



Respons Fisiologis Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) terhadap Perubahan Kualitas Air yang Lingkungan Ekstrem

Aminah^{1*}

¹ Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Achmad Yani Banjarmasin, Indonesia

*Penulis Korespondensi: aminahg1b114019@gmail.com

Abstract. Extreme changes in water quality, whether in the form of temperature fluctuations, exposure to detergents, pH decreases due to acetic acid, or changes in salinity, have the potential to cause complex physiological disorders in tilapia. The research aims to analyze the physiological responses of tilapia to changes in water quality in extreme environments given exposure to Temperature, Detergent, Acetic Acid, and Salinity. This research was conducted at the Wet Laboratory of Achmad Yani University, Banjarmasin. The physiological parameters observed included fish behavior, respiratory frequency measured by the number of openings and closings of the operculum per minute, gill condition, and mucus production on the body surface. Exposure to extreme environments in the form of high temperatures, detergents, acetic acid, and salinity caused physiological disorders in tilapia with varying levels of response. Exposure to acetic acid had the most rapid and severe impact, characterized by damage to scales and fins, impaired movement to the point of fish capsizing, and unstable breathing, while detergent and temperature triggered changes in external organs, heart rate, and behavior. Salinity treatment primarily affected osmoregulatory function as seen from increased respiratory frequency and heart rate. All treatments showed that extreme changes in water quality can cause significant physiological stress in tilapia.

Keywords: Detergent Exposure; Physiology; Temperature Fluctuation; Tilapia; Water Quality.

Abstrak. Perubahan kualitas air yang bersifat ekstrem, baik berupa fluktuasi suhu, paparan deterjen, penurunan pH akibat asam cuka, maupun perubahan salinitas, berpotensi menimbulkan gangguan fisiologis yang kompleks pada ikan nila. Penelitian bertujuan menganalisis respons fisiologis ikan nila terhadap perubahan kualitas air yang lingkungan ekstrem yang diberikannya paparan Suhu, Deterjen, Asam Cuka, dan Salinitas. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Basah Universitas Achmad Yani Banjarmasin. Parameter fisiologis yang diamati meliputi tingkah laku ikan, frekuensi pernapasan yang diukur melalui jumlah buka-tutup operkulum per menit, kondisi insang, produksi lendir pada permukaan tubuh. Paparan lingkungan ekstrem berupa suhu tinggi, deterjen, asam cuka, dan salinitas menyebabkan gangguan fisiologis pada ikan nila dengan tingkat respons yang berbeda-beda. Paparan asam cuka memberikan dampak paling cepat dan berat, ditandai dengan kerusakan sisik dan sirip, gangguan gerak hingga ikan terbalik, serta pernapasan tidak stabil, sedangkan deterjen dan suhu memicu perubahan pada organ luar, denyut jantung, dan perilaku. Perlakuan salinitas terutama memengaruhi fungsi osmoregulasi yang terlihat dari peningkatan frekuensi pernapasan dan denyut jantung. Seluruh perlakuan menunjukkan bahwa perubahan kualitas air yang ekstrem dapat menimbulkan stres fisiologis yang signifikan pada ikan nila.

Kata Kunci: Fisiologi; Fluktuasi Suhu; Kualitas Air; Nila; Paparan Deterjen.

1. LATAR BELAKANG

Kegiatan budidaya ikan merupakan suatu sistem produksi biologis yang keberhasilannya tidak hanya ditentukan oleh manajemen pakan, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan perairan sebagai media hidup organisme. Budidaya yang dilakukan di kolam terbuka, faktor abiotik seperti suhu, pH, salinitas, intensitas cahaya, dan curah hujan memiliki peran penting dalam menentukan keberhasilan produksi. Kondisi lingkungan yang berada pada kisaran optimal akan mendukung proses fisiologis ikan, termasuk metabolisme, respirasi, dan osmoregulasi, sehingga pertumbuhan dapat berlangsung secara normal dan tingkat kelangsungan hidup meningkat (Supono, 2015). Perubahan kualitas air yang berada di luar

kisaran toleransi fisiologis ikan berpotensi menimbulkan stres lingkungan yang berdampak pada terganggunya fungsi organ-organ vital.

Faktor lingkungan perairan secara umum dapat diklasifikasikan menjadi faktor fisika, kimia, dan biologi yang saling berinteraksi dalam membentuk kondisi ekosistem perairan. Faktor fisika meliputi suhu, intensitas cahaya, salinitas, serta aliran air, sedangkan faktor kimia mencakup pH air dan kandungan oksigen terlarut. Faktor biologi berkaitan dengan keberadaan mikroorganisme, plankton, dan kepadatan populasi ikan dalam suatu perairan (Viadero, 2005; Gunadi et al., 2013). Ketidakseimbangan pada salah satu faktor memicu gangguan homeostasis pada ikan, yang tercermin melalui perubahan fungsi sistem pernapasan, sistem peredaran darah, serta sistem pencernaan, dan pada akhirnya memengaruhi aktivitas gerak serta perilaku ikan.

