobiota, dan strategi penggunaan energi ikan. Misalnya: suhu tinggi tidak hanya mempercepat metabolisme, tetapi juga menekan produksi IGF sehingga pertumbuhan melambat meskipun metabolisme meningkat (Canosa dan Bertucci, 2023). Peningkatan salinitas memaksa ikan mengalihkan energi untuk osmoregulasi sehingga energi untuk pertumbuhan berkurang drastis (Djiba *et al.*, 2021). Kualitas air buruk meningkatkan stres oksidatif yang menyebabkan penurunan aktivitas enzim pertumbuhan (Menon *et al.*, 2023). Perbedaan habitat antara ikan air

tawar dan laut menyebabkan respons yang berbeda terhadap interaksi kedua faktor. Ikan air laut membutuhkan energi lebih besar untuk osmoregulasi, sedangkan ikan air tawar lebih sensitif terhadap pH ekstrem dan fluktuasi kualitas air.

Pemahaman mengenai faktor-faktor ini memiliki implikasi besar dalam bidang konservasi, perikanan tangkap, dan akuakultur. Dalam akuakultur, pengaturan suhu dan salinitas yang sesuai dapat meningkatkan efisiensi pakan, rasio konversi pakan, dan pertumbuhan ikan. Selain itu, pengelolaan kualitas air secara konsisten dapat mencegah stres oksidatif dan meningkatkan kesehatan ikan. Dari sisi ekologi, hasil literatur ini menegaskan bahwa perubahan iklim dan degradasi lingkungan dapat mengganggu keseimbangan fisiologis ikan. Spesies tertentu dapat mengalami penurunan pertumbuhan atau migrasi paksa akibat perubahan suhu dan salinitas yang cepat.

KESIMPULAN

Dari hasil studi literatur ini dapat disimpulkan bahwa metabolisme dan pertumbuhan ikan dipengaruhi oleh dua kelompok faktor utama, yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal seperti hormon, genetika, ukuran tubuh, dan mikrobiota usus menentukan bagaimana ikan mengelola energi yang masuk. Sementara itu, faktor eksternal seperti suhu, salinitas, oksigen terlarut, pH, serta kualitas air menjadi penentu bagaimana ikan beradaptasi dalam lingkungannya. Perbedaan antara ikan air tawar dan ikan air laut terutama terletak pada kebutuhan energi untuk osmoregulasi. Ikan laut umumnya memiliki kebutuhan energi yang lebih besar, sementara ikan air tawar lebih banyak menghadapi kendala kualitas air. Interaksi kedua faktor ini sangat kuat, sehingga kondisi lingkungan dapat memengaruhi faktor internal seperti hormon dan ekspresi gen. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut yang bersifat eksperimental sangat diperlukan agar hubungan antara faktor-faktor tersebut dapat dipahami lebih dalam dan membantu pengembangan budidaya ikan yang lebih efisien dan adaptif terhadap perubahan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Boeuf, G., & Payan, P. (2001). How should salinity influence fish growth? *Aquatic Living Resources*, 14(1), 89–107.
- Canosa, L. F., & Bertucci, J. I. (2023). Environmental stressors and the endocrine control of fish growth: *A review. General and Comparative Endocrinology*, 327, 114–125.
- Chen, X., Liu, P., Wang, Y., & Li, Q. (2025). Effects of salinity on growth, metabolism, tissue structure, and antioxidant capacity of *Eleutheronema tetradactylum*. *Frontiers in Marine Science*, 12, Article 1553114.
- Claireaux, G., & Lagardère, J. P. (1999). Influence of temperature, oxygen and salinity on the metabolism of the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Journal of Fish Biology*, 55(5), 961–977.
- Djiba, A., Li, D., & Zhang, X. (2021). Relationship between metabolic rate and salinity tolerance in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Animals*, 11(12), 3445.
- Enders, E. C., Boisclair, D., & Roy, A. (2016). Effects of natural environmental fluctuations on fish metabolism: A conceptual model. *Journal of Fish Biology*, 88(1), 1–20.
- Herrera-Castillo, M., Ruiz-Luna, J., & Martínez-Palacios, C. (2024). Metabolic response of goldfish (*Carassius auratus*) under common aquaculture stress conditions. *Biology*, 13(10), 804.
- Leying, F., Prasetyo, B., & Yuniarti, T. (2023). Effects of different salinity levels on growth, osmoregulation, metabolism, and antioxidant responses of *Tor soro*. *Indonesian Aquaculture Journal*, 18(2), 125–135.
- Lim, J. H., & Kim, H. (2021). Effects of water temperature on oxygen consumption, ammonia excretion, and growth in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Fisheries and Aquatic Sciences*, 24(2), 99–108.

- Mariu, P., Singh, D., & Nagesh, T. (2023). Effects of temperature, pH, salinity, and dissolved oxygen on physiology and survival of fishes: *A review*. *Zoology & Systematics*, 15(1), 45–63.
- Menon, V., Thomas, P., & George, S. (2023). Influence of physicochemical factors and oxidative stress on fish metabolism and health. *Frontiers in Environmental Science*, 11, Article 1240813.
- Nassar, M., Elsayed, A., & Mohamed, S. (2021). Influence of varying salinity levels on growth and feed utilization of hybrid red tilapia. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 25(2), 345–357.
- Seale, A., Kültz, D., & Hiroi, J. (2024). *Energetic cost and physiological mechanisms of salinity tolerance in marine fishes: A comprehensive review*. *Reviews in Aquaculture*, 16(1), 44–63.
- Shi, B., Xiang, J., & Zhang, M. (2011). Interactive effects of salinity and temperature on oxygen consumption and metabolic rate in juvenile puffer fish (*Takifugu obscurus*). *Aquaculture Research*, 42(2), 239–247.
- Singh, R., Verma, A., & Li, S. (2024). Comparative review of gut microbiota in freshwater and marine fishes: Implications for metabolism and environmental adaptation. *Microorganisms*, 12(4), 406.