Ikan nila spesies yang banyak dibudidayakan karena memiliki toleransi yang relatif luas terhadap variasi kondisi lingkungan dan pertumbuhan yang cepat. Meskipun demikian, ikan nila tetap memiliki batas toleransi fisiologis terhadap kondisi lingkungan ekstrem. Paparan suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat memengaruhi laju metabolisme tubuh ikan, yang selanjutnya berdampak pada peningkatan atau penurunan denyut jantung dan frekuensi respirasi. Perubahan suhu juga dapat memengaruhi aktivitas enzim dan keseimbangan energi, serta menimbulkan perubahan fisik eksternal seperti warna sisik, kejernihan mata, dan produksi lendir pada permukaan tubuh sebagai respons adaptif terhadap tekanan lingkungan (Supono, 2015).

Perubahan kualitas air juga dapat disebabkan oleh masuknya senyawa kimia ke dalam perairan, baik yang bersifat organik maupun anorganik. Ikan sering digunakan sebagai organisme indikator untuk mengetahui dampak keberadaan polutan terlarut di dalam air (Aprilliyani & Rahayuningsih, 2020). Salah satu organisme uji yang direkomendasikan oleh Environmental Protection Agency (EPA) adalah ikan nila karena memiliki toleransi luas terhadap kualitas lingkungan dan mampu menunjukkan respons fisiologis terhadap perubahan kondisi perairan (Yulaipi et al., 2020; Agustina et al., 2019; Oktapiandi et al., 2019). Respons diamati melalui perubahan pada sistem pernapasan, peredaran darah, serta sistem pencernaan.

Deterjen merupakan salah satu bahan kimia yang umum mencemari perairan akibat aktivitas domestik, dan kandungan surfaktan di dalamnya dapat merusak jaringan epitel insang sehingga mengganggu proses pertukaran gas dan keseimbangan ion. Paparan deterjen dapat menimbulkan respons fisiologis berupa peningkatan frekuensi buka-tutup operkulum, perubahan pola renang, serta produksi lendir yang berlebihan pada permukaan tubuh dan insang sebagai mekanisme perlindungan. Kerusakan pada insang berimplikasi terhadap

terganggunya suplai oksigen ke organ-organ internal seperti jantung dan hati, yang selanjutnya memengaruhi kinerja sistem peredaran darah dan metabolisme ikan (Aprilliyani & Rahayuningsih, 2020; Yulaipi et al., 2020).

Paparan zat asam, seperti asam cuka, dapat menyebabkan penurunan pH perairan secara signifikan dan mengganggu keseimbangan asam-basa dalam tubuh ikan. Kondisi perairan yang terlalu asam dapat mengakibatkan iritasi pada jaringan luar ikan, yang ditandai dengan perubahan pada mata, sisik, dan mulut, serta meningkatkan produksi lendir pada permukaan tubuh. Lingkungan asam dapat memengaruhi fungsi ginjal dan hati yang berperan dalam regulasi ion dan proses detoksifikasi, serta mengganggu kerja usus dalam pencernaan dan penyerapan nutrisi. Perubahan denyut jantung, penurunan aktivitas gerak, dan perubahan karakteristik feses sebagai indikator terganggunya sistem pencernaan (Gunadi et al., 2013; Viadero, 2005).

Salinitas merupakan faktor fisika-kimia yang berpengaruh langsung terhadap mekanisme osmoregulasi ikan, karena perubahan kadar garam di lingkungan akan memengaruhi perbedaan tekanan osmotik antara cairan tubuh ikan dan media sekitarnya. Perubahan salinitas yang ekstrem dapat menyebabkan ikan mengalami stres osmotik, sehingga organ-organ yang berperan dalam osmoregulasi, terutama insang dan ginjal, harus bekerja lebih intensif untuk mempertahankan keseimbangan cairan dan ion dalam tubuh. Respons fisiologis akibat perubahan salinitas dapat diamati melalui peningkatan frekuensi respirasi, perubahan pola gerak tubuh, serta gangguan fungsi organ dalam seperti ginjal dan hati yang terlibat dalam regulasi metabolisme (Supono, 2015; Gunadi et al., 2013).

Perubahan kualitas air yang bersifat ekstrem, baik berupa fluktuasi suhu, paparan deterjen, penurunan pH akibat asam cuka, maupun perubahan salinitas, berpotensi menimbulkan gangguan fisiologis yang kompleks pada ikan nila. Respons fisiologis diamati melalui perubahan pada organ luar maupun organ dalam, termasuk mata, mulut, sisik, insang, jantung dan denyut jantung, ginjal, hati, usus, gerakan tubuh, serta kondisi feses. Penelitian mengenai respons fisiologis ikan nila terhadap berbagai tekanan lingkungan ekstrem menjadi penting dalam konteks perikanan budidaya karena dapat memberikan dasar ilmiah mengenai batas toleransi ikan terhadap perubahan kualitas air serta menjadi acuan dalam pengelolaan lingkungan budidaya untuk meningkatkan keberhasilan produksi dan menjaga keberlanjutan sumber daya perikanan (Aprilliyani & Rahayuningsih, 2020; Yulaipi et al., 2020; Supono, 2015). Penelitian bertujuan menganalisis respons fisiologis ikan nila terhadap perubahan kualitas air yang lingkungan ekstrem yang diberikannya paparan Suhu, Deterjen, Asam Cuka, dan Salinitas.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Basah Universitas Achmad Yani Banjarmasin dengan menggunakan ikan nila berukuran 15–20 cm sebagai organisme uji. Ikan diaklimatisasi terlebih dahulu dalam wadah pemeliharaan sebelum perlakuan diberikan untuk meminimalkan stres awal. Perlakuan yang diterapkan terdiri atas empat jenis tekanan lingkungan, yaitu paparan suhu tinggi, paparan deterjen, paparan asam cuka, dan peningkatan kadar garam, yang masing-masing diberikan dalam wadah terpisah selama 2 jam. Kondisi lingkungan selama penelitian dikontrol agar setiap perlakuan hanya dipengaruhi oleh variabel yang diuji, sedangkan faktor lain seperti aerasi dan volume air dijaga tetap konstan.

Parameter fisiologis yang diamati meliputi tingkah laku ikan, frekuensi pernapasan yang diukur melalui jumlah buka-tutup operkulum per menit, kondisi insang, produksi lendir pada permukaan tubuh. Pengamatan dilakukan secara periodik selama masa perlakuan untuk mencatat perubahan respons ikan terhadap masing-masing tekanan lingkungan. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan respons fisiologis antarperlakuan guna menggambarkan pola perubahan yang terjadi akibat paparan suhu, deterjen, asam cuka, dan kadar garam.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menyajikan gambaran respons fisiologis ikan nila terhadap paparan kondisi lingkungan ekstrem berupa suhu tinggi, deterjen, asam cuka, dan peningkatan kadar garam. Respons yang diamati mencakup perubahan tingkah laku, frekuensi pernapasan, kondisi insang, produksi lendir sebagai indikator tingkat stres dan kemampuan adaptasi ikan terhadap perubahan kualitas air. Data hasil pengamatan menunjukkan adanya perbedaan pola respons fisiologis pada setiap perlakuan, yang mencerminkan karakteristik tekanan lingkungan yang diterima oleh ikan dan implikasinya terhadap fungsi organ-organ vital. Hasil penelitian disajikan sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Analisis Fisiologi Ikan Nila.

Indikator	Perlakuan				
	Kontrol	Paparan Suhu	Deterjen	Asam Cuka	Kadar Garam
Mata	Mata normal, jernih, berwarna hitam mengkilap, tidak keruh dan tidak menonjol	Mata tampak keruh dan kusam	Tidak terjadi perubahan pada mata	Mata tampak keruh	Pupil mata menyempit
Mulut	Mulut tidak cacat, dapat membuka dan menutup secara	Mulut mengalami pengelupasan dan perubahan	Tidak terjadi perubahan pada mulut	Mulut tampak pucat setelah 6 menit	Frekuensi buka-tutup mulut meningkat

Sisik	normal, tidak terdapat luka Sisik tersusun rapi, tidak terkelupas, warna tubuh cerah dan normal	warna setelah 4 menit Sisik tampak pucat setelah 7 menit	Sisik berlendir dan tampak kusam	Sisik terkelupas setelah 2 menit	Sisik berlendir dan tampak kusam
Sirip	Sirip utuh, tidak robek, tidak menggumpal, dan dapat digerakkan dengan normal	Sirip tampak kemerahan setelah 4 menit	Sirip tampak kemerahan	Sirip tampak pucat dan mengalami sobekan setelah 7 menit	Sirip tertutup
Jantung	Jantung berfungsi normal, tidak tampak pembengkakan atau kelainan	Jantung tidak berfungsi secara optimal	Jantung berwarna lebih gelap	Jantung tetap berfungsi normal	Jantung tampak normal secara eksternal
Denyut jantung	Denyut jantung stabil dan teratur sesuai kondisi fisiologis normal	Denyut jantung mengalami penurunan	Denyut jantung meningkat	Denyut jantung meningkat	Denyut jantung meningkat
Ginjal	Ginjal berfungsi normal, tidak tampak pembesaran atau perubahan warna	Tidak terjadi perubahan warna pada ginjal	Ginjal berwarna lebih gelap	Tidak terjadi perubahan pada ginjal	Tidak terjadi perubahan pada ginjal
Hati	Hati berwarna normal (merah kecokelatan), tidak pucat dan tidak membengkak	Hati mengalami perubahan warna	Hati tampak pucat	Hati tampak pucat	Tidak terjadi perubahan pada hati
Usus	Usus tampak normal, tidak terjadi pembengkakan atau penyumbatan	Usus tampak pucat	Usus tampak pucat dan berlendir	Tidak terjadi perubahan pada usus	Tidak terjadi perubahan pada usus
Gerakan tubuh	Gerakan aktif dan responsif, pola renang normal dan seimbang	Gerakan tubuh melemah	Gerakan tubuh cepat dan tidak teratur	Gerakan gelisah kemudian melemah; setelah 5 menit ikan terbalik	Gerakan melambat dan tampak gelisah
Pernafasan	Frekuensi pernapasan normal, buka-tutup operkulum teratur	Frekuensi pernapasan menurun setelah 10 menit	Pola pernapasan tidak teratur	Pola pernapasan tidak stabil	Frekuensi pernapasan meningkat
Fase	Feses berwarna normal, tidak berlendir berlebihan dan tidak encer	Feses keluar lebih cepat dan mudah hancur	Feses berbentuk padat	Pada menit awal paparan cuka, ikan langsung mengeluarkan feses	Tidak ditemukan pengeluaran feses

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa paparan kondisi ekstrem berpengaruh signifikan terhadap organ eksternal ikan nila, khususnya mata dan mulut. Pada perlakuan suhu tinggi, mata ikan terlihat keruh dan kusam, sedangkan pada paparan asam cuka, mata juga mengalami keruh, dan pada salinitas tinggi, pupil menyempit, menandakan respons adaptasi terhadap stres lingkungan. Perubahan ini mencerminkan upaya fisiologis ikan dalam mengurangi penetrasi cahaya dan melindungi jaringan sensitif dari kerusakan oksidatif akibat stres lingkungan.

Sementara itu, mulut ikan yang terkena suhu tinggi menunjukkan pengelupasan dan perubahan warna setelah beberapa menit paparan, sedangkan asam cuka menimbulkan pucat pada mulut, dan paparan kadar garam meningkatkan frekuensi buka-tutup mulut. Respons ini mengindikasikan adanya tekanan pada epitel mulut serta kemungkinan gangguan osmoregulasi dan suplai darah, yang berpotensi mempengaruhi proses makan dan respirasi minor yang terjadi melalui rongga mulut (Agustina et al., 2019; Supono, 2015).

Sisik dan sirip ikan menunjukkan perubahan yang berbeda-beda tergantung jenis perlakuan. Pada suhu tinggi, sisik tampak pucat setelah beberapa menit, sementara deterjen menimbulkan sisik berlendir dan kusam, dan asam cuka menyebabkan sisik terkelupas dalam waktu singkat. Paparan kadar garam juga menimbulkan sisik berlendir. Kondisi ini menunjukkan gangguan pada lapisan epitel pelindung dan kemungkinan peningkatan sekresi lendir sebagai mekanisme pertahanan terhadap iritasi atau kehilangan ion melalui kulit. Sirip ikan juga mengalami perubahan, mulai dari kemerahan hingga sobek pada perlakuan asam cuka, sementara pada kadar garam sirip tampak tertutup, menandakan adanya stres pada otot dan jaringan ikat yang memengaruhi kemampuan berenang dan manuver ikan. Xu et al. (2022) yang menyebutkan bahwa stres lingkungan ekstrem dapat memicu perubahan warna, kerusakan jaringan, dan produksi lendir pada permukaan tubuh ikan sebagai respons pertahanan.

Paparan kondisi lingkungan ekstrem juga memengaruhi organ internal seperti jantung dan denyut jantung. Ikan yang terkena suhu tinggi menunjukkan fungsi jantung yang menurun, sementara pada paparan deterjen, denyut jantung meningkat sebagai respons terhadap stres metabolik. Paparan asam cuka dan salinitas tinggi juga meningkatkan denyut jantung, meskipun secara eksternal jantung tampak normal. Peningkatan atau penurunan denyut jantung ini merupakan bentuk kompensasi fisiologis untuk menyesuaikan aliran darah dengan kebutuhan metabolik tubuh akibat perubahan lingkungan, terutama dalam memenuhi suplai oksigen ke organ vital dan mempertahankan keseimbangan ion. Wang (2023) bahwa stres fisik dan kimiawi dapat memodifikasi ritme jantung sebagai bagian dari respons adaptif ikan terhadap perubahan lingkungan.

Fungsi organ ekskresi dan detoksifikasi seperti ginjal dan hati juga menunjukkan respons spesifik terhadap perlakuan. Ginjal tetap stabil pada sebagian besar perlakuan, kecuali pada paparan deterjen yang menunjukkan perubahan warna gelap, sedangkan hati mengalami pucat pada perlakuan deterjen dan asam cuka. Hal ini menandakan bahwa zat kimia dan perubahan pH dapat memengaruhi proses metabolisme dan detoksifikasi di hati serta keseimbangan ion dan filtrasi di ginjal. Gangguan pada organ ini dapat berdampak jangka panjang terhadap

kemampuan ikan untuk mengeliminasi racun dan mempertahankan homeostasis internal, sebagaimana dijelaskan oleh Vo et al. (2021a) mengenai dampak polutan terhadap fungsi hati dan ginjal ikan.

Paparan lingkungan ekstrem juga berdampak pada sistem pencernaan. Pada suhu tinggi dan deterjen, usus tampak pucat, sedangkan pada asam cuka, feses langsung dikeluarkan pada menit awal paparan, menandakan stimulasi refleks pencernaan atau stres akut. Sementara itu, pada kadar garam tinggi, feses tidak keluar sama sekali, yang mengindikasikan perlambatan aktivitas saluran pencernaan akibat stres osmotik. Perubahan ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan yang ekstrem memengaruhi penyerapan nutrisi dan proses metabolisme, yang pada gilirannya dapat memengaruhi pertumbuhan dan kesehatan ikan (Zhang et al., 2024; Younis et al., 2013).

Perubahan tingkah laku ikan dan frekuensi pernapasan juga menjadi indikator stres lingkungan yang jelas. Ikan yang terpapar suhu tinggi mengalami melemahnya gerakan tubuh, sementara deterjen menyebabkan gerakan cepat dan tidak teratur. Paparan asam cuka menimbulkan perilaku gelisah yang kemudian melemah, sedangkan kadar garam tinggi menyebabkan gerakan lambat dan gelisah. Pola pernapasan menunjukkan respons serupa; suhu tinggi menurunkan frekuensi pernapasan setelah beberapa menit, sedangkan deterjen dan asam cuka menyebabkan pernapasan tidak teratur, dan kadar garam meningkatkan frekuensi pernapasan. Respons ini menggambarkan upaya ikan untuk menyesuaikan suplai oksigen dengan kebutuhan metaboliknya ketika terjadi stres lingkungan (Supono, 2015; Aprilliyani & Rahayuningsih, 2020).

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa setiap jenis perlakuan memiliki pola respons fisiologis yang khas. Paparan suhu tinggi cenderung menurunkan aktivitas dan menimbulkan perubahan warna pada organ eksternal. Deterjen lebih banyak memicu perubahan lendir, warna organ, dan ketidakaturan gerakan. Asam cuka memberikan dampak cepat pada mulut, sisik, gerakan, dan feses, sementara kadar garam tinggi menimbulkan gangguan osmoregulasi yang memengaruhi gerakan, pupil, dan pernapasan. Perubahan menggambarkan keterkaitan antara stres lingkungan dengan mekanisme adaptasi fisiologis pada ikan, yang melibatkan organ eksternal maupun internal, serta sistem pernapasan, peredaran darah, pencernaan, dan perilaku.

Hasil penelitian memberikan bukti empiris bahwa ikan nila dapat digunakan sebagai bioindikator respons fisiologis terhadap perubahan kualitas air. Analisis indikator mata, mulut, sisik, sirip, jantung, denyut jantung, ginjal, hati, usus, gerakan tubuh, pernapasan, dan feses menunjukkan bahwa stres lingkungan yang berbeda memiliki dampak spesifik terhadap organ dan fungsi fisiologis ikan. Pemahaman terhadap pola respons ini sangat penting untuk

pengelolaan budidaya perairan, terutama dalam mengoptimalkan kondisi lingkungan agar pertumbuhan ikan tetap maksimal dan angka kematian dapat diminimalkan. Hasil ini juga menekankan pentingnya pemantauan kualitas air secara berkala untuk mendeteksi dampak stres lingkungan secara dini.

Pengamatan organ eksternal dan internal, respons fisiologis ikan nila terhadap stres juga dapat dievaluasi melalui mekanisme regulasi metabolik, salah satunya kadar glukosa darah sebagai indikator stres. Stres merupakan reaksi fisiologis hewan untuk mempertahankan homeostasis ketika menghadapi perubahan lingkungan atau faktor stresor internal (Djauhari et al., 2019; Komalasari et al., 2018). Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa perubahan fotoperiodisme pada ikan nila merah memengaruhi kadar glukosa darah. Pada perlakuan lama terang 20 jam dan gelap 4 jam, kadar glukosa darah tercatat 30–108 mg/dL, sedangkan pada perlakuan 16T:8G dan 12T:12G masing-masing 32–92 mg/dL dan 33–79 mg/dL. Sementara itu, ikan kontrol tanpa perlakuan fotoperiodisme memiliki kadar glukosa 24–36 mg/dL (Cahyanti & Awalina, 2022). Kadar glukosa darah yang meningkat di atas normal (40–90 mg/dL) menunjukkan respons stres akibat stimulasi hormon katekolamin, seperti epinefrin dan norepinefrin, yang memicu glikogenolisis pada hati dan otot, sehingga glukosa dilepaskan untuk memenuhi kebutuhan energi selama stres (Eslamloo et al., 2014; Odhiambo et al., 2020). Hasil pengamatan perilaku ikan, di mana fotoperiodisme yang lebih lama pada siang hari meningkatkan aktivitas renang dan respons terhadap pakan, menandakan adaptasi fisiologis terhadap perubahan intensitas cahaya (Nurdin, 2013; Pratama et al., 2022).

Aktivitas renang dan pola makan ikan merupakan indikator langsung dari tingkat stres dan adaptasi terhadap perubahan lingkungan. Ikan yang terpapar fotoperiodisme 20T:4G menunjukkan perilaku renang aktif dan respons cepat terhadap pemberian pakan pagi dan malam, sedangkan pada perlakuan 12T:12G, ikan cenderung lambat dan menurunkan nafsu makan. Fenomena ini mengindikasikan bahwa durasi lama terang mempengaruhi sistem saraf dan hormonal yang mengatur perilaku motorik dan fisiologi metabolik ikan (Nofrizal et al., 2009; Yuma et al., 2023). Aktivitas renang yang cepat pada periode terang panjang menunjukkan bahwa ikan membutuhkan energi lebih tinggi untuk beradaptasi terhadap stimulasi cahaya, sementara penurunan respons pada periode terang lebih pendek dapat diartikan sebagai strategi penghematan energi ketika kebutuhan metabolik menurun.

Kecepatan respirasi ikan nila, yang diukur melalui bukaan operkulum per menit, juga menunjukkan perubahan fisiologis akibat stres lingkungan. Kelompok kontrol memiliki rerata kecepatan respirasi $95,6 \pm 13,5$, sedangkan kelompok yang terpapar logam berat Pb dan Cd menunjukkan penurunan signifikan menjadi $81,8 \pm 7,7$ dan $76,2 \pm 5,2$ ($p < 0,05$). Penurunan ini

disebabkan gangguan pada insang akibat akumulasi logam berat, yang menghambat pertukaran gas dan konsumsi oksigen, sehingga ikan mengalami hipoksia sementara dan melemahnya aktivitas renang (Sheethal et al., 2024; Purwanto et al., 2020). Temuan ini mendukung laporan sebelumnya bahwa paparan polutan organik maupun logam berat secara signifikan memengaruhi kapasitas respirasi ikan dan mendorong adaptasi fisiologis melalui perubahan laju metabolisme (Xu et al., 2022; Vo et al., 2021a).

Paparan logam berat Pb dan Cd juga memengaruhi morfometrik dan warna saluran pencernaan. Panjang usus besar ikan yang terpapar Cd meningkat signifikan dibandingkan kelompok kontrol ($p < 0,05$), menandakan adanya edema akibat stres oksidatif dan peradangan jaringan. Warna organ-organ pencernaan juga berubah; hepar pada kelompok Pb menjadi merah gelap dan pada Cd tampak pucat, sedangkan warna lambung dan empedu berbeda dibanding kontrol. Hal ini menunjukkan kerusakan jaringan akibat toksisitas logam berat, yang memengaruhi proses pencernaan dan penyerapan nutrisi (Perera et al., 2015; Begum et al., 2024; Xue et al., 2023). Panigoro et al. (2007) bahwa paparan Pb menyebabkan degenerasi lemak pada hepatosit dan nekrosis sel di hepar.

Parameter hematologi juga menunjukkan respons stres yang jelas. Eritrosit mengalami penurunan dari 3.412.000 sel/mm³ pada kontrol menjadi 2.548.000 sel/mm³ pada Pb dan 1.906.000 sel/mm³ pada Cd. Penurunan ini mengindikasikan gangguan eritropoiesis akibat kerusakan jaringan hematopoietik dan stres oksidatif (Chatterjee & Saxena, 2015; Ghaffari, 2008). Sebaliknya, jumlah leukosit meningkat signifikan pada kelompok Cd (40.060 sel/mm³) sebagai respons imun terhadap toksisitas, sedangkan Pb cenderung menurunkan leukosit karena kemampuan toksik Pb membunuh sel imun (Sweet & Zelikoff, 2001; Hassan et al., 2020). Penurunan hemoglobin dari 8,6 g/dL pada kontrol ke 4,9 g/dL pada Cd memperkuat indikasi hipoksia dan gangguan transportasi oksigen, yang terkait dengan kerusakan insang dan akumulasi logam berat dalam sirkulasi darah (Soegianto et al., 2023).

Peningkatan kadar glukosa darah sebagai respons stres berkorelasi dengan perubahan hematologi, perilaku, dan aktivitas fisiologis. Pelepasan hormon katekolamin memicu glikogenolisis untuk memenuhi kebutuhan energi saat aktivitas renang meningkat atau pernapasan terganggu akibat stres lingkungan. Hubungan ini menunjukkan bahwa stres fisiologis akibat faktor lingkungan, baik berupa perubahan fotoperiodisme, suhu, maupun paparan polutan, dapat diukur melalui kombinasi indikator metabolik, hematologi, dan perilaku. Pratama et al. (2022) dan Renitasari et al. (2021), yang menunjukkan bahwa peningkatan glukosa darah berhubungan dengan level stres tinggi pada ikan nila merah.

Integrasi antara data perilaku, morfometrik, respirasi, dan hematologi menunjukkan bahwa ikan nila memiliki respons fisiologis kompleks terhadap kondisi ekstrem seperti suhu tinggi, deterjen, asam cuka, dan salinitas. Setiap perlakuan menimbulkan respons spesifik, misalnya peningkatan denyut jantung pada kadar garam tinggi, pengelupasan mulut dan sisik akibat asam cuka, serta gangguan hematologi akibat Pb dan Cd. Hal ini mengonfirmasi bahwa ikan nila dapat digunakan sebagai bioindikator perubahan kualitas air, sekaligus menekankan pentingnya pengelolaan lingkungan budidaya untuk meminimalkan stres dan mortalitas (Agustina et al., 2019; Aprilliyani & Rahayuningsih, 2020).

Hasil penelitian ini memberikan implikasi penting bagi praktik budidaya ikan nila di kolam terbuka. Pengelolaan kualitas air, termasuk suhu, pH, salinitas, dan paparan bahan kimia, harus dipantau secara rutin untuk menjaga kestabilan fisiologis ikan. Pemahaman terhadap respons glukosa darah, perilaku, respirasi, dan hematologi memungkinkan budidaya yang lebih efisien dan meminimalkan angka kematian. Selain itu, penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi interaksi antara fotoperiodisme dan stres lingkungan, serta mekanisme hormon dan enzim yang mengatur adaptasi fisiologis, guna mengoptimalkan pertumbuhan dan kesehatan ikan dalam kondisi perairan yang beragam (Eslamloo et al., 2014; Odhiambo et al., 2020; Nurdin, 2013).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan ditulis secara singkat yaitu mampu menjawab tujuan atau permasalahan penelitian dengan menunjukkan hasil penelitian atau pengujian hipotesis penelitian, tanpa mengulang pembahasan. Kesimpulan ditulis secara kritis, logis, dan jujur berdasarkan fakta hasil penelitian yang ada, serta penuh kehati-hatian apabila terdapat upaya generalisasi. Bagian kesimpulan dan saran ini ditulis dalam bentuk paragraf, tidak menggunakan penomoran atau *bullet*. Pada bagian ini juga dimungkinkan apabila penulis ingin memberikan saran atau rekomendasi tindakan berdasarkan kesimpulan hasil penelitian. Demikian pula, penulis juga sangat disarankan untuk memberikan ulasan terkait keterbatasan penelitian, serta rekomendasi untuk penelitian yang akan datang.

DAFTAR REFERENSI

- Agustina, D. Y., Suprpto, D., & Diponegoro, U. (2019). Kandungan logam berat timbal (Pb) pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di Sungai Tenggang, Semarang, Jawa Tengah. *Journal of Maquares*, 8(3).
- Aprilliyani, E. P., & Rahayuningsih, M. (2020). Keanekaragaman spesies ikan sebagai bioindikator kualitas perairan di Sungai Kaligarang Kota Semarang. *Life Science*, 9(1), 1–10.
- Begum, S. A., Hasnath, M., & Aziz, K. A. (2024). Cadmium chloride induced histopathological alterations in selected organs of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Bangladesh Journal of Zoology*, 52(2), 237–251. <https://doi.org/10.3329/bjz.v52i2.77285>
- Boyd, C. E. (1990). *Water quality in ponds for aquaculture*.
- Cahyanti, Y., & Awalina, I. (2022). Studi literatur: Pengaruh suhu terhadap ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Panthera: Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan*, 2(4), 224–235. <https://doi.org/10.36312/pjipst.v2i4.110>
- Chatterjee, S., & Saxena, R. K. (2015). Cadmium-induced anemia in mice. *PLoS ONE*, 10(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132697>
- Djauhari, R., Monalisa, S. S., Sianturi, E., & Matling. (2019). Respon glukosa darah ikan betok (*Anabas testudineus*) terhadap stres padat tebar. *Jurnal Ilmu Hewani Tropika*, 8(2), 43–49.
- Eslamloo, K., Akhavan, S. R., Fallah, F. J., & Henry, M. A. (2014). Variations of physiological and innate immunological responses in goldfish (*Carassius auratus*) subjected to recurrent acute stress. *Fish & Shellfish Immunology*, 37(1), 147–153. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2014.01.014>
- Ghaffari, S. (2008). Oxidative stress in hematopoiesis. *Antioxidants & Redox Signaling*, 10(11), 1923–1940. <https://doi.org/10.1089/ars.2008.2142>
- Gunadi, B., Harris, E., Supriyono, S., Sukenda, & Budiardi, T. (2013). Ketercernaan protein dan ekskresi amonia pada pemeliharaan ikan lele (*Clarias gariepinus*). *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 12(1), 62–69.
- Hassan, E., El-Sayed, G., Hassan, A., & Abd Elsalam, S. (2020). Effect of pollution with heavy metals on gene expression in Nile tilapia. *Mansoura Veterinary Medical Journal*, 21(3), 53–60. <https://doi.org/10.35943/mvmj.2020.310>

- Komalasari, S. S., Subandiyono, S., & Hastuti, S. (2018). Pengaruh vitamin C pada pakan komersial dan kepadatan ikan terhadap kelulushidupan serta pertumbuhan ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Sains Akuakultur Tropis*, 1(1), 31–41. <https://doi.org/10.14710/sat.v1i1.2453>
- Odhiambo, E., Angienda, P. O., Okoth, P., & Onyango, D. (2020). Stocking density-induced stress on plasma cortisol and whole blood glucose concentration in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Zoology*, 2020, 1–8.
- Oktapiandi, Sutrisno, J., & Sunarto. (2019). Pertumbuhan ikan nila pada air musta'mal. *Jurnal Bioeksperimen*, 5(1), 16–20. <https://doi.org/10.23917/bioeksperimen.v5i1.2795>
- Panigoro, N., Astuti, I., Salfira, P. D. C., & Wakita, K. (2007). *Teknik dasar histologi dan atlas histopatologi ikan*. Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya–JICA.
- Perera, P. A. C. T., Kodithu, S., Sundara, T. V., & Edirisingh, U. (2015). Bioaccumulation of cadmium in freshwater fish. *Insight Ecology*, 4(1), 1–12. <https://doi.org/10.5567/ecology-ik.2015.1.12>
- Pratama, A. R., & Sopyan, A. (2022). Pengaruh eugenol terhadap glukosa darah dan sintasan benih ikan sepat mutiara (*Trichogaster leeri*) selama dan pasca transportasi. *Jendela ASWAJA*, 3(2), 1–9.
- Purwanto, A. I., Prihatmo, G., & Pakpahan, S. (2020). Kandungan timbal pada ikan nila dan bawal. *Jurnal Lingkungan*, 1(2), 70–78.
- Rahayu, N. I., Rosmanidar, Hanfiah, M., Karmil, T. F., Helmi, T. Z., & Daud, R. (2017). Pengaruh paparan timbal terhadap pertumbuhan ikan nila. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Veteriner*, 1(4), 658–665.
- Sheethal, K. U., Nadoor, P., Somashekara, S. R., & Pathan, J. G. K. (2024). Physiological changes in nickel-exposed Nile tilapia. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(6), 333–340. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i62048>
- Soegianto, A., Yulianto, B., Payus, C. M., Affandi, M., & Rahmatin, N. M. (2023). Sublethal effects of cadmium on osmoregulation in tilapia. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1539214/v3>
- Supono. (2015). *Manajemen lingkungan untuk akuakultur*. Plantaxia.
- Sweet, L. I., & Zelikoff, J. T. (2001). Toxicology and immunotoxicology of mercury.
- Viadero, C. R. (2005). Factors affecting fish growth and production. In *Water encyclopedia*. <https://doi.org/10.1002/047147844X.sw241>

- Vo, V. T., Le, T. M. L., Duong, T. Q. A., Mai, N. A. T., & Thuong, H. N. T. (2021). Lead toxicity in red tilapia. *Asian Journal of Agriculture and Biology*, 2022(1), 1–8. <https://doi.org/10.35495/AJAB.2021.01.016>
- Wang, K., Li, K., Liu, L., Tanase, C., Mols, R., & van der Meer, M. (2023). Effects of light intensity and photoperiod on growth and stress response of juvenile Nile tilapia. *Aquaculture and Fisheries*, 8(1), 85–90. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.03.001>
- Xu, H., Shi, C., Ye, Y., Mu, C., & Wang, X. (2022). Effects of different photoperiods and feeding regimes on immune response and tissue damage in rainbow trout. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1036289>
- Xue, Y., Huang, J., Wang, J. Q., & Li, F. Y. (2023). Cadmium accumulation in tilapia. *Applied Ecology and Environmental Research*, 21(5), 4177–4194. https://doi.org/10.15666/aeer/2105_41774194
- Younis, E., Abdelwarith, A., Ebaid, H., Al-Asgah, N., & Mubarak, M. (2013). Histological changes in Nile tilapia exposed to cadmium. *Pakistan Journal of Zoology*, 45(3).
- Yulaipi, S., Aunurohim, Luqman, A., Hidayati, D., & Soegianto, A. (2020). Lead accumulation in *Oreochromis mossambicus*. *Ecology, Environment and Conservation*, 26, 36–40.
- Zhang, Q., Xie, Y., Qin, R., Huang, E., Zhang, Z., Zhou, J., Liu, D., Meng, L., Liu, Y., & Tong, T. (2024). Effects of cadmium on juvenile tilapia. *Frontiers in Marine Science*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1443484>